

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü' ne

Bu çalışma jürimiz tarafından MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI' nda
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doc. Dr. Ali Kemal YAKUT

Üye : Yrd. Doç. Dr. Adnan SÖZEN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Resat SELBAS

Ali Kemal Yakut
Adnan Sözen
Resat Selbas

ONAY

Bu tez 07.10.2002 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki
jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

19.10.2002

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL

İmza
Prof. Dr. Remzi Karagüzel

**YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**TERMOELEKTRİK SOĞUTUCULARIN ÇALIŞMA
KRİTERLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN VE
ENDÜSTRİDEKİ KULLANIM ALANLARININ
TESPİTİ**

ERKAN DİKMEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİMDALI
ISPARTA 2002**

T.C
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMÖELEKTRİK SOĞUTUCULARIN ÇALIŞMA KRİTERLERİNE ETKİ
EDEN FAKTÖRLERİN VE ENDÜSTRİDEKİ KULLANIM ALANLARININ
TESPİTİ

728339

DANIŞMAN

Yrd.Doç.Dr. Reşat SELBAŞ

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

HAZIRLAYAN

Erkan DİKMEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

728339

ISPARTA, 2002

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
ABSTARCT	iv
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. TERMOELEKTRİK PRENSİPLER	8
2.1. Termoelektrik Olayı.....	8
2.2. Termoelektrik Sistemlerin Termodinamik İncelenmesi	11
2.3. Termoelektrik Kanunlar.....	20
2.4. Termoelektrik Sisteminin Dönüşüm Verimliliği ve Metaryal Fakt. (Z)..	22
2.4.1. İdeal Model	22
2.4.2. Soğutma Gücü.....	23
2.4.3. Materyal faktörü	25
2.4.4. Performans katsayısı	27
2.4.5. Çok katlı soğutucular (Kaskat sistem)	28
2.4.6. Termoelektrik Güç Üretimi	28
2.4.7. Isıya Dayalı Parametreler.....	30
3. TERMOELEKTRİK SOĞUTMA UYGULAMALARI	31
3.1. Laboratuar Araç Gereçlerinde	31
3.1.1. Kullanıma Göre Sınıflanmış Laboratuar Araç ve Gereçler	32
3.2. Büyük Ölçekli Termoelektrik Soğutma Uygulamaları.....	40
3.3. Orta Ölçekli Termoelektrik Soğutma Uygulamaları	41
3.4. Günümüzdeki Uygulamalar.....	43
4. METARYAL VE METOD.....	46
4.1. Metaryal	46
4.1. Termoelektrik soğutucular.....	46
4.1.1. Havadan-Havaya termoelektrik soğutma.....	46
4.1.2. Sudan-Havaya termoelektrik soğutma.....	48

	<u>Sayfa</u>
4.1.3. Güç kaynağı	49
4.2. Metod	52
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	57
5.1. Havadan Havaya Soğutma Sistemi.....	57
5.2. Sıvıdan havaya Soğutma Sistemi.....	62
6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	67
7. KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	74
EKLER.....	75



ÖZET

Termoelektrik soğutma; iki farklı metalden telin uçları birleşmesinden oluşan sisteme elektriksel akım verildiğinde telin uçlarında sıcaklık farkı oluşması olayıdır. Bu sistemlerde yarıiletken (semikondüktör) malzemeler kullanılır. Soğuk uç tarafından absorplanan ısı termokupuldan geçen elektrik akımını yardımıyla sıcak tarafa pompalanır. Bu sistemler, yüzeyler arası 100 ° lik sıcaklık farkı oluşturabilmektedir. Termoelektrik sistemler bir çok ısıtma ve soğutma uygulamaları için kullanılabilir.

Bu çalışmada, termoelektrik devrede meydana gelen olaylara ve termoelektrik sisteme etki eden kriterlere yer verilmiştir. Termoelektrik sisteminin termodinamik açıdan incelemeler yapılmış ve termoelektrik soğutucuların endüstrideki kullanım alanları belirlenmiştir. Ayrıca iki tip termoelektrik soğutucuyla, soğutucuların performans değerlerinin tespiti için deney yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Termoelektrik sistem, Peltier etkisi, soğutma, ısıtma

ABSTRACT

Thermoelectric refrigeration is to be of the temperature difference when a current is passed through the junction of two dissimilar materials. Semiconductor material are used in the thermoelectric refrigeration. Heat absorbed at the cold junction is pumped to the hot junction by passing through of electric current from thermocouple. This systems can carry out 100 °C temperature difference between plates. Thermoelectric systems can be used in the applications of heating and cooling.

In this study, phenomena happen in the thermoelectric circuit are investigated. And criterions which is effect on the system are discussed. Thermoelectric system is investigated according to thermodynamic angle. Areas of application in the industry of thermoelectric refrigerator are given. Furthermore, experiments are done by two type thermoelectric refrigerators for performance values of refrigerators.

Key Word: Thermoelectric systems, Peltier effect, cooling, heating

TEŞEKKÜR

Termoelektrik soğutma sistemleri konusunda çalışma fikrini veren ve bu çalışma boyunca beni yönlendiren danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Reşat SELBAŞ'a, araştırma konularında desteğini esirgemeyen sayın Doç. Dr. A. Kemal YAKUT'a, tezimin hazırlanmasında yardımlarını gördüğüm Arş.Gör. Arzu ŞENCAN'a, fakültemizin laboratuvar-atölye teknisyenlerine ve eşime içtenlikle teşekkür ederim.



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- A : Alan
E : Enerji Değişimi
I : Akım
K : Isıl İletkenlik
L : Termoelementin Uzunluğu
N : Modüldeki Termoelement Sayısı
q : Isı Akışı
q_c : Absorblanan Isı
R : Elektrik Direnci
R_L : Harici Elektrik Direnci
T₁ : (T_C) Termoelektrik soğutucunun soğuk yüzeyi sıcaklığı
T₂ : (T_H) Termoelektrik soğutucunun sıcak yüzeyi sıcaklığı
T_M : Ortalama Sıcaklık
ΔT : Sıcaklık Farkı
V : Potansiyel Enerji (Volt)
W : Elektrik Enerjisi
Z : Termoelektriğin Meteryal Faktörü (figure-of-merit)
ρ : Elektrik Direnci (Semikondüktör için)
λ : Isı İletkenlik (Semikondüktör için)
η : Jenaratör Verimi
π : Peltier Katsayısı
α : Seebeck Katsayısı
β : Thomson Katsayısı
Δφ : Entropi Değişimi

ASC : Absorblanan Seebeck Katsayısı

COP : Performans Katsayısı

RSC : Relatif Seebeck Katsayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>sayfa</u>
Şekil 1.1. Farklı metallerden oluşan bir devrede akım oluşumu	1
Şekil 1.2. Farklı metallerden oluşan bir devrede voltaj oluşumu	2
Şekil 1.3. Basit bir termoelektrik güç üreticisinin temel çizimi	3
Şekil 1.4. Farklı metallerden oluşan bir devrede soğutma olayının oluşumu.....	3
Şekil 1.5. İletken metallerden oluşan Thomson etkisi	4
Şekil 1.6. Thermoelektrik soğutucu ve soğutucuda meydana gelen sıcaklıklar	6
Şekil 2.1. Relatif seebeck etkisini gösteren termoelektrik devresi	8
Şekil 2.2. Peltier etkisini gösteren termoelektrik devresi	9
Şekil 2.3. Açık ve kapalı devrede tek kondüktörde oluşan Thomson etkileri	10
Şekil 2.4 Isıl olayının analizi için kapalı termoelektrik devresi	14
Şekil 2.5. Bir çift termokupul modeli	22
Şekil 3.1. Peltier soğutma ünitesinin konfigürasyonu	32
Şekil 3.2. Peltier soğutmalı bir çığ noktası termometresinin prensip şeması	33
Şekil 3.3. Donma noktası tespit cihazı	34
Şekil 3.4. Carrier şirketinin Peltier soğutma ünitesi	42
Şekil 3.5. TECA Americancool R 4000 seri ünitesi	43
Şekil 3.6. TECA Americancool R 4000 seri ünitesinin performansı.....	44
Şekil 4.1. Termoelektrik soğutma sistemli dolap	47
Şekil 4.2 Havadan –havaya soğutucu deney düzeneği	47
Şekil 4.3 Termoelektrik sıvı soğutucu	48
Şekil 4.4. Sıvıdan –havaya termoelektrik soğutucunun deney düzeneği.....	49
Şekil 4.5. Güç kaynağı devre şeması	50
Şekil 4.6. Güç kaynağının doğrultmaç kısım devresi	51
Şekil 5.1 Havadan-havaya termoelektrik soğutucunun zaman-sıcaklık grafiği.....	58
Şekil 5.2. Havadan-havaya termoelektrik soğutucunun sıcaklık farkına bağlı absorplanan enerji ile verilen enerjinin grafiği.	59

	<u>sayfa</u>
Şekil 5.3. Havadan-havaya termoelektrik soğutucusunun zamana bağlı oluşan sıcaklık farkı ve absorplanan ısı ile verilen enerji grafiği.	60
Şekil 5.4: Havadan-havaya termoelektrik soğutucusunun sıcaklık farkına bağlı COP değerleri.	61
Şekil 5.5 Sudan-havaya termoelektrik soğutucusunun zaman-sıcaklık grafiği.....	63
Şekil 5.6. Sudan-havaya termoelektrik soğutucusunun sıcaklık farkına bağlı absorplanan enerji ile verilen enerjinin grafiği.	64
Şekil 5.7. Sudan-havaya termoelektrik soğutucusunun zamana bağlı oluşan sıcaklık farkı ve absorplanan enerjiyle verilen enerji grafiği.	65
Şekil 5.8 Sıvı-hava termoelektrik soğutucusunun sıcaklık farkına bağlı performans katsayı değerleri.....	66



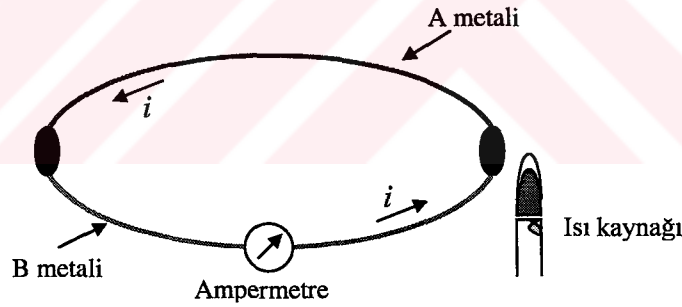
TABLolar DİZİNİ

Tablo 5.1. Hava-hava termoelektrik soğutucunun deney de elde edilen değerler	57
Tablo 5.2. Hava-hava termoelektrik soğutucunun Peltier modülünün parametreleri	57
Tablo 5.3. Hava-hava termoelektrik soğutucunun elde edilen sonuçlar	58
Tablo 5.4. Sudan havaya soğutucunun deney de elde edilen değerler	62
Tablo 5.5. Sudan havaya soğutucusunun Peltier modülü parametreleri	62
Tablo 5.3. Sudan havaya soğutucusuna ait elde edilen sonuçlar	63



1. GİRİŞ:

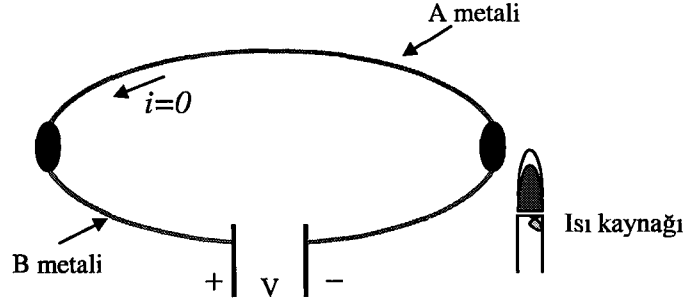
Hem ısı hem de elektriksel etkilerin bir arada bulunduğu devreye termoelektrik devre, bu devreyle çalışan bir sisteme de termoelektrik sistem adı verilir. Isı enerjisinin elektrik enerjisine, elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümlerinin temelini oluşturan termoelektrik etkiler, 150 yıldan daha fazla zamandır bilinmektedir. Farklı metallere yapılmış iki tel, uçlarından birleştirildiği takdirde, kapalı bir devre oluşur. Başlangıçta bu devreden elektrik akımı geçmez, fakat uçlardan biri ısıtıldığı zaman, devreden Şekil 1.1 de gösterildiği gibi bir elektrik akımı geçer. İlk olarak 1823 de Thomas Seebeck tarafından yapılan deneyler sonucunda devreye bağlı gerilim ölçen cihazın ibresinin hareket ettiğini tespit etmiştir. Bu olaya Seebeck etkisi adı verilmiştir. Buna bağlı olarak bazı yarıiletkenlerin (semikondüktör) sınıflandırılırken “ $\alpha.\sigma$ ” şeklinde düzenlenmiştir. Burada “ α ” Seebeck katsayısını ve “ σ ” elektriksel iletkenliğini göstermektedir. Seebeck katsayısı volt başına derece veya genelde mikrovolt başına derece μVK^{-1} tanımlanır. (Seebeck, 1823)



Şekil 1.1. Farklı metallere oluşan bir devrede akım oluşumu.

Bu çevrim 1981 'li yıllarda bilinmesi ve kullanılmasına rağmen buhar makineleri çevrimleri bu yıllarda daha çok kullanılmaktaydı. Bu yüzden Seebeck'in yaptığı araştırmalar fazla ilerlememiştir. Seebeck etkisinin iki önemli uygulama alanı vardır. Bunlar sıcaklık ölçümleri ve güç üretimidir. Şekil 1.2 te gösterildiği gibi termoelektrik devre açıldığında, devrede bir akım olmamakta, fakat devrenin ürettiği elektromotor kuvvet veya voltaj, voltmetrede okunabilmektedir. Devrede üretilen voltaj, iki uç arasındaki sıcaklık farkına ve tellerin yapıldığı malzemelere bağlıdır. Bu nedenle

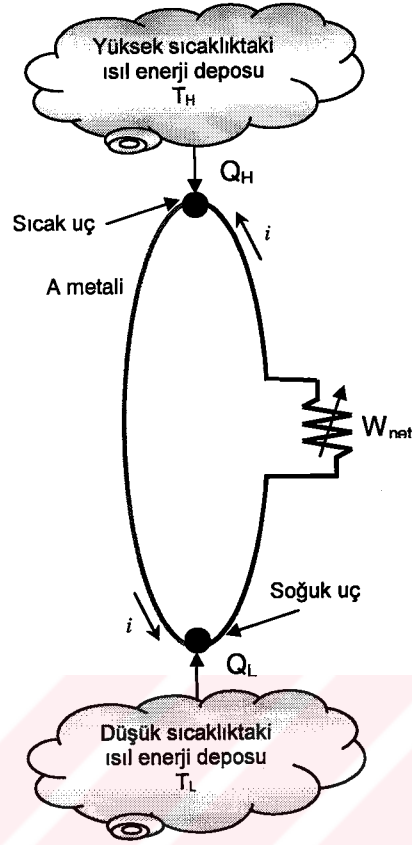
sıcaklık, voltajı ölçerek belirlenir. Sıcaklığı bu yöntemle ölçmek için kullanılan iki semikonductöre ısıçift veya termokupul adı verilir. Isılçiftler, hemen hemen her sıcaklık ölçümüne uygun olduklarından çok yaygın bir biçimde kullanılmaktadırlar. (Çengel ve Boles, 2000)



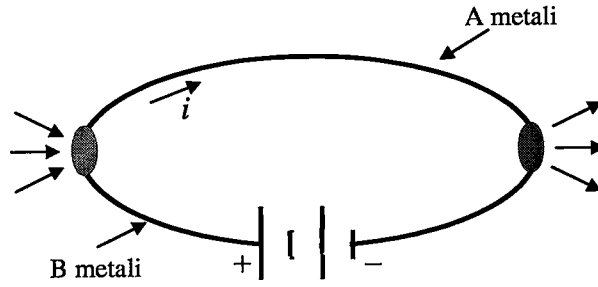
Şekil 1.2. Farklı metallere oluşan bir devrede voltaj oluşumu(Çengel ve Boles, 2000).

Seebeck etkisinden yararlanılarak güç üretimi yapılır. Şekil 1.3'de bir termoelektrik güç üreticisinin genel şeması görünmektedir. Q_H miktarında ısı, yüksek sıcaklıktaki kaynaktan sıcak uca geçmekte, Q_L miktarında ısı da soğuk uçtan çevreye verilmektedir. Bu iki değer arasındaki fark, yapılan net işi gösterir. Başka bir deyişle, $W_e = Q_H - Q_L$ olmaktadır. Termoelektrik güç çevrimi bir ısı makinesi çevriminde benzemektedir, sadece burada akışkanın yerini elektronlar almaktadır. (Çengel ve Boles, 2000)

Seebeck keşfinden 12 yıl sonra Jean Charles Athanese Peltier, termoelektrik sisteme dışarıdan bir potansiyel farkı uygulayarak, termoelektrik devrede elektronların akış yönünü değiştirmeyi ve böylece soğutma etkisini gözlemleyerek termoelektrik olayının tamamlayıcı etkisini keşfetti. Yaptığı deneyler sonucunda farklı malzemelerden yapılmış iki telin oluşturduğu uçtan, zayıf bir akım geçirildiği zaman, bir ucun soğuduğunu gördü (Şekil 1.4). Bu olguya Peltier etkisi adı verilir ve termoelektrik soğutmanın temelini oluşturur. (Çengel ve Boles, 2000)



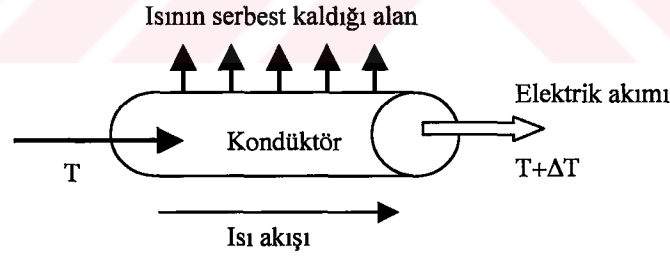
Şekil 1.3. Basit bir termoelektrik güç üreticisinin genel çizimi(Çengel ve Boles, 2000)



Şekil 1.4. Farklı metallerden oluşan devrede soğutma olayının oluşumu. (Çengel ve Boles, 2000)

1834 de, Peltier'in kullanmış olduğu zayıf akımla yaptığı deneysel gözlemlerinden elde ettiği sonuçlar tam olarak anlaşılmamıştı. Esasında Peltier'in elde ettiği bulguların temeli Seebeck etkisiyle ilgilidir. Lenz 1838'de Peltier'in yapmış olduğu deneylerden çıkardığı sonuçla; plakalar arasında iki kondüktörün birleşmesi ve üzerinden doğru akım geçirilirse plakanın bir yüzeyinde ısı emildiğini, akım yönünün tersine çevrilmesi durumunda ise ısı emilen yüzeyden ısı üretildiğini açıkladı. (Ioffe, 1957)

1850 den itibaren tüm enerji çevrim şekilleri üzerine bilim adamları birçok çalışmalar yapmış ve bunun sonucunda da termodinamik gelişmelerle birlikte termoelektrik olayında yeni sonuçlar meydana çıkmıştır. 1851 de W.Thomson (Lord Kelvin) önceden bildirmiş olduğu üçüncü termoelektrik etkisi olan Thomson etkisini, deneysel metotlarla yaptığı incelemeler ve bağıntılarla kanıtlamıştır. Şekil 1.5 da görülen Thomson etkisi; ısıtma veya soğutmada tek homojen kondüktör üzerinden akım geçtiği müddetçe sıcaklık değişim gradyanının meydana geldiğini anlatmaktadır. Isı akım ve gradyanın yönüne bağlı olarak absorplanır veya serbest bırakılır. Aynı yönde elektrik akımı varsa ısı aktığı için özellikle daha çok serbest bırakılır. Aksi takdirde ısı absorplanır. Birim uzunlukta absorbe edilen güç q , sıcaklık farkıyla dT/dx ve elektrik akımı I doğru orantılıdır. (Thomson, 1851)



Şekil 1.5. İletken bir telde oluşan Thomson etkisi (Thomson, 1851)

Termoelektrik olayının elektrik üretici olarak kullanılma olasılığını dikkate alan Rayleigh 1885'de termoelektrik jeneratörünün ilk verimini hesaplamıştır. Fakat bu düşüncesinin yanlış olduğu sonradan ispatlanmıştır. 1909 ve 1911 de Altenkirch, termoelektrik cihazların elektrik üretiminde ve soğutmada uygulanmasında mükemmel termoelektrik malzemeler kullanılması teorisini ortaya koymuştur. Yüksek performans verebilecek termoelektrik malzemeler yüksek seebeck katsayısı ile düşük ısıl iletkenlik

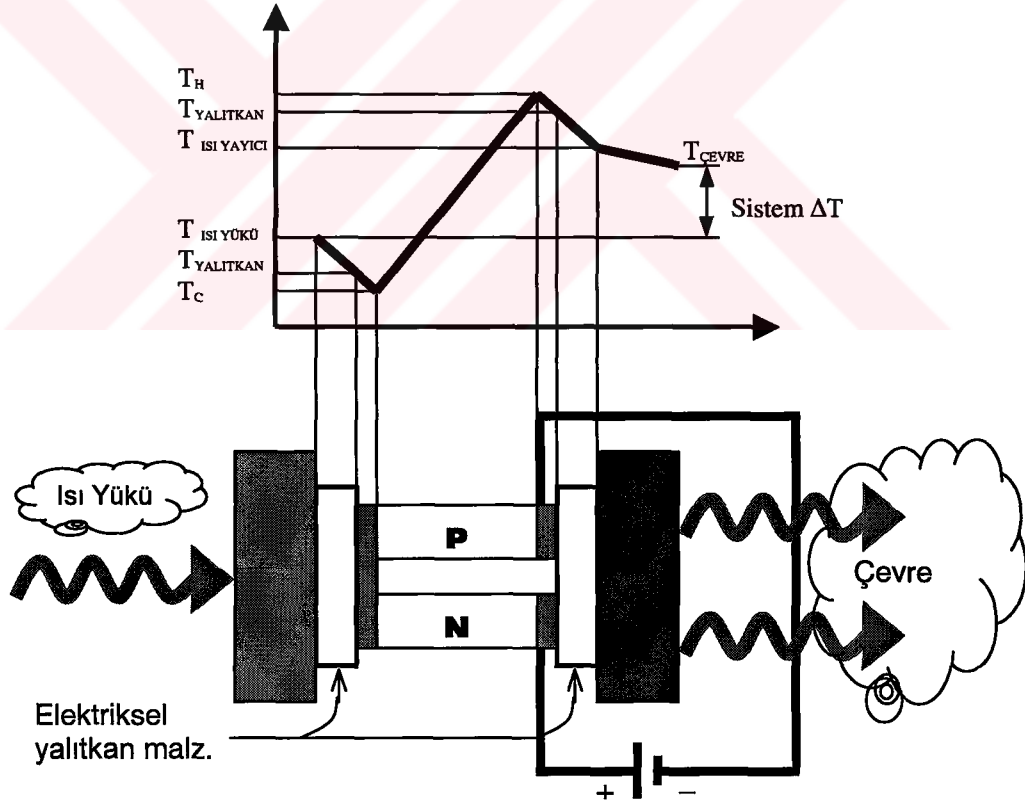
(λ) sahip olmalı ve ısı bağlantısında düşük elektrik direnciyle minimum ısı (enerji) tutmalıdır. İstenen malzemelerin özelliklerinde belirtilen Z katsayısı materyal faktörü olarak adlandırılır. $Z = \alpha^2 \sigma / \lambda$ olup ve Z nin birimi $1/ K$ dir. Verilen mutlak sıcaklık T, değişken Z ile kullanımında boyutsuzdur ve ZT ile gösterilir. (Altenkirch, 1911)

1900 lü yıllarda termoelektrik cihazların daha verimli bir şekilde elektrik üretiminde veya soğutmada kullanılabilmesi için bilim adamları mükemmel termoelektrik malzemeler üzerine çalışmalarını arttırdı. Mükemmel termoelektrik malzemesinin Seebeck katsayısının yüksek olması gerekmektedir. O zamanlarda metallerin seebeck katsayısı $10 \mu VK^{-1}$ di. Bu çeşit bir malzemedan oluşturulan termoelektrik cihazın verimi de %1 civarındaydı. Bundan dolayı da termoelektrik cihazların elektriksel güç kaynağı ve soğutmada kullanılması ekonomik değildi. Termoelektrik, alanındaki gelişmeler sonucunda 1930 da sentetik semikondüktörler imal edildi. Sentetik semikondüktörlerin sahip oldukları seebeck katsayıları $100 \mu VK^{-1}$ dan fazladır. 1947’de Telkes bu sentetik semikondüktörlerden yaptığı jeneratörü %5 verimle işletti. 1949’da Ioffe, termoelementler teorisini geliştirmiştir. Bu teoriyle olağan çevre şartlarında düşük sıcaklıklarında yani $0^\circ C$ altında soğutma yapılabilir. Bu teoriyi 1954’de Goldsmid ve Douglas ispatlamıştır. 1950’ deki sonuçlarda yeni malzemeler ile termoelektrik özellikleri önemli (büyük) ölçüde düzeltilmiştir. Daha önceden elde ettikleri [ısı iletkenlik / elektriksel iletkenlik] oranı oldukça düşüktü. Şu anki, termoelektrik malzemeler ise eş yapılı veya bileşik (aynı tip) alaşımlar olup bu oran hayli yükseltilmiştir. Bu malzeme askeri uygulamalarda kullanabilmesi için teşvik edilmiş ve özellikle USA daki RCA Laboratuvarlar elde edilen bir kaç semikondüktör ile yapılan deneylerde semikondüktörlerin ZT si yaklaşık 1,5 bulunmuştur.(Ioffe, 1957; Telks, 1947; Goldsmid, ve Douglas, 1954; Ioffe vd., 1956)

Modern termoelektrik çevriminde; gerekli miktarlarda, külçe halindeki “p” ve “n” tipi semikondüktörler birbirini takip edecek şekilde metal bağlantı şeritlerin üzerine yerleştirilmiştir, bu şeritler elektriğe seri şekilde bağlanır. Elektriği iletmeyen (yalıtkan) fakat ısıyı iyi ileten seramik kaplı iki modül arasına birbirine bağlı semikondüktörler yerleştirilerek sıkıştırılır. Modüllerin sıcaklık farkının boydan boya korunması şartıyla elektriksel güç üreticisi olarak işletilmesi mümkündür. Bunun tersine, modülün içinden

elektrik akımı geçtiği zaman modülün bir yüzünden ısı emilerek diğer yüzündende ısı atılarak bu cihaz soğutucu olarak çalıştırılmaktadır. Peltier etkili iki semikondüktörlü termoelektrik soğutucunun genel şekli ve bu termoelektrik modülünün ısıyı transfer ederken gövdesinde oluşan sıcaklıkları şekil 1.6 da gösterilmektedir.

Dünyada, 1960 larda uzay araştırmaların ve medikal fiziğin gelişmesiyle, bağımsız elektriksel güç kaynaklarına gereksinim duyuldu. Bu çalışma alanlarında termoelektrik üreteçler uygun ve tatmin ediciydi. Termoelektrik üreteçler güvenilir, hareketli kısım bulunmayan diğer sistemlere nazaran ve daha sessiz çalışan cihazlardır. Fakat diğer üreteçlere göre nispeten maliyeti yüksek ve verimi düşüktür. Termomekanik cihazlarıyla termoelektrik üreteçler karşılaştırıldığında, termoelektrik üreteçler sağlamlık ve basitlik gibi avantajlara sahiptirler.(Yarborough, E.H. ve Yeat, F.W., 1975)



Şekil 1.6 Termoelektrik soğutucu ve soğutucuda meydana gelen sıcaklıklar (TECA Corp.)

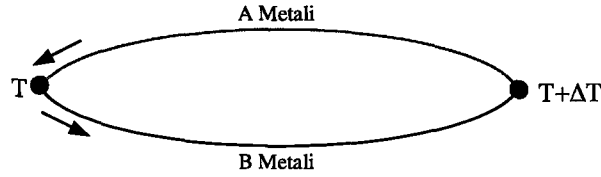
Fosil yakıtların, oksijenle yakılması sonucu elde edilen enerji, ısı kaynağı durumdadır. Hidrokarbon yakıtlardan sağlanan enerji 1950'lerde oldukça çok kullanılmaktaydı. Hidrokarbon yakıt sistemi pillerden daha küçük boyutlarda, uzun süreli ısı enerjisiyle elektrik enerjisi sağlayabilmektedir. Yıllık yakıt ikmalinin mümkün olmadığı veya oksijen mevcut olmadığı durumlarda, ısı kaynağındaki radyoaktif izotoplar, ısı etkisiyle radyoizotop termoelektrik jeneratörlere fırsat vermektedir. Radyoizotop termoelektrik jeneratörler uzun müddet çalışabilmektedirler. Örneğin, Voyegar uzay aracı 1977 de fırlatılmış ve o günden beri hala çalışmasını sürdürmektedir. (Rowe, 1989)

1974 de petrol fiyatlarındaki artışla birlikte termoelektrik etkiyle elektrik üretme metodu da önem kazanmaya başlamıştır. Bu yöntemle bol ve kolay bir şekilde elektrik üretimi yapılabilmektedir. Z değeri yüksek semikondüktör malzemelerin geliştirilmesiyle bu yöntemle elde edilen enerjinin maliyeti azaltılabilir. Ayrıca termoelektrik sistemin ozon tabakasına zararlı etkilerinin olmaması da ileride bu sistemi daha da avantajlı bir konuma getirecektir. (Rowe, 1993; Matsuura vd., 1992)

2. TERMOELEKTRİK PRENSİPLER

2.1 Termoelektrik Olayı

İzole edilmiş iletkenin uçlarında sıcaklık farkı ulaştığında iletkenin malzemesi içinde elektriksel potansiyel oluşmaktadır. Buna mutlak seebeck etkisi (ASE) denir. Mutlak seebeck katsayısı, verilen bir sıcaklıkta ASE nin dT ile değişimi olarak tanımlanır ve $ASC=[d(ASE)/dT]_T$ şeklinde ifade edilir. Bu prensip, iki farklı kondüktör içeren termokupulları veya termoelementleri formüle etmektedir. Bu cihazın uçları arasında sıcaklık farkı, voltaj üretecektir. Bu oluşan voltaj, şekil 2.1 de gösterilen relatif seebeck emf (RSE) dir. Bu voltaj, birleştirilen iletkenler içerisindeki oluşan potansiyel farklardır. Relatif seebeck katsayısı (RSC), verilen bir sıcaklıkta RSE nin değişimidir ve $RSC=[d(RSE)/dT]_T$ şeklinde ifade edilir. Seebeck etkisi, benzer olmayan malzemelerin uçlarının bir sonucu olarak artmaz bununla birlikte Thomson veya Peltier etkilerinden direk olarak etkilenmez. Bu iki termal etki termoelektrik devrede hiçbir voltaj olmadığında kullanılır. Bu etkilerin sonuçları, sıcaklık gradyanı korunduğu ve sistemdeki akım geçmesi ihmal edildiği sürece var olan relatif seebeck etkisinin tersidir. Seebeck potansiyeli, akım olması için itici bir kuvvete dönüşür. Yani sisteme herhangi bir voltaj uygulanmaması durumunda termoelektrik devre de Peltier, Thomson etkisi vardır. (Seebeck, 1826)

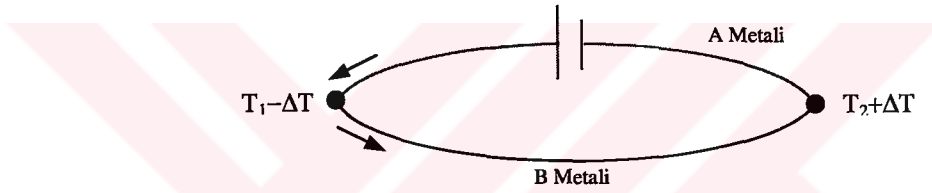


Şekil 2.1. Relatif seebeck etkisini gösteren termoelektrik devresi

RSE, birbirinden farklı malzemelerin arasında bir fiziksel bağlantı yokken birbirleriyle yakınlaşmadan doğan Fermi enerji değildir. Bu şekilde oluşan potansiyel enerjinin termoelektrik olayı değildir. (Pollock, 1990)

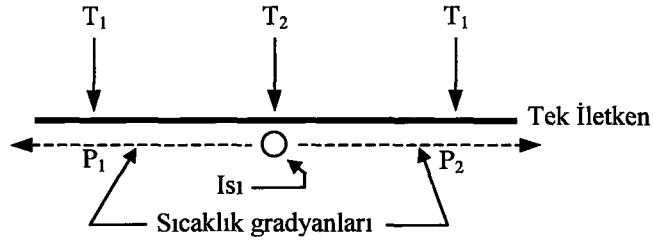
Seebeck etkisinin en geniş uygulama alanı, termoelektrik termometredir. Bu termoelemanın içinde, ısı enerjisinin elektrik enerjisine dönüşmesi sonucudur. Açık çevrimde oluşan emf (elektro motor kuvvet), sıcaklığı ölçmek için kullanılan RSE dir. Standart metalik kondüktörlerden oluşmuş termokupullar, doğru, duyarlı, güvenilir şekilde ölçüm ve kontrol için kullanılır.

Peltier, iki farklı kondüktör arasında akım geçtiğinde kondüktörün bir yüzünden ısının absorbe edildiğini gösterdi. Şekil 2.2 de bu çevrim gösterilmiştir. Bu etki, kondüktörlerin yüzeylerindeki sıcaklık farkı homojen şekilde olmayabilir. Peltier etkisi, farklı kondüktörlerin arasından geçen elektrik akımının etkisiyle ısının tersinir değişimidir. (Pollock, 1990)

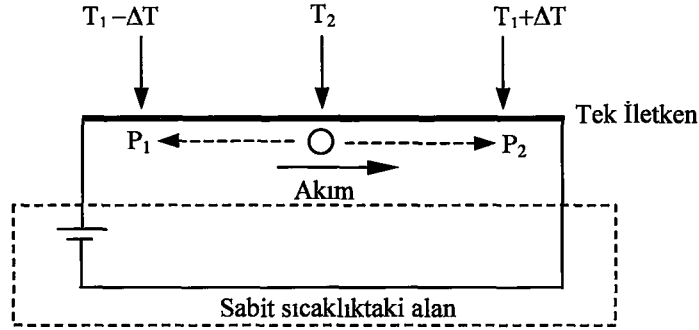


Şekil 2.2. Peltier etkisini gösteren termoelektrik devresi(Pollock, 1990)

Peltier katsayısı, A ve B iletkenliklerinin uçlarında, birim zamanda tersinir ısı değişimi sonucunda oluşan birim ısı akışıdır. $\pi_{A,B} = \pi_A + \pi_B$ ve π_A , π_B sırasıyla A ve B iletkenliklerinin mutlak peltier katsayısıdır. π_A ve π_B ısıyı absorbe veya atarken akım yönünü belirler. Peltier etkisi, elektrik yük taşıyıcıların entropisindeki değişiminin bir sonucudur. π_{AB} , volt birimini içine alan enerji birimleriyle ifade edilir fakat emf değildir. Peltier, Seebeck etkisi gibi direkt potansiyel enerji gibi değildir. Peltier etkisi, sabit bir uç sıcaklığında RSC le ve akımla orantılıdır. Bu tersinir etkiler termokupulun ucunun boyutlarından ve şeklinden bağımsızdır. Peltier etkisinin uygulamaları, güç üretimi ve soğutma işi yapan termoelektrik cihazları kapsar.



(a) Tek iletkeninin açık devre karşısında oluşan sıcaklık gradyanları



(b) Tek iletkende kapalı devrede Thomson etkisiyle meydana gelen asimetrik sıcaklık gradyanları

Şekil 2.3. Açık ve kapalı devrede tek kondüktörde oluşan Thomson etkileri(Thomson, 1856)

Thomson etkisi; herhangi bir homojen iletken içerisinde, iletken boyunca elektrik akımının geçtiğinde, iletkenin içindeki ısının tersinir değişimi sonucunda iletken üzerinde oluşan sıcaklık farkıdır. Bu etki şekil 2.3 te gösterilmiştir. Thomson katsayısı; iletken içinden geçen birim akımla, içindeki ısının tersinir değişimi sonucunda oluşan birim sıcaklık farkıdır. Thomson terimi, elektriğin özgül ısısı olarak tanımlanmıştır. Thomson terimi, voltaj kapsayan enerji birimleriyle ifade edilir fakat voltaj değildir. Thomson etkisi, bir kondüktör içinde elektrik taşıyıcılarının akış yönlerini gösteren bir ifadesidir. Isı gradyanı arttığı yönde potansiyel enerjisi azalır. (Thomson, 1856)

2.2 Termoelektrik Sistemlerin Termodinamik İncelenmesi

Termoelektrik olayların, termodinamikle arasındaki ilişkinin önemi temel olayla anlaşılır. Termoelektrik etkilerin temelini, Quantum mekaniğinin davranışları ele alış tarzları oluşturmaktadır. Termodinamik analizleri Benedic ve Callen tarafından yapılmıştır. (Benedict, 1984)

Termoelektrik devreler prensipte tersinir ısı makinası gibi iş yapmaktadır. Dönüşemeyen ısı (joule) enerji kayıpları ihmal edilebilir düzeydedir ve ihmal edilir. Kapalı termometrik termoelektrik devresinde yaklaşık 10^{-3} A akım oluşur. Termoelementlerin, elektriksel dirençleri küçüktür (genelde, maksimum duyarlılıkta küçük yapılmaktadırlar) ve ekseriyetle 10Ω dan azdır ve çok kullanılır. Tersinmez ısı kayıplar oldukça azdır yani yaklaşık 10^{-5} W tır. Bundan dolayı ihmal edilerek verilir.

Bu sistemler, iki farklı kondüktöre sahiptir. Şekil 2.1 de görüldüğü üzere A ve B iletkenleriyle bir kapalı devre oluşturulmuştur. Soğuk taraf $T+\Delta T$, sıcaklığı muhafaza etmek için A ve B iletkenleri ısı depolamaktadır. RSE, sıcaklık farkının sonucunda E_{AB} dir. RSC (değişken emf nin Kelvine oranı) dE_{AB}/dT dir. Bu suretle elektriksel enerji ifade edilir;

$$IE_{AB} = I [dE_{AB}/dT] \Delta T \quad (2.1)$$

Ve birim akım akışı termoelektrik devre için

$$E_{AB} = [dE_{AB}/dT] \Delta T \quad (2.2)$$

Diğer enerji faktörleri olan kapalı termoelektrik devrelerde, peltier etkisi (uçlardaki ısı içeriğindeki değişmeler) ve thomson etkisi dir (kondüktörlerdeki ısı değişmeler). Bunların termal enerjileri şöyle ifade edilir;

Peltier etkisi (bağlantıda); (2.3a)

$$\text{Emdiği ısı; sıcak uçtaki} = \pi_{AB} (T+\Delta T)$$

$$\text{Bıraktığı(verdiği) ısı ; soğuk uçtaki} = -\pi_{AB} (T)$$

Thomson Etkisi (Kondüktörlerin); (2.3b)

$$\text{Kondüktörün içinde; emdiği ısı } B = \beta_B (\Delta T)$$

$$\text{Kondüktörün içinde; bıraktığı ısı } A = \beta_A (\Delta T)$$

Burada; π : Peltier etkisi β : Thomson etkisi ifade etmektedir.

Termoelektrik devre, tersinir ısı makinası dönüşümü gibidir. Termoelektrik devrenin çevrimi bundan dolayı ısı ve elektrik enerjisiyle eşitlenmektedir. Devrede birim akım çıkışında,

$$\frac{dE_{AB}}{dT} \Delta T = \pi_{AB} (T + \Delta T) - \pi_{AB} (T) + (\beta_B - \beta_A) \cdot \Delta T \quad (2.4)$$

Denklem 2.4 , ΔT bölerek eşitlesek,

$$\frac{dE_{AB}}{dT} = \frac{\pi_{AB} (T + \Delta T) - \pi_{AB} (T)}{\Delta T} + (\beta_B - \beta_A) \quad (2.5)$$

ΔT sıfır olması şartından sıcaklıkla ilgi Peltier etkisinin anlık oranı şudur;

$$\frac{dE_{AB}}{dT} = \frac{d\pi_{AB}}{dT} + (\beta_B - \beta_A) \quad (2.6)$$

Denklem 2.6, kapalı termoelektrik devrelerin temel termodinamik teorimidir. Elektriksel seebeck etkisi ve ısıl peltier ile thomson etkileri arasında enerji ilişkisini göstermektedir.

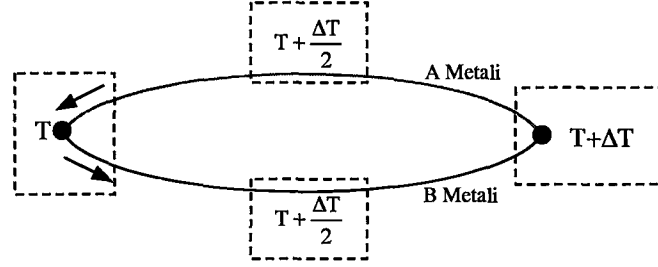
Denklem 2.6 için ögeler farklı ısıl olayları göstermektedir. A ve B kondüktörleri sıcaklık (enerjisi) gradyanı oluştuğunda, RSE neden olmaktadır. Bu durumda Peltier ve Thomson etkiler birim voltaj girişi olarak ifade edilirken bunlar ısıl karakterlerdir. Denklem 2.6 için önemli husus, harici elektrik kaynağı olmayan kapalı devreler için türetilmiştir. RSC, dE_{AB}/dT bağıntısı temsil etmekte, termoelektrik devresi açıldığında sıfır değil iken Peltier ve Thomson ısı değişkenleri bu durumda sıfırdır. Devrede geçen akım sıfır olduğunda peltier ve thomson katsayıları değişmemiştir. Bundan dolayı akım akışı olmayan devrelerde denklem 2.6 kullanılmamalıdır. Buda gösteriyor ki peltier ve thomson etkilerin fiziksel karşılıklarını tespitinde RSE dikkate alınmaya bilir. Yeniden ifade edilirse; ısıl terimler, denklem 2.6 le seebeck etkisi elektriksel karşılığa dönüştürülemez.

Kapalı termoelektrik devrede, elektriksel seebeck etkisinin işletme kuvveti haricinde thomson ve peltier etkiler ısının yükselmesiyle akım oluşturmaktadır. Bu ısıl etkiler; termoelektrik termometreler de düşük sıcaklıkta hatalı sonuçlar vermesine sebep olmaktadır. Fakat “I.R” voltaj kayıpları emf'nin hassas okunmasından dolayı, ölçümdeki hatasapmasının azalmasına sebep olmaktadır. Onun için; ekseriyetle hassas sonuçlar için termoelektrik dengeli (açık devre veya sıfır akım) termometreler ölçümlerde kullanılabilir.

Termoelektrik devrelerde tersinir yaklaşım ile çalışmış gibi onların temel termodinamik tersinir analizleriyle değerlendirilebilir. Böylece kapalı bir termoelektrik devrenin çevresiyle toplam entropi değişimi sıfıra eşit olmalıdır. Bu şekilde, problemleri kolaylaştırmak ve deneysel bulgular ile mükemmel uyum içerisinde sonuçlara ulaşılır. Bu termoelektrik devrelerin akış analizinde ısı deposu, devrenin çevresindeki toplam entropi değişimidir. Bu teori termoelektrik devrenin termodinamik özelliklerinin analizini basitleştiriyor. (Benedict, 1984)

İki ek kaynak A ve B kondüktörlerin orta noktasına yerleştirilirse. her birinin merkez depoları sıcaklıklarını koruyacak şekilde diyer bir ifadeyle sıcak ve soğuk uçların ortalaması olacak şekilde sıcaklığı belirlenir. Şekil 2.4 te bunun şeması

görülmektedir . Bu yöntem sayesinde devredeki her bir termoelementlerin çevresiyle oluşturdukları entropideki ortalama değişimini hesaplamayı sağlar.



Şekil 2.4 Isıl olayının analizi için kapalı termoelektrik devresi (Pollock,1990)

Elektrik birim miktarı devredeki akışa yaptırılır. Tersinmez yaklaşıma göre kabullere göre toplam entropi değişimi, $\Delta\phi$ tüm dönüşümlerde (bağlantılar ve kondüktörler boyunca) sıfırdır. Toplam entropi değişimini veren termoelektrik devre için bağıntı,

$$\Delta\phi \cong \frac{-\pi_{AB}(T+\Delta T)}{T+\Delta T} + \frac{\pi_{AB}(T)}{T} - \frac{\beta_B(\Delta T)}{T+\frac{\Delta T}{2}} + \frac{\beta_A(\Delta T)}{T+\frac{\Delta T}{2}} = 0 \quad (2.7)$$

sonucu bulabilmek için ilk iki terimler; $\Delta T/\Delta T$ çarpılarak çoğaltılır.

$$\Delta\phi \cong \left[\frac{-\pi_{AB}(T+\Delta T) + \pi_{AB}(T)}{\Delta T} \right] \Delta T - \frac{\beta_B(\Delta T)}{T+\frac{\Delta T}{2}} + \frac{\beta_A(\Delta T)}{T+\frac{\Delta T}{2}} = 0 \quad (2.8)$$

Köşeli parantezli kısmı ayrı olarak ΔT sifira yaklaşırken limiti: $-\frac{d}{dT} \left(\frac{\pi_{AB}}{T} \right)$

Bunun denklem 2.8'deki yerine konulursa,

$$\Delta\phi \cong -\frac{d}{dT} \left(\frac{\pi_{AB}}{T} \right) \Delta T - \frac{\beta_B(\Delta T)}{T+\frac{\Delta T}{2}} + \frac{\beta_A(\Delta T)}{T+\frac{\Delta T}{2}} = 0 \quad (2.9)$$

şeklinde ortaya çıkar.

Thomson katsayısının tanımına göre; $\Delta T = 1$ K, ve $T = 1$ K den daha büyük olduğu için $T + \Delta T/2 = T + 1/2 \cong T$ dir. Bu yaklaşım, denklem 2.9 un daha sade yazılmasını sağlar.

$$\frac{d}{dT} \left(\frac{\pi_{AB}}{T} \right) \cong \frac{\beta_A}{T} + \frac{\beta_B}{T} \quad (2.10)$$

Denklem 2.10 de gösterilen türev indirgenirse (açılırsa, azaltılırsa),

$$\frac{T \frac{d\pi_{AB}}{dT} - \pi_{AB}}{T^2} \cong \frac{\beta_A}{T} + \frac{\beta_B}{T} \quad (2.11)$$

Denklem 2.11, sadeleşmeler yapıp yeniden düzenlenirse;

$$\frac{\pi_{AB}}{T} \cong \frac{d\pi_{AB}}{dT} + \beta_B - \beta_A \quad (2.12)$$

hale gelir.

Isı analizi için denklem 2.12, kapalı bir devrede termoelektrik çevrimdeki entropi değişimini gösterir. π_{AB} çevrimin ısı değişimidir ve T sıcaklığı tarafından bölünmüştür. Nernst göre, Ayrıca verilen sıcaklık için çevrimin entropideki değişimidir. (Pollock, 1990)

Denklem 2.12, Peltier ve Thomson katsayılarıyla ilgilidir. Peltier cihazların kullanımını için önemlidir. Denklem 2.12 yi daha açık yazılırsa,

$$\frac{d\pi_{AB}}{dT} \cong \frac{\pi_{AB}}{T} + (\beta_B - \beta_A) \quad (2.13)$$

şeklinde yeniden ifade edilir.

Eğer maksimum bir Peltier etkisi olursa, $d\pi_{AB}/dT$ olur. Bu, iki termik etki arasındaki en iyi ilişkiyi elde etmek için kullanılır ve böylece,

$$\pi_{AB} \cong (\beta_B - \beta_A)T \quad (2.14)$$

Thomson katsayıları bilinen bilgilerle, termoelement kombinasyonun en iyisi, basit bir hesaplama yoluyla seçilebilir. Temel termodinamik teorem (denklem 2.6), denklem 2.12'da kullanılarak,

$$\frac{\pi_{AB}}{T} \cong \frac{dE_{AB}}{dT} \quad (2.15)$$

Denklem 2.15, kapalı devrede termoelektrik uçlardaki entropi değişimini direkt ölçmek için termokupulun RSC sini verir. Yeniden yazacak olursak,

$$\pi_{AB} \cong \frac{dE_{AB}}{dT} T \quad (2.16)$$

Denklem 2.16 Peltier cihazlarının daha verimli hale getirilmesini anlamada yardımcıdır. Termoelementlerin, peltier etkili geniş kombinasyonları enerji üretimi için veya soğutma için kullanmanın zor olduğunu gösterir. Termik etki her iki durumda da düşüktür.

Seebeck ve Thomson etkileri arasındaki bir diğer önemli ilişki, denklem 2.16'nın türevi alınmasıyla elde edilir.

$$\frac{d\pi_{AB}}{dT} \cong \frac{dE_{AB}}{dT} + T \frac{d^2E_{AB}}{dT^2} \quad (2.17)$$

Denklem 2.17, yeniden yazarsak,

$$\frac{d\pi_{AB}}{dT} - \frac{dE_{AB}}{dT} \cong T \frac{d^2E_{AB}}{dT^2} \quad (2.18)$$

Benzer bir ifade de denklem 2.6'den elde edilmişti, bu

$$\frac{d\pi_{AB}}{dT} - \frac{dE_{AB}}{dT} \cong -(\beta_B - \beta_A) \quad (2.19)$$

Denklem 2.18 ve 2.19 birbirine eşitlersek,

$$T \frac{d^2E_{AB}}{dT^2} \cong -(\beta_B - \beta_A) \quad (2.20)$$

yeniden yazarsak,

$$\frac{d^2E_{AB}}{dT^2} \cong \frac{(\beta_A - \beta_B)}{T} \quad (2.21)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Denklem 2.21 formunda terimlerin birbirleriyle ilişkilerini bulmak için integrallenebilir. Böylece,

$$\frac{dE_{AB}}{dT} \cong \int_0^T \frac{\beta_A - \beta_B}{T} dT \cong \int_0^T \frac{\beta_A}{T} dT - \int_0^T \frac{\beta_B}{T} dT \quad (2.22)$$

Denklem 2.22 çözümlüdür, çünkü β/T miktarlarını entropilerdir ve termodinamiğin 3. kuralına dayandırılmıştır. Sıcaklık sıfıra ulaştığı için entropilerde sıfıra ulaşır. Bunun temeli, kapalı bir devrede termokupulların termoelektrik enerjisi, kendisini oluşturan termoelementlerin entropileri arasındaki farklılığından dolayı ortaya çıkar. Denklem 2.6 için not edilen kısıtlamalar, denklem 2.22 için de geçerlidir. Thomson etkisinin cebirsel farklılığı, Seebeck etkisini bağlamaz. (Darken, ve Gurry, 1953)

Denklem 2.16'daki denklem 2.22'in kullanımı, Peltier ve Thomson katsayıları arasındaki bir diğer önemli ilişkiyi gösterir. Kapalı termoelektrik devreleri için,

$$\pi_{AB} \cong \frac{dE_{AB}}{dT} T \cong \left(\int_0^T \frac{\beta_A}{T} dT - \int_0^T \frac{\beta_B}{T} dT \right) T \quad (2.23)$$

sadeleştirmeleri yapıp en sade şekliyle yeniden yazarsak,

$$\pi_{AB} \cong \pi_A - \pi_B \quad (2.24)$$

Diğer bir deyişle, Denklem 2.22 deki integralli kısım entropi dir. Diğer bir deyişle π_A ve π_B entropileri, bir termoelektrik çevrimi oluşturan termoelemanların bireysel entropileridir. Bu yüzden, peltier etkili bir çevrimdeki termoelemanlar arasındaki entropi farklılıklarının sonucu olarak artar. Isı (enerji), taşıyıcıların yüksek entropisi bir termoelemandan alçak entropisi bir termoelemanına akarken açığa çıkar. Tersine bir durumda, ısı absorbe edilir.

Denklem 2.24, Peltier etkisi potansiyel bağlantısı olmadığına ilk önce kullanılabilir temel ifadelerden birisidir.

Denklem 2.22, kapalı bir devrede bir termokupulun RSC' sini, termokupuldaki termoelementler arasındaki oluşan entropi farkıdır. Termodinamiğin temelinde, kabul edilen enerji içeren örneklerinde bir termokupulun RSC'si, termokupulu oluşturan termoelementlerinin, cebirsel ASC miktarıdır. Denklem 2.22, açık devre emf ölçümleri için geçerli değildir. Çünkü, denklem 2.6'nın açıklamasında belirtildiği gibi, thomson etkisi, ısı değişimlerinde sıfırdır ve bu durumda RSC sıfır olamaz. Açık devrelerde bulunan sıcaklık değişimlerinden ortaya çıkan RSC, termokupuldaki her termoelement de var olan potansiyel farklılıktan dolayı artar ve denklem 2.22'ye benzer bir şekilde, açık devreli bir termokupulun RSC'si,

$$\frac{dE_{AB}}{dT} = \alpha_A - \alpha_B \quad (2.25)$$

Burada α_A ve α_B ifadeleri, A ve B termoelementlerinin ASC'leridir. Denklem 2.25 temel bir öneme sahiptir. Çünkü termoelementler çalışırken bireysel özelliklerinden biri olan ASC si yükselir. α_A ve α_B nin termodinamiğini en iyi quantum mekaniği tarif eder. Çünkü elektriksel taşıyıcıların(elektronların) içerdiği özel özelliklerdir. (Pollock, 1991)

Tam Seebeck özellikleri görmenin en kolay yolu, biri normal diğer kısmı süper iletken çiftinden oluşmuş bir termokupul tasarlamaktır. Süper iletkenden diğer iletkene elektron transferi oluşturacak sıcaklığın altında olan sıcaklık değerinde ASC sıfırdır. Sıcaklığın artması, süper iletkende potansiyel farklılık (emf) oluşturmaz. Bu termokupul tarafından üretilen emf, normal termoelementte üretilendir. Günümüzde, bu teknik 120 °K gibi düşük sıcaklıkların ölçümlerinde başvurulmaktadır. (Pollock, 1993)

Termoelektrik sistemlerde referans amaçları için genellikle "Pb" elementi kullanılır. İki termoelemente sahip termokupulun, termoelementlerinden biri termoelektrik özellikleri referans olarak kullanmak için "Pb" elementi kullanılır. Diğer termoelektrik materyalin ASC'si, denklem 2.25'in kullanılmasıyla hesaplanır. Bu sayede termokupulun RSC si hesaplanır. Bu teknik, "Pb" nin erime sıcaklığının yüksek olmamasından dolayı oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda referans amaçlı kullanılır.

Günümüzde saflaştırılmış platinyum termoelementi, referans olarak kullanılmaktadır. Platinyumun yüksek erime noktası ve termoelektrik özellikleri sayesinde oksitleyici etkisi olan atmosferden etkilenmediğinden daha kullanışlıdır. (Pollock, 1991)

ASC leri uygun bir şekilde standartlaştırılmış olan referans materyalleri, halen imal edilmektedir.

Denklem 2.22 deki termoelektrik özelliklerin değerleri, termoelementin termodinamik referans sıcaklığı 0°K 'dir. Bununla birlikte hazır, yeniden üretilebilir sıcaklıklarda pratik referans amaçları için kullanılması uygundur. Bir atmosfer basıncındaki buzun erime noktası 0°C , genelde termometrelerde pratik referans olarak kullanılır. Çünkü, hazır elde edilebilirliğe ve kolaylıkla yeniden üretilebilirliğe sahiptir. (Roeser, ve Lonberger, 1958)

2.3. Termoelektrik Kanunlar:

Elde edilen termodinamik bağıntılara göre, termoelektrik devreler için üç tane kanun geçerlidir.

1. Homojen kondüktörler kanunu,
2. İntermediate (orta) kondüktörler kanunu,
3. Ardışık sıcaklıklar kanunu.

Homojen kondüktörler kanunu, aynı homojen iki termoelementten bir termokupul oluşturulduğunda uçlar arasında emf oluşmaz. Bu denklem 25 görüldüğü üzere, α_A ve α_B eşit olması sonucu sıfır çıkar.

İntermediate (orta) kondüktörler kanunu; farklı kondüktörlerin arasında sıcaklık farkı olmazsa mutlak seebeck katsayısı sıfıra eşittir bir başka deyişle termoelementlerin iki ucu arasında sıcaklık farkı yoksa kondüktörler arasında emf üretilmeyecektir. Denklem 2.25 bunu ispatlamaktadır. Bu durumda iletkenler seri bağlanabilir ve emf netleri sıfır olacaktır. Bu uçların aynı sıcaklıkta olduğu zaman, aynı homojen iletkenlerin ASC'lerini belirtir. Bu kural ayrıca, A-C ve C-B termoelementlerinden oluşan iki termokupulun aynı sıcaklıkta birbirine seri bağlyken R_{SC} si, $dE_{AB} / dT = \alpha_A - \alpha_C + \alpha_C - \alpha_B = \alpha_A - \alpha_B$ olarak ifade edilir. "Pb" gibi referans termoelementler, her iki termokupulun genel olan termoelement diğer termoelementlerle eşleştirmek için bu yol kullanılır. Bu durumda, genel termoelement önceki ifadede α_C ile gösterilmiştir.

En sonuncu ardışık sıcaklık kanunudur. Bu kanun, homojen kondüktörlerden oluşmuş termokupulun, yüksek ara sıcaklık değişimlerinde, denklem 2.25 in integralenmesi sonucunda elde edilen denklemle termokupulun emf si hesaplanır. Burada T_0 bir referans sıcaklığıdır ve $T_0 < T_1 < T_2 < T_3$ olması şartıyla,

$$E_{AB} = \int_{T_0}^{T_1} (\alpha_A - \alpha_B) dT + \int_{T_1}^{T_2} (\alpha_A - \alpha_B) dT + \int_{T_2}^{T_3} (\alpha_A - \alpha_B) dT \quad (2.26)$$

şeklinde ifade edilir. Bu aşağıdaki ifadeyle aynıdır

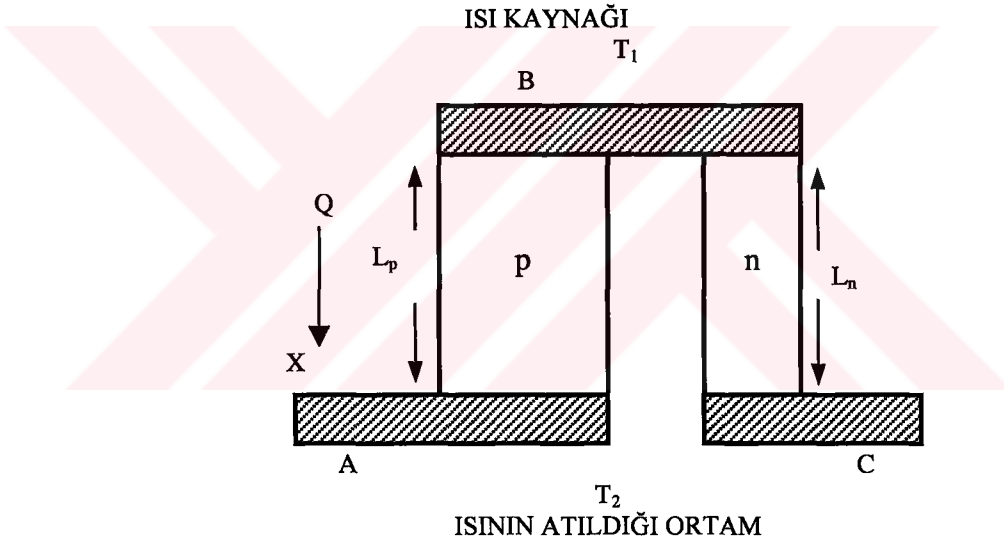
$$E_{AB} = \int_{T_0}^{T_3} (\alpha_A - \alpha_B) dT \quad (2.26a)$$

Etkide, homojen elementlerden oluşan termokupullarda etki sonucunda oluşan emf lerinin miktarları, denklem 2.26 da gösterildiği gibi birbirini takip eden ısı değişimlerinde ölçülebilir yada tanımlanabilir. Bu termokupulların kalibrasyonunda yapılmasında, yüksek ısı değişimlerinde, emf yardımıyla ısı karakteristiklerin tespitinde kullanışlıdır. Termoelektrik termometrelerin çok fazla tel içeren devrelerinde ısının dolaşımı denklem 2.26 göstermektedir. (Reed, 1982)

2.4. Termoelektrik Sisteminin Dönüşüm Verimliliği ve Materyal Faktörü (Z):

2.4.1 İdeal Model

Bir termoelektrik cihazının çevrim verimliliğini göstermek için şekil 2.5 deki model den faydalanacaktır. Termoelektrik çifti, pozitif (p) ve negatif (n) termoelementleri birbirine bağlanmıştır. A, B, ve C sıfır elektrik dirençli metal iletkenlerdir. Termoelementlerin uzunluğu L_p ve L_n 'dir. Kesit alanı ise; A_p ve A_n 'dir. Genelde L_p/A_p ve L_n/A_n oranları birbirinden farklıdır. Kolaylık olması için birbirine eşit kesit alanlarla gösterilirler. Isı , ısı kaynağı olan B den termoelektrik çiftinin iletkenliği sayesinde ısının bırakıldığı alan olan A-C ye geçtiği kabul edilir. Birden çok sayıda termoelektrik çiftlerin, elektriksel açıdan seri ve ısıl açıdan paralel bağlanması elektriksel gücün idaresini etkiler fakat verimliliği etkilemez.



Şekil 2.5. Bir çift termokupul modeli (Lendecker, 1976)

Termoelektrik çifti iki şekilde kullanılabilir. Birincisi; güç kaynağının, A'ya negatif ve C'ye pozitif uçları bağlanır. Elektrik verildiğinde ısı pompası gibi ısı kaynağından ısı emerek o ortamı soğutmaya çalışır. bir başka deyişle, ısı kaynağından T_1 sıcaklığındaki ısı alanından, Peltier etkisiyle T_2 mutlak sıcaklığında ısının atıldığı ortama pompalanır. İkinci kullanımı; A ve C arasına elektriksel dirençli bir yük konulsun, B de ısı üretimi ve A-C de ısı atılsın yani T_1 ve T_2 sıcaklıkları arasında bir fark oluşsun. Bu devrede seebeck etkisinden dolayı bir elektrik akımı meydana gelir. Diğer bir deyişle termoelektrik çift jeneratör vazifesi görür. Çiftin performans

katsayısı, soğutucu yada jeneratör olarak kullanıldığında önemli bir parametreyle ilişkilidir. Bu parametre termoelementin meteryal faktör (figure-of-merit = “Z”) değeridir. Bir termokupulda bulunan iki termoelementin özelliklerini birleştirir. (Lendecker, 1976)

2.4.2. Soğutma Gücü:

Peltier ve Seebeck etkileri, termoelementlerin uçlarında olmasına rağmen, bu termoelementlerin alanından çok hacimleriyle ilgilidir. Bir elektrik akımı iletkenin geçerken ısı yayar. Akımın farklı ısıdaki bir iletkene geçişinde, ortamdan ısı absorplanması yada serbest bırakılması Peltier etkisiyle açıklanır. Böylece iki termoelementten geçen ısı (şekil 2.5 e göre);

$$\left. \begin{aligned} q_p &= \alpha_p IT - \lambda_p A_p dT / dx \\ q_n &= \alpha_n IT - \lambda_n A_n dT / dx \end{aligned} \right\} \quad (2.27)$$

Her iki termoelementin, α mutlak seebeck katsayısıdır, I akım, λ ısı iletkenlik ve dT/dx sıcaklık gradyanıdır. Kelvin'in ikinci kanununda Peltier katsayısı, αT olarak verilmiştir. T mutlak sıcaklıktır. α_p pozitif, α_n negatif değerdedir. Peltier ısı akışı αIT , ısı iletimi $\lambda Adt/dx$ tarafından karşı konur.

Her termoelementten birim zamandaki ısı üretimi, Joule etkisinden dolayı I^2/A 'dır., burada P elektrik direnci Q elektrik iletkenliğinin eşidir. Bu ısı jeneratörün, ısı gradyanı değişkendir. Buna göre;

$$\left. \begin{aligned} -\lambda_p A_p \frac{d^2 T}{dx^2} &= \frac{I^2 \rho_p}{A_p} \\ -\lambda_n A_n \frac{d^2 T}{dx^2} &= \frac{I^2 \rho_n}{A_n} \end{aligned} \right\} \quad (2.28)$$

Varsayımlar, seebeck etkisi bağımsız, thomson etkisini sıfır kabul eder.

Isı kaynağı $T=T_1$ ile $x=0$ ve ısının atıldığı ortam $T=T_2$ ile $x = L_p$ yada L_n sınırlandırılarak ayarlanır, bunu denklem 2 ye uygulanırsa;

$$\left. \begin{aligned} \lambda_p A_p \frac{dT}{dx} &= -\frac{I^2 \rho_p (x - L_p / 2)}{A_p} + \frac{\lambda_p A_p (T_2 - T_1)}{L_p} \\ \lambda_n A_n \frac{dT}{dx} &= -\frac{I^2 \rho_n (x - L_n / 2)}{A_n} + \frac{\lambda_n A_n (T_2 - T_1)}{L_n} \end{aligned} \right\} \quad (2.29)$$

$x = 0$ için 1 ve 3 denklemlerinden ısı akışının oranını bulabilmek için yeniden düzenlenirse;

$$\left. \begin{aligned} q_p(x=0) &= \alpha_p I T_1 - \frac{\lambda_p A_p (T_2 - T_1)}{L_p} - \frac{I^2 \rho_p L_p}{2 A_p} \\ q_n(x=0) &= -\alpha_n I T_1 - \frac{\lambda_n A_n (T_2 - T_1)}{L_n} - \frac{I^2 \rho_n L_n}{2 A_n} \end{aligned} \right\} \quad (2.30)$$

Eğer $x = 0$ için q_p ve q_n toplandığında, ısı kaynağındaki soğutma gücü " q_c " elde edilir.

$$q_c = (\alpha_p - \alpha_n) I T_1 - K(T_2 - T_1) - I^2 R / 2 \quad (2.31)$$

İki termoelementin, ısıl iletkenliği paralel bağlantısında;

$$K = \frac{\lambda_p A_p}{L_p} + \frac{\lambda_n A_n}{L_n} \quad (2.32)$$

ve elektriksel direnci termoelementlerin seri bağlantısında

$$R = \frac{L_p \rho_p}{A_p} + \frac{L_n \rho_n}{A_n} \quad (2.33)$$

Denklemler 2.31 den elde edilen sonuç ispatlanamamıştır fakat kabul edilir. Bu, Joule ısının yarısı ($I^2 R / 2$) ısı kaynağına diğer yarısı ise ısının serbest bırakıldığı ortama geri döner. (Lendecker, 1976)

2.4.3. Materyal faktörü (figure-of-merit =Z):

Denklem 2.31 de görüldüğü üzere, Peltier'in soğutma terimi “ $(\alpha_p - \alpha_n) I T_1$ ”, elektrik akımı “ I ” ile doğru orantılıdır. Bunun yanında Joule'nin ısı terimi “ $I^2 R / 2$ ” akımın karesi ile orantılıdır. Buna göre soğutma gücünün maksimuma ulaştığında, akım I_q olmalıdır. Bu akım $dq_c / dI = 0$ olursa bulunabilir. Buna göre;

$$I_q = \frac{(\alpha_p - \alpha_n) T_1}{R} \quad (2.34)$$

ve maksimum soğutma gücü;

$$(q_c)_{\max} = \frac{(\alpha_p - \alpha_n)^2 T_1^2}{2R} - K(T_2 - T_1) \quad (2.35)$$

Bu denkleme göre eğer termoelement çiftinin uçları arasında ısı farkı çok yüksekse, pozitif soğutma gücü elde edilemez. Gerçekte, aradaki maksimum sıcaklık farkı $(T_2 - T_1)_{\max}$, $(q_c)_{\max} = 0$ ile bulunabilir. Buna göre

$$(T_2 - T_1)_{\max} = \frac{(\alpha_p - \alpha_n)^2 T_1^2}{2KR} \quad (2.36)$$

Termoelektrik çiftinin materyal faktörü (Z) aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$Z = \frac{(\alpha_p - \alpha_n)^2}{KR} \quad (2.37)$$

Böylece 2.36 denklem yeniden yazılırsa;

$$(T_2 - T_1)_{\max} = \frac{1}{2} Z T_1^2 \quad (2.38)$$

Normal durum ele alındığında, gerekli olan sıcaklık farkı (T_1-T_2) elde edilebilen maksimum sıcaklıktan az olmalıdır.(Ioffe, 1957)

Denklem 2.38 deki Z değeri sistemde kullanılan termokupul çiftinindir. Termoelementin R , K değerleri azaltıldığında, Z en büyük değerine ulaşır. P ve n termoelementlerinin kesit alan arttırıldığında R değeri artar ve K değeri azalır, böylece termoelementlerin özellikleri değiştirilerek, soğutma gücüne ve elektrik akımına göre termoelektrik çifti imal edilebilir. Önemli olan iki termoelementler arasında L/A ilişkisini iyi kurmaktır. R , K değerlerinin açıkça sisteme etkisi denklem 4.13 de görünmektedir.

$$\frac{L_n A_p}{L_p A_n} = \left(\frac{\rho_p \lambda_n}{\rho_n \lambda_p} \right)^{1/2} \quad (2.39)$$

Denklem 2.39 daha açık yazılırsa, bir çift termoelementin Z değerine etki eden faktörler belli olmaktadır.

$$Z = \frac{(\alpha_p - \alpha_n)^2}{[(\lambda_p \cdot \rho_p)^{1/2} + (\lambda_n \cdot \rho_n)^{1/2}]^2} \quad (2.40)$$

Denklem 2.40 göre Z değeri, termoelektrik çiftindeki termoelementlerin özelliklerini temsil ettiği göstermektedir. Seebeck ve peltier denklemlerinde, iki termoelementin özellikleri hem büyük, hem zıt işaretli olmalıdır. Bununla beraber ısı iletkenlik ve elektriksel direnç düşük olmalıdır.

Denklem 2.40, her iki termoelementin özelliklerini içerdiğinden bulunan sonuçlar gerçeği tam yansıtmamaktadır. Bu yüzden tek termoelement hesaplar gibi Z değeri hesaplanmıştır. Buna göre Z ;

$$Z_{p,n} = \frac{\alpha_{p,n}^2}{\rho_{p,n} \cdot \lambda_{p,n}} \quad (2.41)$$

Denklem 2.41 de p ve n termoelementlerin değerleri birbirine eş değer alınabilir. Bir başka deyişle $\alpha_p = -\alpha_n$, $\lambda_p \cdot P_p = \lambda_n \cdot P_n$ bununla beraber $Z = Z_p = Z_n$. Bu durum sadece termoelektrik soğutmada kullanılan ve normal sıcaklıktaki termoelementler için geçerlidir. (Rowe, 1995)

2.4.4. Performans katsayısı:

Soğutucu kupullardan geçen akımla çevrimin optimizeesi için performans katsayısı tespit edilmelidir. Sistemin performans katsayısı, elde edilen enerjinin verilen enerjiye oranıdır ve $\phi = q_c/W$ olarak ifade edilir. W, gerekli elektrik enerjisinin değeridir. Termokupul çiftinde termoelementler ayrı ayrı incelediğinde;

$$\left. \begin{aligned} W_p &= \alpha_p I(T_2 - T_1) + \frac{I^2 \rho_p L_p}{A_p} \\ W_n &= -\alpha_n I(T_2 - T_1) + \frac{I^2 \rho_n L_n}{A_n} \end{aligned} \right\} \quad (2.42)$$

Elektrik gücü, hem Joule etkisinden, hem de Seebeck etkisinden etkilenmektedir . Toplam enerji;

$$W = (\alpha_p - \alpha_n) I(T_2 - T_1) + I^2 \cdot R \quad (2.43)$$

Performans katsayısı (COP) denklemleri;

$$\begin{aligned} COP_{teorik} &= \frac{q_c}{W} = \frac{(\alpha_p - \alpha_n) I T_1 - \frac{1}{2} I^2 \cdot R - K(T_2 - T_1)}{(\alpha_p - \alpha_n) I(T_2 - T_1) + I^2 \cdot R} \\ CoP_{gercek} &= \frac{Z \cdot \frac{T_1^2}{2} - (T_2 - T_1)}{Z \cdot T_1 \cdot T_2} \end{aligned} \quad (2.44)$$

En uygun akım, maksimum performans katsayısı denklemini, $d\phi/dI$ 'yı sıfıra eşitleyerek bulunur. Bu akım;

$$I_{\max} = \frac{(\alpha_p - \alpha_n) \cdot (T_2 - T_1)}{R \left[(1 + Z T_M)^{1/2} - 1 \right]} \quad (2.45)$$

burada $T_m = (T_1 + T_2) / 2$ ye eşittir ve ortalama sıcaklığı gösterir. Maksimum performans katsayısı denklemini;

$$\text{COP}_{\max} = \frac{T_1 \left[(1 + Z T_M)^{1/2} - T_2 / T_1 \right]}{(T_2 - T_1) \left[(1 + Z T_M)^{1/2} + 1 \right]} \quad (2.46)$$

2.4.5. Çok katlı soğutucular (Kaskat sistem):

Tek safhalı soğutucu kullanarak ısının belirli bir noktaya düşürülebilir. Çok düşük sıcaklıklar elde etmek için, termoelektrik soğutucular arka arkaya bağlanabilir. Bu kaskat sistemlerle gerekli olan soğutma elde edilir.

N ci safha olarak nitelendirilirse, N' inci safha en düşük sıcaklıkta çalışan kısımdır. Böyle sistemin performans katsayısı $\text{COP} = [(1 + 1/(\text{COP})^{-1})^N - 1]^{-1}$ dir.

Çok aşamalı soğutucular, altı yada daha fazla aşama kullanılanları özel uygulamalar için tasarlanmıştır. Çok aşamalı soğutucuların genel özelliği piramitsel şekildedir.

2.4.6. Termoelektrik Güç Üretimi:

Şekil 2.1 de görünen termoelektrik çiftinin A-C uçları arasına R_L direncinin bağlanmış olduğu kabul edilir. Uçlar arası sıcaklık farkı $(T_1 - T_2)$ korunduğu müddetçe, termoelektrik jeneratör tarafından üretilen emf $(\alpha_p - \alpha_n)$ dir. Üretilen güç,

$$W = \left[\frac{(\alpha_p - \alpha_n)(T_1 - T_2)}{(R_L + R)} \right]^2 R_L \quad (2.47)$$

Kaynak tarafından üretilen ısı hesaplanmalıdır. Isının çoğu termoelementlerin ucundan ısının serbest bırakıldığı alana yayılır, fakat bir kısmı da ısı akışından

kaynaklanan, peltier etkisini dengelemek için kullanılır. Aynı zamanda termoelektrik soğutma da gördüğümüz, termoelementlerdeki Joule ısısının yarısı kaynağa doğru akış gösterir. Tüm bu etkiler hesaba katıldığında;

$$q = K(T_1 - T_2) + (\alpha_p - \alpha_n) I T_1 - I^2 R / 2 \quad (2.48)$$

akım ise aşağıdaki denklemle hesaplanır,

$$I = (\alpha_p - \alpha_n) \cdot (T_1 - T_2) / (R_L + R) \quad (2.49)$$

jeneratörün verimi η , sistemden elde edilen enerjinin sisteme verilen ısı enerjisine oranıdır ve $\eta = W / q$ şeklinde ifade edilir. Bu yükün jeneratöre bağlantı elemanın direncine bağlıdır. Maksimum güç transferi için R_L ve R birbirine eşit olmasıyla elde edilir. Ama bu durum gerçekleşirse verim, termodinamik değeri " $(T_1 - T_2) / T_1$ " in % 50'sini geçmez. Bu yüzden yük direnci, maksimum etkiyi arttırmak için seçilir. Eğer R_L/R oranı m olarak nitelendirilirse $d\eta/dm = 0$ olmalıdır. (Rowe, 1995)

Loffe tarafından gösterilenlere göre optimum "m" değeri M olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi yazılır.

$$M = (1 + Z T_M)^{1/2} \quad (2.50)$$

bu değeri denklem 2.49 da yerine koyarsak, verimlilik;

$$\eta = \frac{(T_1 - T_2)}{T_1} \cdot \frac{(M - 1)}{(M + T_2 / T_1)} \quad (2.51)$$

2.4.7. Isıya Dayalı Parametreler:

Teorikte, değişik sıcaklıklarda α , P ve λ 'nin bağımsız olduğu kabul edilir. Pratikte, bu böyle değildir. ϕ ve η bulmak için ortalama parametreler kullanılarak yaklaşık bir hesap yapılır. (Goldsmid, 1986)

Seebeck denklemi, termoelektrik soğutma uygulaması zordur. Thomson katsayısına ($\gamma = T_d \alpha / dT$) göre soğuma yada ısınma olacaktır. Termoelementlerin uçları için α nın ortalama değeri göz önüne alınırsa Thomson etkisi pratikte sağlamış olur. Böylece aşığıdaki metaryal faktörü olan Z değerini hesaplarken kullanılması daha uygundur.

$$Z = \frac{\langle \alpha_p - \alpha_n \rangle^2}{\left(\langle \rho_p \lambda_p \rangle^{1/2} + \langle \rho_n \lambda_n \rangle^{1/2} \right)^2} \quad (2.52)$$

Burada köşeli parantezler ($\langle \rangle$), ortalama sıcaklık değerlerini temsil etmektedir. Sıcaklık farkının mutlak sıcaklık farkından az olduğu termoelektrik soğutucular ve termoelektrik jeneratörleri açıklayıcı bir bağıntıdır.

3. TERMOELEKTRİK SOĞUTMA UYGULAMALARI

3.1. Laboratuvar Araç Gereçlerinde

Peltier modülleri, birçok laboratuvar araç gereçlerinde soğutucu olarak kullanılmaktadır. Aşağıda listelenen yedi kullanım alanı, Peltier modülünün geniş uygulama alanı ve çok yönlülüğünü gösterir.

Laboratuardaki araç-gereçler genel olarak üç parçadan oluşurlar. Bunlar; Peltier soğutma ünitesi, DC güç kaynağı/kontrol sistemi ve amacı gerçekleştirecek spesifik aksesuar sistemi.

Bu bölümde yüzlerce wattan düşük soğutma kapasitesine sahip olan araç gereçler aşağıdaki kategorilerde sınıflandırılmışlardır.

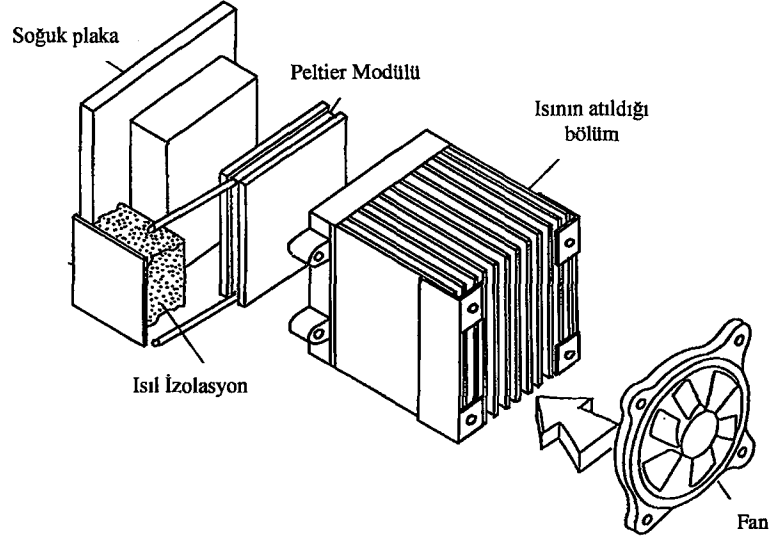
1. Ölçüm
2. Biyo-Teknoloji
3. Tıp
4. Elektronik
5. Endüstri
6. Genel Amaç

Peltier soğutma ünitesi üç bölümden oluşur:

1. Peltier modülü,
2. Peltier soğutma ünitesine gerekli olan modülün sıcak tarafındaki ısı harcamacı,
3. Modülün soğuk tarafındaki soğutucu parça.

Soğutulacak gövde modülün soğuk seramik yüzeyle direkt temasla soğutulabilir ancak çoğu durumda soğutma için şunlar kullanılır:

1. ısı ileten bir yüzey, bir blok ve su;
2. sıcaklık değiştiricisi(exchager) Örnek: Hava nakleden yüzgece benzeyen bir parça;
3. Sıvı kaplama. Bunların her biri belli işleri yapar. Şekil 3.1.'de Peltier soğutma sisteminin tipik şeklini gösterir. Standardize olmuş bu sistemler genel amaç uygulamalarında ekonomik ve kullanışlıdır.

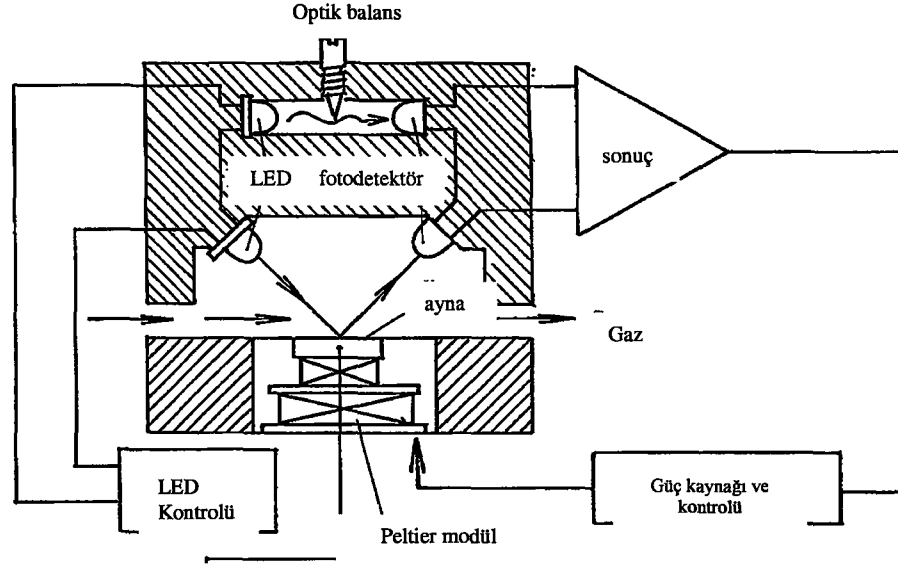


Şekil 3.1. Peltier soğutma ünitesinin konfigürasyonu (Rowe, 1995)

3.1.3. Kullanıma Göre Sınıflanmış Laboratuvar Araç ve Gereçler:

Ölçüm:

- **Mikrofilm kalorimetre:** Boyler deki oluşan çatlakları tespit eder. Bunu Peltier modülün izotermal kontrollüyle $\pm 1\%$ doğrulukta yapmaktadır. 100 μW ile 200 mW güç aralığında, dalga boyu 0,4 μm ile 1,8 μm arasında olan ışınların gücünü ölçmek için kullanılabilen Peltier kontrollü siyah gövdeli (NiP-kaplama) bir cihazdır.
- **Çiğ noktası termometresi:** Çevreleyen aynaların sıcaklığını düşürebilecek birinci kademedan beşinci kademeye kadar olan aynalara Peltier modül takılıdır. Led aynaya ışın gönderir. Işın aynadan fotodetektöre doğru yansır. Başka bir LED/fotodedektör, ölçümü sağlar. Aynanın üzerinden geçen gazın soğumasıyla aynanın üstünde nem oluşmaya başlar ve nem damlaları ışığı dağıtır. Aynanın üzerinden yansıyan ışık yardımıyla detektör bir damlayı fark eder. İki fotodedektör, elektriksel bir köprü devresiyle bağlıdır. Ayna yüzeyindeki sıcaklık otomatik ve sürekli olarak kontrol edilir. Şekil 3.2 ise şematik görünümü verir.

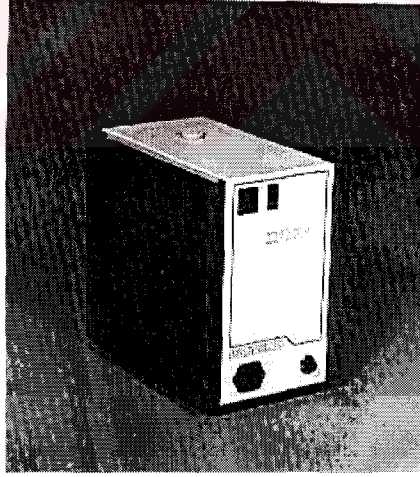


Şekil 3.2. Peltier soğutmalı bir çığ noktası termometresinin prensip şeması

- **Donma noktası termometresi:** Bu cihaz, hidrokarbon karışımlarının donma ve erime noktalarının tespiti için kullanılır. Test edilecek numune, donma noktasını belirlemek için ($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$)'ye kadar soğutulur ve erime noktasını belirlemek için numune tekrar oda sıcaklığına döndürülür. Soğutma ve ısıtma, iki adet üç basamaklı Peltier modülüyle sağlanır. En üsteki basamak 71 kupula (semikonduktörün boyu 3 mm), orta basamak 71 kupula (semikonduktörün boyu 6 mm), en alttaki basamakta ise 127 kupula (semikonduktörün boyu 6 mm) sahip peltier modül kullanılır. Peltier modüllerin sıcak tarafını $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ altında tutmak için su ve buz karışımı kullanılır.(Mathiprakasam, ve Fiscus, 1986)
- **Siyahgövdelerde radyasyon standardı için:** $50\times 50\text{ mm}$ ve yansımaları $> 0,98$ olan siyah yüzeyli bir plaka, Peltier modül tarafından sıcaklığı -20° ile $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında kontrol edilir. Siyah gövdeli yüzeyin radyasyonunu istenen sıcaklıkta sabitlemesini sağlar.
- **Fototüp (photomultiplier) gövdesi:** Fototüpün gövdesi, sesi az olan ve düşük karanlık ortamda çalışan ve stabiliteyi bozmayan peltier modülle

soğutma yapılır. Bu fototüplü ölçüm cihazlarında hassasiyet bakımından gelişme sağlamıştır.

- **Yakıtların nemini alan ünite:** Yakıtların enfraruj analize cihazında analiz ederken yakıt içindeki su(nem) yanlış sonuçlar verebilir ve detektöre zarar verebilir. Peltier modül tarafından 1,5 ile 3 $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ arasında sıcaklıkta yakıt soğutulur. Yakıtın içinde bulunan nem soğukluğun etkisiyle su haline gelir dışarı atılır.
- **Donma noktası referans odası :** Bu odanın bir tarafı kapatılmış, diğer tarafı da esnek metal bir körük takılmış bakır bir silindirden oluşan bir cihazdır. Saf suyun soğutma noktasının tespiti için cihazın odası tamamen saf su ile hava doldurulur ve Peltier modül tarafından üç noktadan soğutulmuştur. Sızdırmadan, su/buz veya su/hava/buz karışımını üç noktadan kontrol ederek 0,01 $^{\circ}\text{C}$ sapmayla otomatik kontrol edilerek suyun donma noktasını değerini gösterir. Bu cihaz şekil 3.3 de görünmektedir



Şekil 3.3. Donma noktası tespit cihazı (Isothermal Tecnology, U.K.)

- **Yağ (Petrol) bulanıklık test cihazı:** Test edilen yağ (petrol), bulanıklık noktasını belirlemek için -34 $^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutulur. Soğutma iki adet iki basamaklı Peltier modülle sağlanır. Bu peltier modulun üsteki basamak 127

kupula (eleman uzunluğu 2,54 mm), alttaki basamakta 127 kupula (eleman uzunluğu 1,14 mm) sahiptir.

- **Kırılım ölçer (refractometer) :** Peltier modülleri kullanan refractometre için bir pompa ile dolaşan su çevredeki devreden sıcaklığı kontrol eder. Peltier modul tarafından soğutulan su, Refractometerin sıcaklığını kontrol etmek için harici kontrollü bir pompayla refractometerin etrafında sirküle ettirilir.

Biyoteknoloji:

- **Biyoaktivite monitörlü-kalorimetre:** Yaşayan organizmalardaki biyolojik olaylarla ilgili olan 25 ile 300 MV/ml'ye kadar çok küçük sıcaklık etkisinin direkt ve sürekli izlenmesi Peltier modüllerin izotermal kontrolü ile gerçekleşmektedir.
- **DNA düzen reaktörü :** DNA reaktörü, Peltier modüllerinde şartlandırılmış pompayla sirkülasyon eden su 37 °C'lik sabit bir ısıda çalışması sağlanmış olur
- **Spektrometre hücre termoprogramcısı :** nükleik asid ve protein çalışmalarındaki DNA termal denatrasyon ve renatrasyon uygulamaları için spektrometrenin hücre tutucularının sıcaklığı Peltier soğutma ünitesiyle kontrol edilir. Bu olay 0 ile 99,9 ± 0,1 °C sıcaklık aralığında spektrometre hücre içindeki numune için programlanmış ısıtma ve soğutma sağlar. olabilir. Hücreler arasındaki sıcaklık uyuşması 40 °C'da ± 0,2 °C'den daha iyi, 99 °C ± 0,5 °C'den daha iyidir ve soğutma oranı dakika başına maksimum 10 °C'dir.
- **Programlanabilir termal kontrolör :** Peltier soğutma üniteleri, 0-100 °C arasında saniyede 1 °C'ye kadar soğutma oranları ile ve ±5°C kesinlik ile test tüpünü tutan bloğa ve o bloktan ani ısı transferi sağlarlar. Bu, DNA, RNA ve diğer numuneler için kesin ve uygun programlanabilir termal kontrolördür.

Sıcaklık kontrol sistemiyle, 100 kadar kullanıcısı tanımlanmış programları depolayabilen 2 kilobaytlık kalıcı hafızaya sahiptir.

- **Tıp kiti soğutucu (kan için) :** Kan, aşı ve bir çok ilacın bozulmaması için belli bir sıcaklık koşullarında tutulması gerekmektedir. Bu koşullar Peltier soğutucu modüllerle sağlanmaktadır
- **Fotosentez Analizer :** Fotosentez analizinde oluşan sıcaklık, küçük bir Peltier modülüyle kontrol altında tutulur.
- **Osmometre :** Bir solüsyon donma noktası tespit eder. Bu cihazda iki basamaklı Peltier modül ile 100 ml'lik sıvı -11°C sıcaklığına indirmektedir. Peltier modülün üst basamağı 32 kupul, alt basamağı da 128 kupul sahiptir. Modül büyüklüğü $2,8 \times 2,8 \times 2$ mm.dir
- **Biyoaktif analiz için termoprogramcı:** Biyoaktif analiz kalorimetre için çevresinin sıcaklığı Peltier modülleri kullanarak pompayla devreden su ile $25 \pm 0,01$ $^{\circ}\text{C}$ de kontrol altında tutulur.

Medikal / Tıp:

- **Sıcak Soğuk stimülatörü:** Kalem-tipli bir sondanın ucundaki peltier soğutma ısıtma ünitesi, belirlenmiş bir çevrimde sıcaklık veya soğukluk sağlar. Bu durum verilen zaman periyodu için bazen sıcak veya soğuk arasında değişerek bazende ya sıcak yada soğuk elde etme şeklinde meydana gelir. Aynı zamanda bir hastanın soğuğa yada sıcağa olan duyarlılığını teşhis etmek için de kullanılır.
- **Cryo-Cerrahi destroyer:** Cryo cerrahi destroyer, bir organizmadan atılan patolojik dokunun dondurulmasına dayanan bir çeşit cryo-terapidir. Cihaz bir kontrol düzeneği ve yönetici cryo-sondadan oluşmaktadır. Cryo-sondanın

sıcaklığı -50 yada -70 $^{\circ}\text{C}$ dir. Budurum için iki basamaklı su soğutmalı Peltier modülü kullanılır. (Wartanowicz, ve Czarnecki, 1991)

- **Mikroskop safhası soğutucusu** : Peltier soğutmalı mikroskop safhası, bir mikroskop üzerine monte edilmiş numune için -20 ile 60 $^{\circ}\text{C} \pm 0,1$ $^{\circ}\text{C}$ arasında ısı kontrolü yapar.
- **Mikrotome safhası soğutucusu** : Bir örnek doku Peltier soğutma safhası kullanılarak dondurularak, bir mikroskop için kolaylıkla kesilir ve ince numulere kolaylıkla ayrılabilir. Bu safha her türlü mikrotome adapte edilebilir. Dokunun sıcaklığı, Peltier modüllünün akımı kontrol edilerek istendiği zaman azaltılabilir veya arttırılabilir. Akım ayarı kullanarak, donmuş plakaların hızlı bir şekilde ısıtmak için kullanılır. Böylece örnek doku hızlı bir şekilde yerinden alınıp taşınabilir.
- **Portatif mini soğutma kutusu (İnsilün)**: İnsilün, portatif Peltier soğutma kutusu ile 5 ve 15 $^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıkta saklanır. Kutu kendi güç kaynağına sahiptir ve iç haznesi 30 cm^3 'dür.
- **Diş dolgusu için soğuk plaka**: Diş dolgu malzemesinin sıcaklığı Peltier soğutulmuş plakanın üzerinde kontrol edilir. Plaka, diş dolgu malzemesi için katılaşma sürecini geciktirir.
- **Soğuk sıcak tedavi battaniyesi**: Peltier soğutma ünitesinin su gömleğinden su pompalanır ve battaniye içinden sirküle edilir. Cihaz, sıcak ve soğuk terapi için kapalı bir spiral sistemdir.
- **Sis Çadırı** : Çadırın içindeki hava, Peltier havalandırma ile soğutularak nefes alma cihazın kullanılması için ideal ortamı oluşturur.

Endüstriyel:

- **Yarı iletken cihaz üretimi için Dopant soğutucu :** Peltier soğutma banyosu, $\pm 3^{\circ}\text{C}$ seçilmiş sıcaklıkta semikondüktör ve fiberoptik endüstrisine kimyasal dopant sağlayan fiskiye içindeki kimyasalın sıcaklığını regule eder. Sonuç olarak semikondüktör cihazın veya optik fiberlerin difüzyon bariyerinin kalınlığını, doğru kalite kontrolünü sağlayarak muhafaza eder.
- **Semikondüktör cihaz üretimi için silisyum katman soğutma plakası:** Cihaz üretim işlemindeki yarı iletken katmanlar için düz veya temiz bir plaka Peltier soğutma ünitesiyle soğutulur/kontrol edilir. 150°C fırın sıcaklığındaki katman, yaklaşık 35 saniye içinde $20 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutulur.
- **Semikondüktör cihaz üretimi için kimyasal sirkülasyon sistemi :** Bir Sirkilatör ve bir filtreden oluşan Peltier soğutma sistemi, Silisyum katmanların yıkama ve asitle kesme prosesi için gerekli olan kesin sabit sıcaklığı oluşturur. Kimyasal solusyonla temas halindeki malzemeler çalışma kimyasal solusyonuna uyması için dikkatle seçilir.

Genel Kullanım

- **Vakum pompası akış düzenleyicisi:** Peltier soğutmalı akış düzenleyicisi, difüzyon pompalı yüksek vakum sistemlerinde kullanım için bir araya getirilmiştir ve diğer tekniklerin gereksinim duyduğu kompresör ve soğutma bobinleri ihtiyacını ortadan kaldırır. "V" şeklindeki kanatçıkların sıcaklığı -35°C ye kadar düşük olmalıdır.
- **Daldırma soğutucusu:** Peltier modüller ısı değiştirici metal bir kutunun içine konurlar. Bu tip daldırma ısı pompası ile izole edilmiş küçük laboratuvar banyolarının sıcaklıklarının düşürülmesi sağlanır.

- **Soğuk plaka** : Soğuk plakalar şekil 3.1’de gösterildiği gibi, Peltier soğutma ünitesinin en temel tipleridir. Büyüklük arttıkça soğutma kapasitesi ve enerji ihtiyacı da artar. Bunlar bir çok tipte sıvı devir aletlerinde, havalandırma sistemlerinde ve özel amaçlarda kullanılabilirler.
- **Sıvı sikülasyon cihazı**: Peltier soğutma sistemi, sıvıyı sikülasyonun sıcaklığının otomatik olarak kontrolü için veya soğutma veya ısıtma için kolaylıkla çalıştırılırlar. Sıvı uygun ısı dağıtıcısına sahip Peltier modül ile bağlantılı olan sıvı eşanjöründen geçecek şekilde pompalanır. Bu genel bir sıcaklık kontrollü sıvı sistemidir.
- **Havalandırma** : Havaya ısı transfer eden kanatçık Peltier modül ile temas halindedir. Kanatçıklar arasından geçen hava bir üfleyici ile sirküle eder. Isı havaya yada sıvıya nakledilebilir.
- **Taşınabilir soğutucusu (piknik kutusu)** : Taşınabilir Peltier soğutma kutusu 12 V’luk bir pil veya pil şarj cihazı ile çalışmak üzere dizayn edilmiştir. Bu bir karavanda, yatda veya kampta 12 V’luk otomobil çamaklığından alınan enerjiyle yada AC adaptörü ile her yerde kullanılabilir.

3.2. Büyük Ölçekli Termoelektrik Soğutma Uygulamaları:

Westinghouse: Merkez bir çubuğa bağlanıp bir araya getirilerek oluşturulmuş sütunlarla, havadan-havaya sistemi için uygulanmıştır. Askeri protiplerde kullanmak için birkaç yüz watlık soğutma güçleriyle küçük üniteler üretilmiştir fakat hiç birinin tanıtımı yapılmamıştır. 1972’de sudan-suya çalışan model 20 GS olan 7 kw lık ünitenin dizaynını içeren iki belge yayınlanmıştır. (Mole, vd. 1972)

Westinghouse’un, deniz kuvvetlerinin uygulamaları için sudan-havaya sistemleri oldukça çoktu. Dizayn, Mole patentine dayanıyordu. Amerika deniz kuvvetleri USS denialtı gemisinin havalandırma için Washington tarafından yapılan bir termoelektrik ünitesine sahipti. Bu suyun elektrik devresiyle direkt ilişkide olduğu ve planlanan

yapıda sudan-havaya özellikli bir üniteydi. Elektron aşınmasından kaçınmak için çalışma voltajı 5 V düzeyindeydi. Bu ünite 10 yıl kullanılmıştır. (Mole, 1965)

ASEA: Havalandırmaya dair bir ünite prototipi ve yolcu taşıyan demiryolu araçları için ısıtıcı ASEA tarafından İsveç demiryolları için iki kişi tarafından tasarlanmıştır. Birisi Ridal diğeri de Lundquist'dir. Dizayn Widakowich tarafından iki temele dayandırılmıştır. Birincisi termoelektrik malzeme kullanan düzlemsel yapıyı anlatır, ikincisi ise basınç kontağı kullanan ve termoelektrik malzemeyi bakır kaplanmasıyla ilgilidir. Üniteler sökülmeden önce birkaç yıl çalıştırılmıştır.

Hava Endüstrisi -Demiryolu Uygulaması: Hava endüstrisi, yolcu taşıyan demiryolu araçları için kompresörlü iklimlendirme sistemi üreticisiydi. 1973 de J.P. Buffet Fransız, yolcu taşıyan demiryolu araçlarının termoelektrikli iklimlendirme geliştirme programı sundu. Dizaynı Gaudel'in patentine dayanan sütun yapısıydı. Isı değiştiricileri Buffet'in patentine dayanır. Program 1977 de 20 kw'lık havalandırma ünitesiyle donatılan bir otobüste uygulanmıştır. Bu otobüsün, 10 yıldan fazla termoelektrik iklimlendirme sistemi problem olmadan çalışmıştır. (Stockholm, ve Pujol, 1982)

Hava Endüstrisi-Deniz Kuvvetleri Uygulaması: 1980'de Fransız deniz kuvvetlerinin, iklimlendirme sisteminde kullanılacak soğuk suyu üretecek bir su-su termoelektrik ünitesi geliştirmek için bir araştırma ve geliştirme programı başlattı. Elektrik bağlantılı ısı eşanjöründen su boruları izole edilmiş sütun yapılı olanlar seçilmiştir. Bu üniteler yazılı olarak yayınlanmıştır ve 5 yıldan fazla süredir dayanıklılık testlerine tabi tutulmuştur. (Benicourt, vd. 1985)

3.3. Orta Ölçekli Termoelektrik Soğutma Uygulamaları:

Amerikan Radyo Şirketi (RCA) : RCA termoelektrikte araştırmalar yapan ilk şirketlerden biridir. Bunlar bir çok küçük kapasiteli termoelektrik modüller imal etmişlerdir. Termoelektrik modüle dayanan bir 3 kw'lık iklimlendirme sistemi U.S. deniz kuvvetleri için yapmışlardır.

Carrier Şirketi : Bu şirket, deniz uygulamaları için 3,5 kw'lık su soğutmalı iklimlendirme sistemi yapmışlardır. Bu sistem her biri dört termoelektrik modül içeren altı alt sistemden oluşur. Her bir termoelektrik modül $13,7 \times 17,8$ cm'dir ve $1,13 \text{ cm}^2$ yer kaplayan ve 2,54 mm. yükseklikte 130 termoelektrik elamana sahiptir. Günümüzdeki ticari termoelektrik modüllerinden çok daha büyüktür.

1960'ların ortalarında bu şirket bir termoelektrik iklimlendirme ve ısıtma sistemi yapmıştır. Sistem, su soğutmalı iklimlendirme sistemi 30 kadar modül içeriyordu. 1973'te sistem çalışmakta ve bu sistemin tek problem güç depoları ve kontrol sistemlerinin olmayışydı. Tamir edilmek üzere çıkarılan sistemin fotoğrafını Şekil 3.4'de görmektedir. Her bir sistemin soğutma gücü 1,5 kw'dır ve ısıtma gücü 1-8 kw'dır. (Hudelson., vd. 1964)

Termoelektrik modüller Carrier tarafından yapılmıştır. Bunlar 12×12 ve 2,5 mm'lik kalınlıkta 64 elamanlıdır. Soğutma modunda maksimum elektrik akımı 80 A dir. Carrier bu çalışmalarını tamamladıktan sonra termoelektrikle ilgili çalışmalarına son verdi.

Termoelektrik bölümü



Hava çıkışı

Fan

Su Devresi

Hava girişi

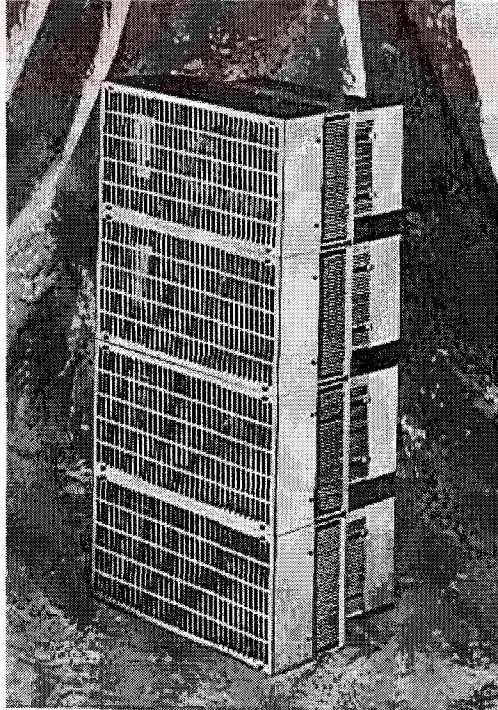
Şekil 3.4. Carrier şirketinin Peltier soğutma ünitesi (Hudelson., vd. 1964)

U.S. Deniz Kuvvetleri : U.S. Deniz kuvvetleri 1960'ların başlarında termoelektrik gelişiminde önemli güce sahipti. Soğutucunun termoelektrik modülleri ısıyı 7°C 'deki suya aktarır ve -1°C 'lik soğuk hava üretir. Soğutma depolarının soğutma gücü $0,7\text{ kw}$ 'dır ve Dondurucu depolarıda -18°C 'lik sıcaklıkta çalışan $2,5\text{ kw}$ 'dır. Sistem her biri 36 modül içeren alt ünitelerden meydana gelir. Termoelektrik modüller $8,4 \times 8,4\text{ cm}$ 'dir ve 15 mm . yüksekliktedir. Her modül $7,1\text{ mm}$ 'lik bir diyaetre ve $9,9\text{ mm}$ 'lik yükseklikte 48 termoelektrik elaman içerir.

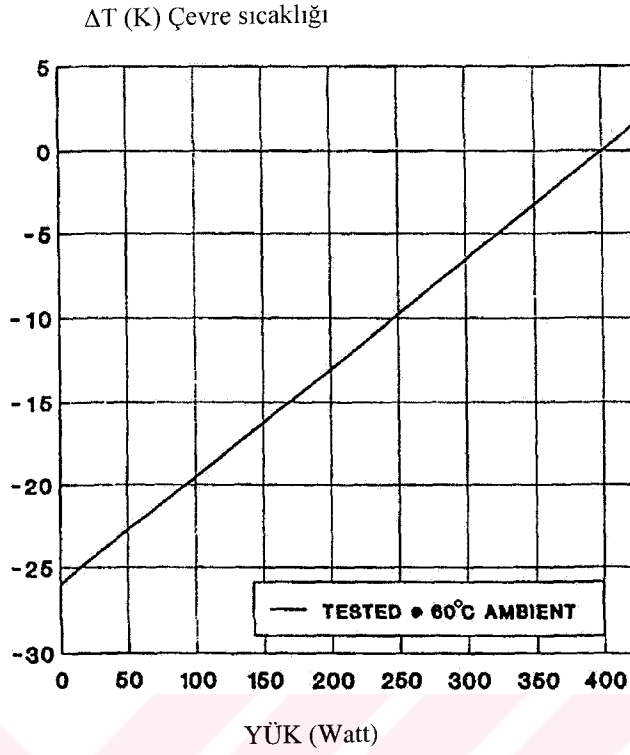
3.4. Günümüzdeki Uygulamalar:

TECA : Günümüzde Şikago kuruluşu olan TECA, çok modüllü soğutma sistemleri üreten tek şirkettir. Bu şirketin modeli: C4000 olan iklimlendirme sistem ürünü vardır. Bu sistem havadan-havaya bir modeldir. Soğutma ve ısıtma taraflardaki giren havanın sıcaklığı 60°C 'ye eşit olunca 400 w'lık soğutma gücüne sahiptir. Birbirine bağlı dört alt üniteden meydana gelir. Bütün hava devreleri birbirine paraleldir. Alt ünitesi yaklaşık $15 \times 30 \times 24$ cm'dir ve soğutma mevcur ticari termoelektrik modellerin kullanılmasıyla sağlanır. Bir Americool R 4000 serisinin ünitesinin fotoğrafı şekil 3.5'da gösterilmiştir ve Americool R 4000 serisinin performansı Şekil 3.6'de verilmiştir.

Midwest araştırma Enstitüsü : Kansas City Midwest araştırma enstitüsü, helikopter pilotları için mikroklima termoelektrik İklimlendirme sistemi geliştirmiştir. sistem 1000 W'lık soğutma gücüne sahiptir. Her biri 254 termoelektrik elaman içeren 96 seramik ticari modülden oluşur. Yer araçları için bir sistem ve aynızamanda sıvı bir mikro-iklim şartlandırma sistemi geliştirmişlerdir.



Şekil 3.5. TECA Americancool R 4000 seri ünitesi



Şekil 3.6. TECA Americancool R 4000 seri ünitesinin performansı

Son zamanlarda büyük güce sahip bir çok uygulama incelenmiş, geliştirilmiş ve günümüzde ticari amaç için üretilmiştir. Bunlar;

- Park etmiş uçak; bir terminal girişinde park halinde bir uçağın iklimlendirilmesi için onlarca kilowatt soğutma yüküne ihtiyaç vardır. Çalışan sistemler havadan-havayadır.
- Trenler; Şuanda yolcu taşıyan demiryolu araçlarının iklimlendirilmesi yapılmış hala sürücü kabini için iklimlendirme uygulamaları devam etmektedir. Soğutma gücü birkaç kilovattır bundan dolayı soğutma gücü ve elektrik güç tüketim daha azdır. Bu sebepten dolayı yakın zamanda demiryolu taşımacılığının iklimlendirilmesinde bu uygulamalar öne çıkacaktır.

- Otomobiller; Termoelektrik soğutma otomobillerde özellikle elektrikli otomobillerde oldukça ilginç bir konuma sahiptir. Arabaların içindeki ısıyı düşürmekten ziyade konfor şartlarının sağlanması insanlar için daha önemlidir.
- Deniz kuvvetleri; Deniz uygulamalarında direkt ve in direkt olarak geri çevrilebildiği için deniz suyu daha etkilidir. Suyu ısı transfer etmek, havaya transfer etmekten daha verimli şekildedir. Büyük ölçekli sudan-suya soğutma uygulamaları mevcuttur. Geleneksel kompresörlü sistemlerinin yerini aldığı için avantajlı sistemdir. Başka bir uygulamada da direkt soğuk hava üreten merkezi olmayan termoelektrik iklimlendirme sistemidir. Başka bir gelişme alanı da deniz konteynırların soğutulması uygulamasıdır. Büyük iki kademeli modüllerin ticareti için soğuk odalar ve derin dondurucu odalar gibi daha büyük ısı farkı gerektiren uygulamalar artmıştır.
- Konteynırlar : Konteynır üreten yada kullanan şirketler tarafından termoelektrik soğutmaya yoğun ilgi vardır. Özellikle derindondurma sıcaklığı gerektiği zaman termoelektrik sistemler, kompresörlü çevrimli sistemlerden çok daha pahalıdır. + 4 °C de saklamayı sürdürebilen özel termoelektrik soğutma konteynırların gelecekte meydana çıkabilir.

4.METARYAL VE METOD

4.1.Metaryal

Termoelektrik soğutucuların performans deneyleri için kullanılmak üzere Süleyman Demirel Üniversitenin Araştırma Fonu projesiyle (Prj. No: 362) 57 watt ve 67 watt güçlerinde iki adet peltier etkili termoelektrik soğutucu, 100 Watt gücünde 24 Volt çıkışlı güç kaynağı ve deney düzeneğinde kullanılan diğer malzemeler alınmıştır. Soğutuculardan biri havadan-havaya diğeri de sıvıdan-havaya çalışmaktadır. Bunların her biri için ayrı bir deney düzeneği kurulmuştur.

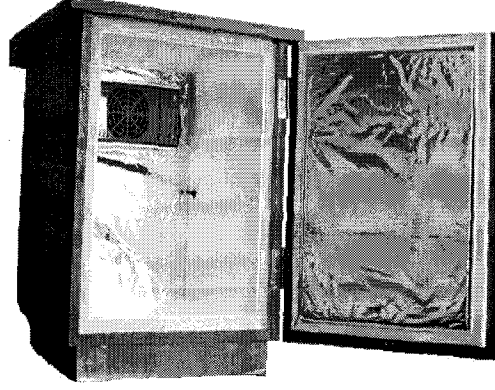
Sistem sıcaklık ölçümü için 4 adet termokupul ve 2 adet data logger kullanılmıştır. Gerilim ve akım ölçümleri için 1 adet avometre kullanılmıştır.

4.1.Termoelektrik soğutucular

4.1.1Havadan-Havaya termoelektrik soğutma:

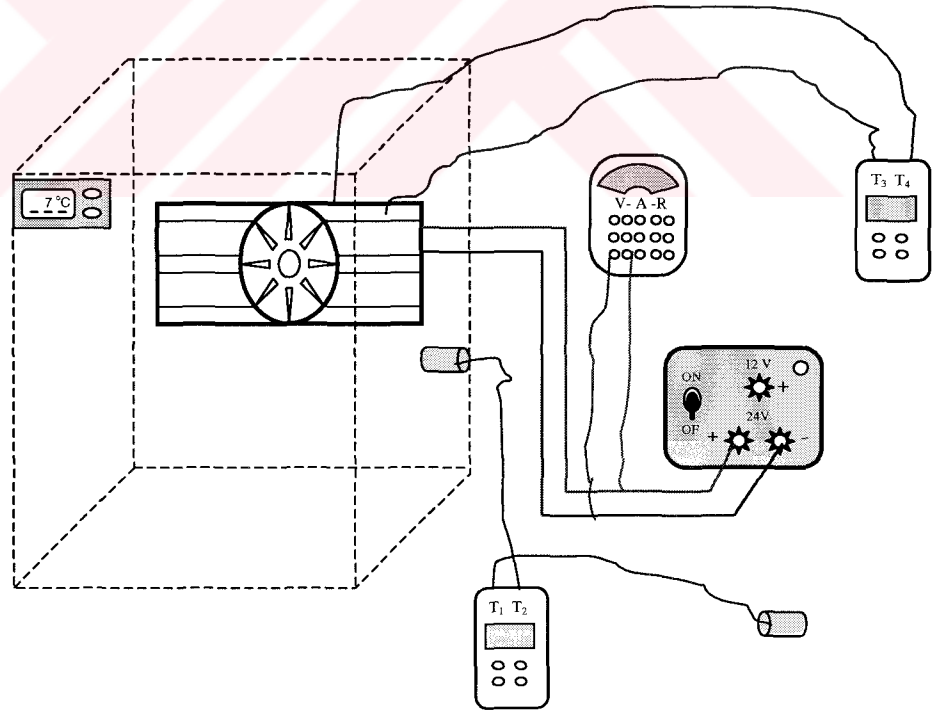
Bu soğutucunun, her iki yüzünde alüminyum ısı kanatçığı arasında peltier etkili 57 Watt gücünde termoelektrik soğutucu vardır. EK-1 de firmanın gönderdiği soğutucunun ölçüleri ve özellikleri bulunmaktadır. Bu hava kanatçıklarının her birinin üstünde birer adet fan mevcuttur. Bu fanlar ısı transferi olayını arttırmak içindir. Bu soğutucunun besleme gerilimi 24 Volttur.

Bu soğutucuyu kullanmak için 50 litrelik izolasyonlu bir dolap yapılmıştır. Dolap, 20 mm kalınlığında suntadan imal edilmiştir. Soğutulan hacim 20 mm kalınlığında dansitesi yüksek stropor ve 3mm kalınlığında PVC ile kaplanmıştır. Kapak sızdırmazlığı, mıknatıslı kapı lastiği contası ile sağlanmıştır. Ayrıca deney esnasında, kapak kapatıldıktan sonra sızdırmazlığını sağlamak için kapak ile gövde arası geniş bant ile bantlanmıştır. Şekil 4.1 de deneyde kullanılan soğutucunun fotoğrafı görünmektedir



Şekil 4.1. Termoelektrik soğutma sistemli dolap

Bu sistemde sıcaklık ölçümleri 4 noktada yapılmıştır. Bunlar iç ortam, soğutucunun soğuk yüzeyi (iç ortamdaki alüminyum kanatçık), dış ortam, soğutucunun sıcak yüzeyidir (dış ortamdaki alüminyum kanatçık). Sıcaklık ölçümleri 10 dakikada bir datalogger ların monitöründen kaydedilmiştir. Verilen değerlendirilmesi için Excel-programından yararlanılmıştır. Şekil 4.2 de deney düzeneğinin şeması görünmektedir.

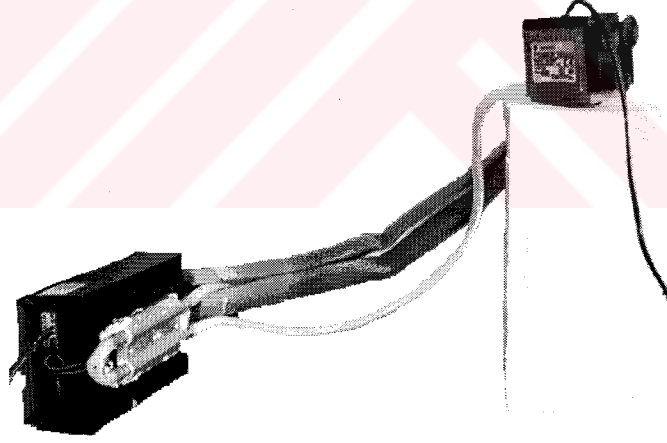


Şekil 4.2 Havadan –havaya soğutucu deney düzeneği

Soğutucu ilk çalışma esnasında 3 Amper akım çekmekte daha sonra çalışma esnasında normalde 2,5 Amper akım çektiği gözlenmiştir. Güç kaynağında akım sabitleyici devre olmadığından sistemi besleyen akım normal çalışma akımı olan 2,5 Amper kabul edilmiştir.

4.1.2. Sudan-Havaya termoelektrik soğutma:

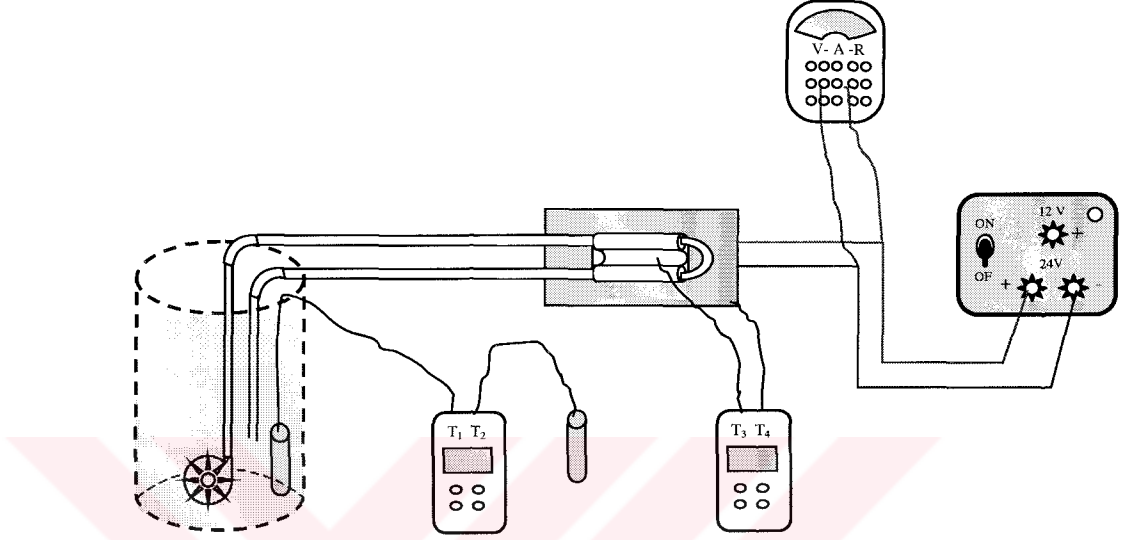
Bu tip termoelektrik soğutucu, ısıyı sıvıdan havaya bırakır. Bu yüzden bir yüzü sıvı geçebilecek şekilde alüminyum eşanjör diğer tarafı da alüminyum hava kanatçıkları mevcuttur. Arasında 67 Watt gücünde peltier etkili termoelektrik soğutucu modülü vardır. EK-2 bu soğutucunun üretici firma tarafından gönderilen bilgileri verilmiştir. Isının havaya daha çok transferi için fan mevcuttur. Sıvı eşanjörü tarafında ise sıvıdan daha çok ısı transferi için yüzey arttırıcı helisel parça kullanılmıştır. Şekil 4.3 de termoelektrik sıvı soğutucunun fotoğrafı görünmektedir



Şekil 4.3 Termoelektrik sıvı soğutucu

Bu sistemde sıvı olarak su kullanılmıştır. Bunun için izolasyonlu 1 litrelik su kabı yapılmıştır. Kabın etrafı 20 mm kalınlığında stroporla kaplanmıştır. Su deposuyla soğutucu arasındaki mesafe 50 cm olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bunun için toplam 130 cm boyunda iç çapı Ø8 mm olan plastik hortum kullanılmıştır. Plastik hortumun etrafı önce 5 mm kalınlığında cam yünüyle sarılmıştır. Bunun üzerine flex boru

izolasyonu malzemesi geçirilmiştir. Sirkülasyon için deponun içine akvaryumlarda kullanılan su pompası kullanılmıştır. Bu su pompasının debisini azaltmak için su basma ucunun çapı küçültülmüştür ve böylece suyun debisi azaltılmıştır. Soğutucuda sıvı eşanjörünün olduğu yer cam yünü ve stropor yardımıyla izolasyon yapılmıştır. Şekil 4.4 de deney düzeneğinin şekli görünmektedir.



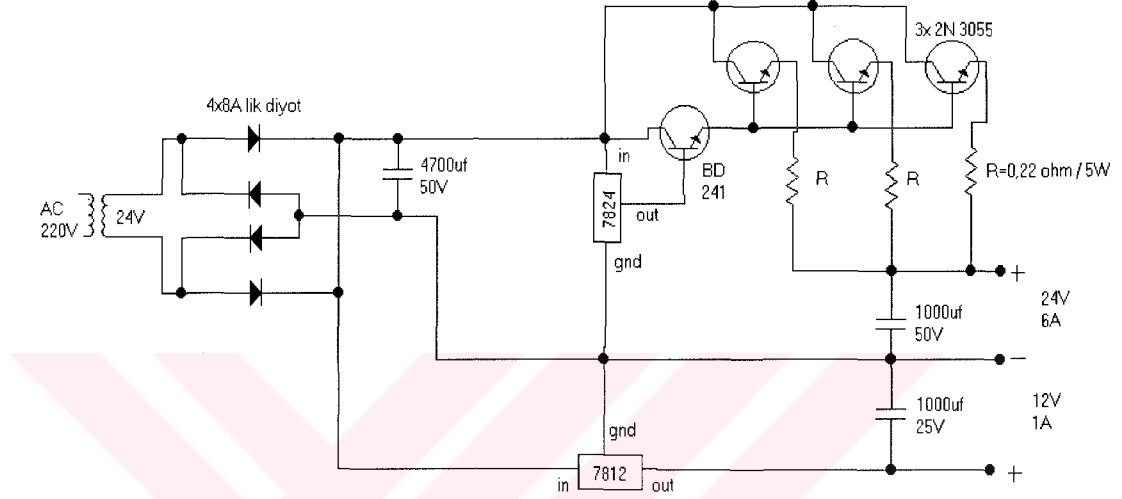
Şekil 4.4. Sıvıdan –havaya termoelektrik soğutucunun deney düzeneği

Deney düzeneğinde 4 noktadan aynı anda ölçüm yapılmıştır. Bunun için 4 adet K tipi termokupul kullanılmıştır. Termokupullar cihazın soğuk ve sıcak yüzeyine, dış ortama ve soğutulan suyun içine yerleştirilmiştir. İki adet data logger yardımıyla sıcaklıklar 10 dakika arayla okunmuştur ve elde edilen verilerin değerlendirilmesinde Excel-programından yararlanılmıştır.

4.1.3. Güç kaynağı:

Çalışması : Trafo ; AC 220V giren şebeke gerilimini AC 24V'ta düşüren alçaltıcı bir trafodur. Trafonun çıkışındaki AC voltaj, DC ile çalışan elektronik devreleri çalıştırmayacağı için bu voltajın DC'ye dönüştürülmesi gerekmektedir. Doğrultma işlemini 8A'e dayanabilen dört adet diyot (veya bunun yerine 8A'e dayanabilen köprü diyot) yapmaktadır. 8A'e dayanabilme gereksinimi; çıkışın toplamda $6A+1A=7A$ olmasındandır. Doğrulan sinyali ise $4700\mu F$ kondansatör filtre ederek düzleştirir. Sinyalin düzleşmesi yeterli olmayacağından çıkışta ya zenerle yada 7824 entegre devresiyle sinyalin regüle edilmesi gerekir. Yüksek amperli çıkış

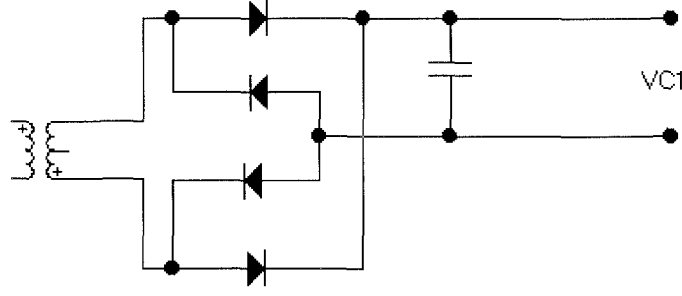
gerektiğinden bu entegrenin çıkışı yeterli olmamaktadır. Bu yüzden entegre çıkışı BD 241 ile yükseltip güç transistörlerine Darlington bağlayarak 6A'ye dayanır hale getirilmiş olur. Çıkış akımının kısa devre halinde hasar oluşmaması için R'ler kullanılmıştır. Gerekli diğer bir çıkış olan 12V 7812 entegresi ile sağlanmıştır. Çıkış kondansatörleri ise en son çıkış gerilimi üzerindeki parazitleri giderecektir. Devre şeması şekil 4.5 de gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Güç kaynağı (Trafo) devre şeması

Devre Elemanları:

- **Köprü Tipi Doğrultmaç Katı :** Bu katla trafonun 24 V çıkışındaki AC voltaj DC bir voltaj haline Getirilir. Köprü tipi doğrultucularda dört adet diyot kullanılır. Bu diyotlar hazır köprü diyot da olabilir. Çıkış gerilimi aynen tam dalga doğrultucuda olduğu gibi tam dalgadır. Burada kullanılan iki uçlu ve yüksek watt lı bir trafodur. Diyotların çıkışında mutlaka çıkış dalgalarını düzeltmesi için filtre kondansatörü kullanılmalıdır. Şekil 4.6 da prensip şeması görünmektedir.



Şekil 4.6. Güç kaynağının doğrultmaç kısım devresi

- **Regüle Katı :** 7424 entegresi 24 V regüleli çıkış verebilen bir elemandır. Giriş gerilim maksimum 35V çıkış akımı ise $\sim 1A \pm 25\%$ dir. 7824 ün iç yapısından dolayı giriş gerilimi 24V ile 35V arasında gezse dahi çıkış gerilimi sabit 24V dur. Dikkat edilmesi gereken çıkış geriliminin 24V dan aşağıya düşmemesidir.
- **Ön Kazanç Katı :** Ön kazanç işlevini BD 241 NPN tipi transistör üstlenmektedir. Bu transistör 55V'da 3A akıma ve 40W güce dayanabilmektedir. Bu transistörün gerekliliği güç transistörlerinin beyz akımını sağlamaktadır.
- **Güç Katı :** Bu işlevi ise 2 adet 2N 3055 transistörü yapmaktadır. 2N 3055, 115W'ta ve 15A akıma dayanabilen bir transistördür. Burada 3 adet kullanılmasının sebebi ise tek bir transistöre bu kadar fazla akımı bindirmemektir.
- **Akım Sınırlama Elemanları:** Akım sınırlamayı R direnci üstlenmiştir. Bu elemanların olmasının sebebi ise olası bir kısa devre anında sonsuz akımın çekilmesini önlemektir. Çünkü böyle bir durumda transistörler hasar görebilir.
- **Sabit Çıkış :** Sabit çıkışı ise yine bir 78XX serisi olan 7812 entegresi yapmaktadır. Bunun çıkışı 12V dur.

4.2. Metod

Soğutma cihazlarının değişik sıcaklık farklarında gösterdiği performansı tespit edilecektir. Bundan dolayı soğutma esnasında sıcaklık değerleri sürekli olarak ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Bu değerler kullanılarak termoelektrik soğutucunun malzeme ve elektriksel özellikleri sabit tutularak termodinamik bağıntılar yardımıyla performans katsayısı hesaplanacaktır. Bunların üretici firma tarafından gönderilen katalog değerleriyle karşılaştırılacaktır. En yüksek sıcaklık farkı elde edildiği anda cihazların performansı aşağıda hesaplanmıştır. Bunların her 10 dak. ya bir ölçümlerinde elde edilen sıcaklardaki performans katsayıları EK te sunulmuştur.

Havadan- havaya soğutucu: Havadan –havaya soğutucu net 0,05 m³ hacme sahip bir dolaba montajlanmıştır. Deneyde kullanılan soğutucu, Supercool firmasının AA-057-12-22 model termoelektrik soğutucusudur. Bu soğutucuda, 2 adet seri bağlı PE-161-24-15 termoelektrik modülü mevcuttur. Bununla ilgili üretici firma tarafından gönderilmiş katalog Ek te verilmiştir.

Termoelektrik soğutucuda bulunan bir semikondüktörün parametreleri;

Seebeck katsayısı ; α : 0.0002 W / °K

Elektriksel direnci ; ρ : 0.001 Ω . cm

Isıl iletkenlik ; λ : 0.015 W/ cm °K

Geometrisi ; G : 0.069 cm (kesit alanı/kalınlığı)

Soğutmanın maksimum olduğu zaman, soğuk taraf $T_1= 271.1$ °K, sıcak taraf $T_2=302.6$ °K dir. Buna göre sistemin ortalama çalışma sıcaklığı;

$$T_m = (T_2 + T_1) / 2$$

$$= (302.6 + 271.1) / 2 = 286.85 \text{ °K}$$

Bu soğutucunun modülünün direnci;

$$R = 2 \times (\rho / G)$$

$$= 2 \times (0.001 / 0.069) = 0.029 \text{ } \Omega$$

Isıl iletkenliği;

$$K = 2 (\lambda \cdot G)$$

$$= (0.015 \times 0.069) \times 2 = 0.0021 \text{ W / } ^\circ\text{K}$$

Z değeri, “metaryal faktörü” ;

$$Z = \frac{\alpha^2}{\rho \cdot \lambda}$$

$$= 0.002^2 / (0.001 \times 0.015) = 0.00533 \quad 1/^\circ\text{K}$$

değerindedir. Performans katsayısı, çekilen ısının verilen enerjiye oranıdır.

$$\text{CoP}_{\text{teorik}} = \frac{q_c}{W}$$

Çekilen ısı miktarı; ($\alpha_p = -\alpha_n$)

$$q_c = 2 \alpha I - \frac{1}{2} I^2 R - K (T_2 - T_1)$$

$$= (2 \times 0.0002 \times 2.5) - \left(\frac{1}{2} \times 2.5^2 \times 0.029\right) - (0.0021 \times (302.6 - 271.1)) = 0.1153 \text{ W}$$

Verilen enerji;

$$W = 2 \alpha I (T_2 - T_1) + I^2 R$$

$$= (2 \times 0.0002 \times 2.5 \times (302.6 - 271.1)) + (2.5^2 \times 0.029) = 0.213 \text{ W}$$

Bu sonuçlara göre CoP;

$$\text{COP}_{\text{teorik}} = q_c / W$$

$$= 0.1153 / 0.213 = 0.542$$

hesaplanan $\text{COP}_{\text{teorik}}$ değeri, formülde de görüldüğü gibi sistemin elektrik akımı, meydana gelen sıcaklık farkı ve semikondüktörlerin parametrelerine bağlı olarak sonuç elde edilmektedir. $\text{COP}_{\text{gerçek}}$, semikondüktörlerin fiziksel özellikleri ile çalışma sıcaklığına bağlı olarak hesaplanır. Buna göre $\text{COP}_{\text{gerçek}}$;

$$\text{CoP}_{\text{gerçek}} = \frac{Z \cdot \frac{T_1^2}{2} - (T_2 - T_1)}{Z \cdot T_1 \cdot T_2}$$

$$= \frac{0.00533 \times \frac{271.2^2}{2} - (302.6 - 271.1)}{0.00533 \times 302.6 \times 271.1} = 0.37$$

Termoelektrik soğutucunun max performans katsayısı, COP_{max} ;

$$COP_{max} = \frac{T_1 \left[(1 + Z \cdot T_m)^{1/2} - \frac{T_2}{T_1} \right]}{(T_2 - T_1) \cdot \left[(1 + Z \cdot T_m)^{1/2} + 1 \right]}$$

$$= \frac{271.1 \times \left[(1 + 0.00533 \times 286.85)^{1/2} - \frac{302.6}{271.1} \right]}{(302.6 - 271.1) \cdot \left[(1 + 0.00533 \cdot 286.85)^{1/2} + 1 \right]} = 1.57$$

elde edilir.

Bu havadan – havaya termoelektrik soğutucu aynı şartlarda elektrik üretici olarak kullanılsa verimi, η ;

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \cdot \frac{\left[(1 + Z \cdot T_m)^{1/2} - 1 \right]}{\left[(1 + Z \cdot T_m)^{1/2} + \frac{T_2}{T_1} \right]}$$

$$= \frac{302,6 - 271.1}{271.1} \cdot \frac{\left[(1 + 0.0053 \times 286.85)^{1/2} - 1 \right]}{\left[(1 + 0.0053 \times 286.85)^{1/2} + \frac{302.6}{271.1} \right]} = 0.179$$

Sudan- havaya soğutucu: Sudan –havaya soğutucu net 1 lt hacme sahip bir su deposunu soğutacak şekilde 1 mt. Hortumla bağlantı yapılmış ve gerekli izolasyonlar yapılmıştır. Bu deneyde kullanılan termoelektrik soğutucuda. Deneyde kullanılan soğutucu, Supercool firmasının LA-067-24-02 model termoelektrik soğutucusudur. Bu soğutucuda, 2 adet seri bağlı PE-161-12-15 termoelektrik modülü mevcuttur. Bununla ilgili üretici firma tarafından gönderilmiş katalog Ek te verilmiştir.

Termoelektrik soğutucuda bulunan bir semikondüktörün parametreleri;

Seebeck katsayısı ; α : 0.0002 W / °K

Elektriksel direnci ; ρ : 0.001 Ω . cm

Isıl iletkenlik ; λ : 0.015 W/ cm °K

Geometrisi ; G : 0.069 cm (kesit alanı/kalınlığı)

Soğutmanın maksimum olduğu zaman, soğuk taraf $T_1 = 271.8$ °K, sıcak taraf $T_2 = 296.4$ °K dir. Buna göre sistemin ortalama çalışma sıcaklığı;

$$T_m = (T_2 + T_1) / 2$$

$$= (296.4 + 271.8) / 2 = 284.1 \text{ °K}$$

Bu soğutucunun modülünün direnci;

$$R = 2 \times (\rho / G)$$

$$= 2 \times (0.001 / 0.069) = 0.029 \text{ } \Omega$$

Isıl iletkenliği;

$$K = 2 (\lambda \cdot G)$$

$$= (0.015 \times 0.069) \times 2 = 0.0021 \text{ W / °K}$$

Z değeri, “metaryal faktörü” ;

$$Z = \frac{\alpha^2}{\rho \cdot \lambda}$$

$$= 0.002^2 / (0.001 \times 0.015) = 0.00533 \text{ 1/°K}$$

değerindedir. Performans katsayısı, çekilen ısının enerjiye oranıdır.

$$\text{CoP}_{\text{teorik}} = \frac{q_c}{W}$$

Çekilen ısı miktarı; ($\alpha_p = -\alpha_n$)

$$q_c = 2 \alpha I - \frac{1}{2} I^2 R - K (T_2 - T_1)$$

$$= (2 \times 0.0002 \times 2.5) - \left(\frac{1}{2} \times 2.5^2 \times 0.029\right) - (0.0021 \times (296.4 - 271.8)) = 0.1303 \text{ W}$$

Verilen enerji;

$$W = 2 \alpha I (T_2 - T_1) + I^2 R$$

$$= (2 \times 0.0002 \times 2.5 \times (296.4 - 271.8)) + (2.5^2 \times 0.029) = 0.206 \text{ W}$$

Bu sonuçlara göre CoP ;

$$\text{COP}_{\text{teorik}} = q_c / W$$

$$= 0.1303 / 0.206 = 0.453$$

hesaplanan $\text{COP}_{\text{teorik}}$ değeri, formülde de görüldüğü gibi sistemin elektrik akımı, meydana gelen sıcaklık farkı ve semikondüktörlerin parametrelerine bağlı olarak sonuç elde edilmektedir. $\text{COP}_{\text{gerçek}}$, semikondüktörlerin fiziksel özellikleri ile çalışma sıcaklığına bağlı olarak hesaplanır. Buna göre $\text{COP}_{\text{gerçek}}$;

$$\begin{aligned} \text{CoP}_{\text{gerçek}} &= \frac{Z \cdot \frac{T_1^2}{2} - (T_2 - T_1)}{Z \cdot T_1 \cdot T_2} \\ &= \frac{0.00533 \times \frac{271.8^2}{2} - (296.4 - 271.8)}{0.00533 \times 296.4 \times 271.8} = 0.40 \end{aligned}$$

termoelektrik soğutucunun max performans katsayısı, CoP_{max} ;

$$\begin{aligned} \text{CoP}_{\text{max}} &= \frac{T_1 \left[(1 + Z \cdot T_m)^{1/2} - \frac{T_2}{T_1} \right]}{(T_2 - T_1) \cdot \left[(1 + Z \cdot T_m)^{1/2} + 1 \right]} \\ &= \frac{271.1 \times \left[(1 + 0.00533 \times 284.1)^{1/2} - \frac{296.4}{271.8} \right]}{(296.4 - 271.8) \cdot \left[(1 + 0.00533 \cdot 284.1)^{1/2} + 1 \right]} = 2.1 \end{aligned}$$

elde edilir.



5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Havadan Havaya Soğutma Sistemi:

soğutucu dolabın kapağı hiç açılmadan çalıştırılmış ve her 10 dakika da bir sıcaklıkları ölçülmüştür. Tablo 5.1 de ölçülen sıcaklık değerleri verilmektedir. Tablo 5.2 de ise üretici firma tarafından verilen Peltier modülünün parametre değerleri görülmektedir. Bu değerler ve sıcaklıklara bağlı performans katsayılarını denklem 2.44 ve 2.46 yardımıyla elde edilmiş ve Excel programında tablo haline getirilmiştir. Sonuçlar grafiksel getirilmiştir. Excel programı yardımıyla hesaplanan değerler tablo 5.3 de verilmiştir.

Tablo 5.1. Hava-hava termoelektrik soğutucunun deney de elde edilen değerler

süre dk.	T ₁		T ₂		ΔT [T ₁ -T ₂]	T ₃ =T _h		T ₄ =T _c		ΔT [T _h - T _c]
	°C	°K	°C	°K		°C	°K	°C	°K	
0	19,5	292,5	19,2	292,2	0,3	18,9	291,9	18,8	291,8	0,1
10	20,8	293,8	8,8	281,8	12	30,8	303,8	6,6	279,6	24,2
20	21	294	5,3	278,3	15,7	30,4	303,4	3	276	27,4
30	21	294	2,9	275,9	18,1	30	303	0,7	273,7	29,3
40	21,6	294,6	1,6	274,6	20	30	303	-0,6	272,4	30,6
50	21,4	294,4	1	274	20,4	30	303	-0,6	272,4	30,6
60	22	295	0,6	273,6	21,4	30,1	303,1	-1,6	271,4	31,7
70	22,5	295,5	0,5	273,5	22	30,3	303,3	-1,7	271,3	32
80	22,5	295,5	0,4	273,4	22,1	29	302	-1,7	271,3	30,7
90	22,4	295,4	0,2	273,2	22,2	30,3	303,3	-1,9	271,1	32,2
100	22,7	295,7	0,2	273,2	22,5	30,2	303,2	-1,9	271,1	32,1
110	23	296	0,3	273,3	22,7	30,7	303,7	-1,9	271,1	32,6
120	23,6	296,6	0,3	273,3	23,3	29,6	302,6	-1,9	271,1	31,5

T₁: Dış Ortam T₂: İç (Soğutulacak) Ortam T₃=T_h= Soğt. sıcak taraf. T₄=T_c= Soğt. soğuk taraf.

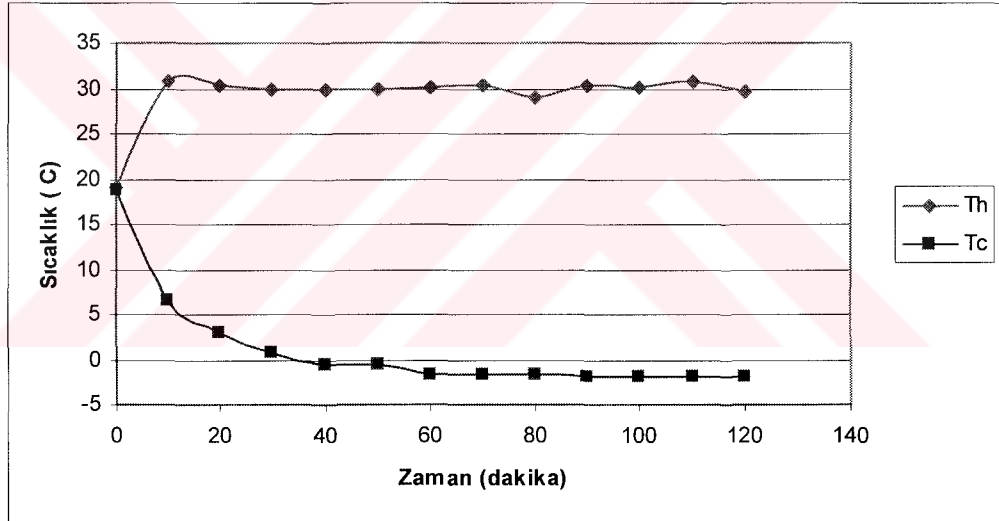
Tablo 5.2. Hava-hava termoelektrik soğutucunun Peltier modülünün parametreleri

Model: PE-161-12-15	
α : 0.0002 W / °K	V : 24 volt
ρ : 0.001 Ω.cm	I : 2.5 amper
λ : 0.015 W/cm °K	R : 0,028986 Ω
N : 161	K : 0,00207 W/ °K
G : 0.069 cm (A/L)	Z : 0,005333

Tablo 5.3. Hava-hava termoelektrik soğutucunun elde edilen sonuçlar

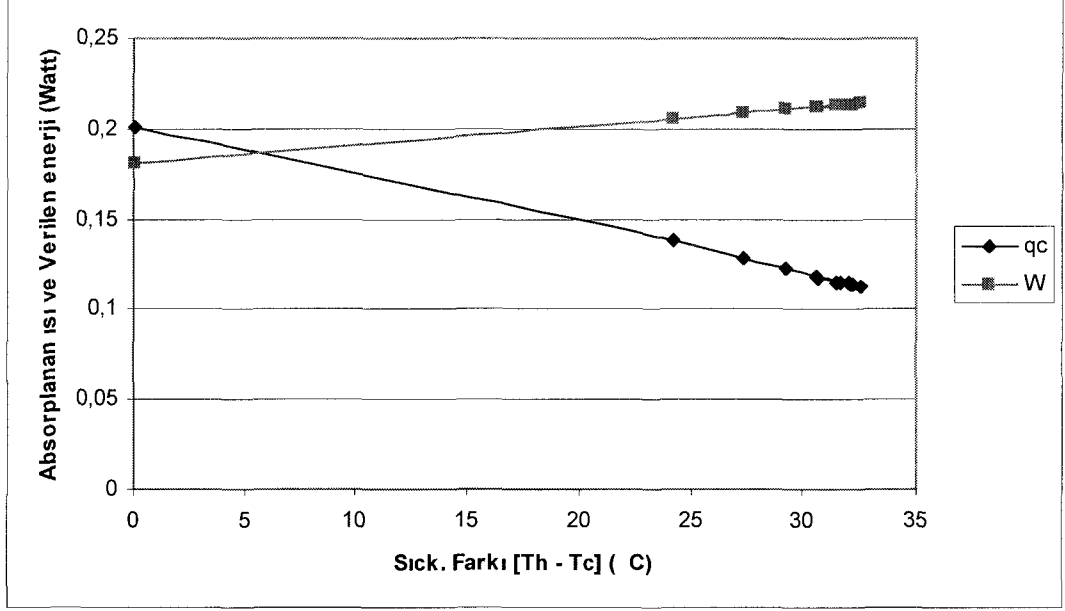
süre	TM	1	2	3	=1-2-3	qc/ W			
	$((T_3+T_4)/2)$	$(a_p - a_n)I.T_1$	$0,5.I^2.R$	$K.dt$	q_c	W	COP_{teorik}	$COP_{grçk}$	COP_{max}
dk.	$^{\circ}K$	watt	watt	watt	watt	watt			
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	291,7	0,2796	0,09058	0,0501	0,138	0,205	0,6765	0,4067	2,2768
20	289,7	0,276	0,09058	0,0567	0,128	0,208	0,6171	0,3934	1,9252
30	288,35	0,2737	0,09058	0,0607	0,122	0,210	0,5819	0,3854	1,7508
40	287,7	0,2724	0,09058	0,0633	0,118	0,211	0,5595	0,3799	1,6473
50	287,7	0,2724	0,09058	0,0633	0,118	0,211	0,5595	0,3799	1,6473
60	287,25	0,2714	0,09058	0,0656	0,115	0,212	0,5412	0,3754	1,5675
70	287,3	0,2713	0,09058	0,0662	0,114	0,213	0,5371	0,3743	1,5487
80	286,65	0,2713	0,09058	0,0635	0,117	0,211	0,5531	0,3789	1,6276
90	287,2	0,2711	0,09058	0,0667	0,113	0,213	0,5337	0,3734	1,5348
100	287,15	0,2711	0,09058	0,0664	0,114	0,213	0,5349	0,3738	1,5405
110	287,4	0,2711	0,09058	0,0675	0,113	0,213	0,5288	0,3720	1,5121
120	286,85	0,2711	0,09058	0,0652	0,115	0,212	0,5423	0,3759	1,5759

q_c = Absorplanan ısı W : Verilen enerji



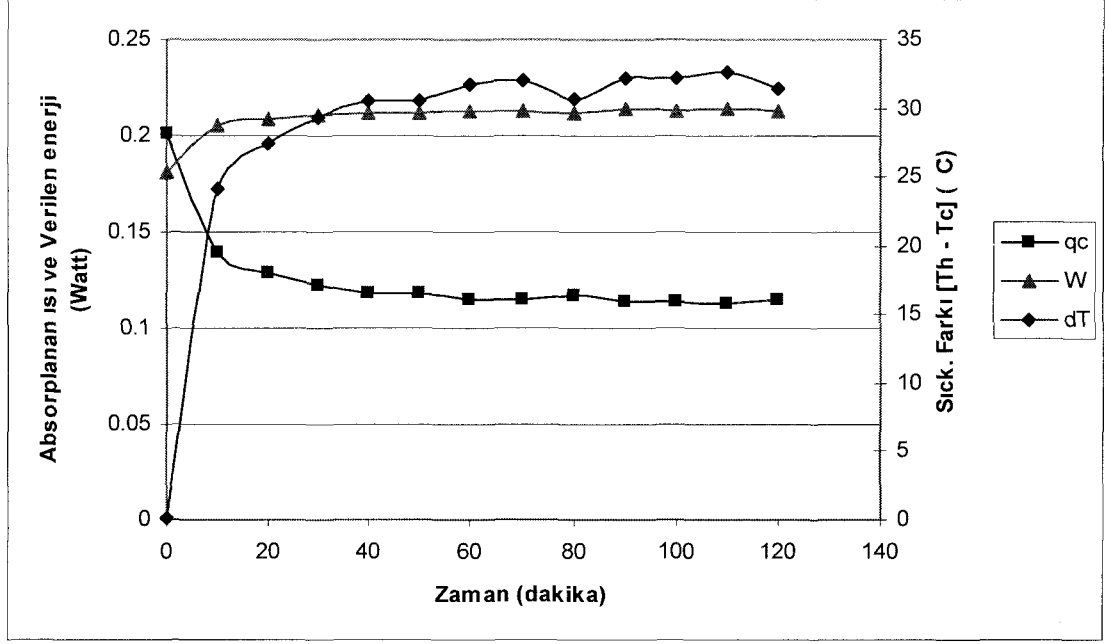
Şekil 5.1 Havadan-havaya termoelektrik soğutucunun zaman-sıcaklık grafiği

Termoelektrik soğutucu ilk çalıştırıldığından itibaren kısa bir süre içerisinde, soğutucu modülün yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının yaklaşık $30^{\circ}C$ olduğu ve daha sonra da sıcaklık farkının çok fazla değişmediği şekil 5.1 de görülmektedir. Sıcak tarafın sıcaklığındaki değerinin küçük olmasının sebebi, deney yapılan ortamın sıcaklığının sabit tutulmamasıdır. Bu tip bir soğutucu ile $0^{\circ}C$ 'nin altında inilmesi zordur. Bunun için iki veya daha çok basamaklı Peltier modüllü termoelektrik soğutucu seçilmelidir



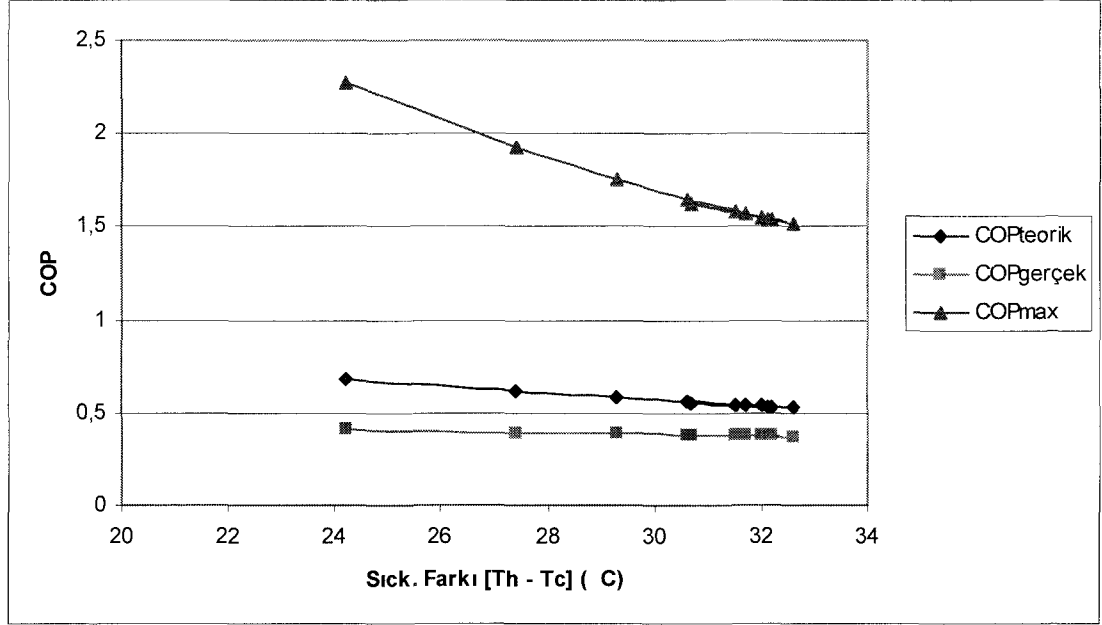
Şekil 5.2. Havadan-havaya termoelektrik soğutucunun sıcaklık farkına bağlı absorplanan enerji ile verilen enerjinin grafiği.

Klasik soğutma sistemlerinde olduğu gibi soğutulacak ortamın sıcaklığı düştüğü veya sıcaklık farkının arttığı zaman soğutucunun absorpladığı ısı azalmaya, soğutucuya verilen enerji artmaya başladığı şekil 5.2 deki grafikte görülmektedir. Termoelektrik soğutucunun ilk çalıştığı andaki sıcaklık farkı 0 °C olmasından dolayı q_c ve W eşitliklerin sonucuna göre $q_c > W$ olduğu görülmektedir. Fakat 10 dakikadaki ölçülen değerden itibaren q_c değerinde azalma, W değerinde yükselme olmuştur.



Şekil 5.3. Havadan-havaya termoelektrik soğutucusunun zamana bağlı oluşan sıcaklık farkı ve absorplanan ısı ile verilen enerji grafiği.

Havadan-havaya termoelektrik soğutucu ilk 10 dakikada soğutucu yüzeyler arası sıcaklık farkının 24°C olmasıyla absorplanan ısının düştüğü bununla birlikte verilen enerjinin yükseldiği şekil 5.3 de görülmektedir. 10 cu dakikadan sonra q_c ve W değerleri grafikte doğrusal bir eğri çizmesiyle sistemin rejime girdiği görülmektedir. Sıcaklık farkı sıfıra eşit olduğunda q_c ve W değerlerinin sıfır olmadığı ve bu yüzden W nin q_c den küçük olduğu bu diyagramda da görülmektedir.



Şekil 5.4 Havadan-havaya termoelektrik soğutucusunun sıcaklık farkına bağlı COP değerleri.

Soğutucunun, sıcaklık farkına bağlı olarak hesaplanan COP değerleri ile sıcaklık farkı arasında oluşan grafik şekil 5.4 de görünmektedir. COP_{max} değeri COP_{teorik} den, COP_{teorik} değeri de $COP_{gerçek}$ den yüksektir. Çünkü COP_{max} hesaplanırken maksimum akım ile soğutma elde edileceği kabul edilerek hesaplanmaktadır. COP_{teorik} ve $COP_{gerçek}$ birbirine yaklaşan bir eğri çizmektedir. Doğal olarak COP_{teorik} değeri $COP_{gerçek}$ ten yüksektir fakat birbirleri arasında fark azdır. Termoelektrik soğutucular yüksek sıcaklık farklarında çalıştırılırlarsa COP değerlerinde düşme meydana gelir. Çünkü bu sistemlerde sıcaklık farkı artmasıyla, absorplanan ısı enerjisinde azalma olur.

5.2. Sıvıdan havaya Soğutma Sistemi:

Soğutucu sistemde sıvı olarak su kullanılmıştır ve sistemin çalıştığı surece sirkülasyon pompası durdurulmamış ve su deposunun kapağı açılmamıştır. Her 10 dakikada bir ölçülen değerler tablo 5.4 de verilmiştir. Tablo 5.5 de üretici firma tarafından verilen Peltier modülünün parametreleri verilmiştir. Bu değerler çalışma esnasında değişmediği kabul edilerek her ölçülen sıcaklık değerlerini COP denklemleri uygulanmıştır. Sonuçlar tablo 4.6 da verilmiştir. Hesaplar excel programında tablo haline getirilmiş grafikleri çizdirilmiştir. Program yardımıyla hesaplanmış değerler, tablo 4.6 de verilmiştir.

Tablo 5.4. Sudan havaya soğutucunun deney de elde edilen değerler

süre dk.	T ₁		T ₂		ΔT [T ₁ -T ₂]	T ₃ =T _h		T ₄ =T _c		ΔT [T _h - T _c]
	°C	°K	°C	°K		°C	°K	°C	°K	
0	20.7	293.7	19.9	292.9	0.8	19.5	292.5	19.4	292.4	0.1
10	19.1	292.1	14.5	287.5	4.6	26.3	299.3	13.1	286.1	13.2
20	18.9	291.9	12.2	285.2	6.7	25.8	298.8	10.8	283.8	15
30	18.5	291.5	10.9	283.9	7.6	25.6	298.6	9.6	282.6	16
40	18.8	291.8	9.1	282.1	9.7	25.3	298.3	7.8	280.8	17.5
50	19.3	292.3	7.3	280.3	12	25.1	298.1	6.1	279.1	19
60	19.7	292.7	5.7	278.7	14	25.6	298.6	4.6	277.6	21
70	20.3	293.3	4.3	277.3	16	26	299	3.4	276.4	22.6
80	19.9	292.9	3.3	276.3	16.6	25	298	2.3	275.3	22.7
90	19.8	292.8	2	275	17.8	24	297	1.2	274.2	22.8
100	18.5	291.5	1.1	274.1	17.4	23.4	296.4	0.3	273.3	23.1
110	18.6	291.6	0.3	273.3	18.3	23.4	296.4	0.5	273.5	22.9
120	18.7	291.7	-0.5	272.5	19.2	23.4	296.4	-1.2	271.8	24.6

T₁: Dış Ortam T₂: İç (Soğutulacak) Ortam T₃=T_h= Soğt. sıcak taraf. T₄=T_c= Soğt. soğuk taraf

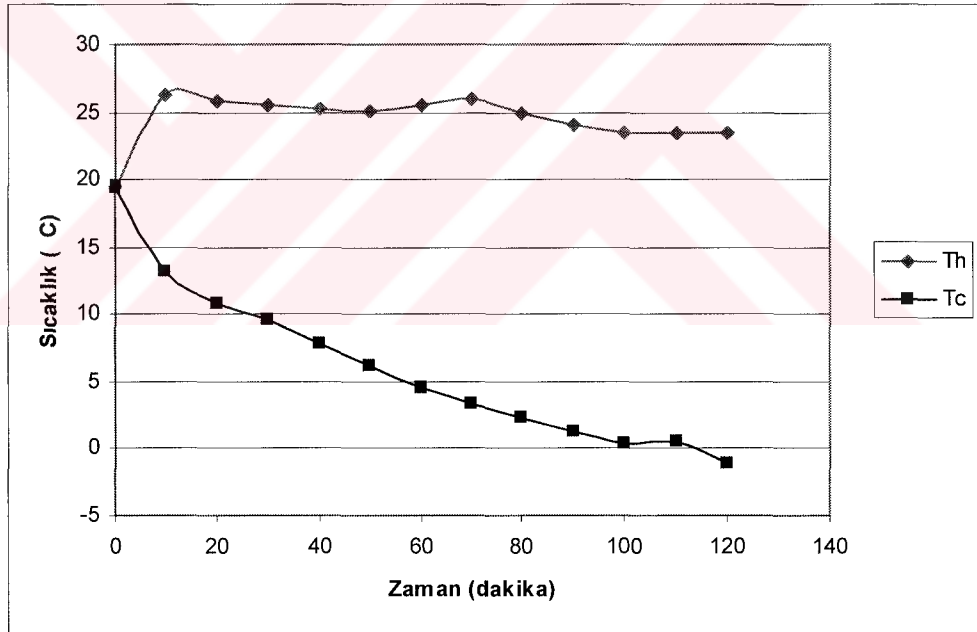
Tablo 5.5. Sudan havaya soğutucusunun Peltier modülü parametreleri

Model: PE-161-12-15	
α : 0.0002 W / °K	V : 24 volt
ρ : 0.001 Ω.cm	I : 2.5 amper
λ : 0.015 W/cm °K	R : 0,028986 Ω
N : 161	K : 0,00207 W/ °K
G : 0.069 cm (A/L)	Z :0,005333

Tablo 5.3. Sudan havaya soğutucusuna ait elde edilen sonuçlar

süre	TM	1	2	3	=1-2-3		qc/ W		
	$(T_3+T_4)/2$	$(a_p - a_n)I.T_1$	$0,5.I^2.R$	K.dt	qc	W	COP _{teorik}	COP _{grk}	COP _{max}
dk.	°K	watt	watt	watt	watt	watt			
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	292.7	0.2861	0.09058	0.0273	0.1682	0.1944	0.8654	0.4490	4.6193
20	291.3	0.2838	0.09058	0.0311	0.1621	0.1962	0.8267	0.4417	3.9700
30	290.6	0.2826	0.09058	0.0331	0.1589	0.1972	0.8059	0.4376	3.6742
40	289.55	0.2808	0.09058	0.0362	0.1540	0.1987	0.7752	0.4314	3.2940
50	288.6	0.2791	0.09058	0.0393	0.1491	0.2002	0.7454	0.4253	2.9759
60	288.1	0.2776	0.09058	0.0435	0.1435	0.2022	0.7101	0.4173	2.6360
70	287.7	0.2764	0.09058	0.0468	0.1390	0.2038	0.6824	0.4109	2.4074
80	286.65	0.2753	0.09058	0.047	0.1377	0.2039	0.6756	0.4100	2.3774
90	285.6	0.2742	0.09058	0.0472	0.1364	0.204	0.6689	0.4091	2.3477
100	284.85	0.2733	0.09058	0.0478	0.1349	0.2043	0.6605	0.4075	2.2987
110	284.95	0.2735	0.09058	0.0474	0.1355	0.2041	0.6641	0.4084	2.3247
120	284.1	0.2718	0.09058	0.0509	0.1303	0.2058	0.6333	0.4012	2.1167

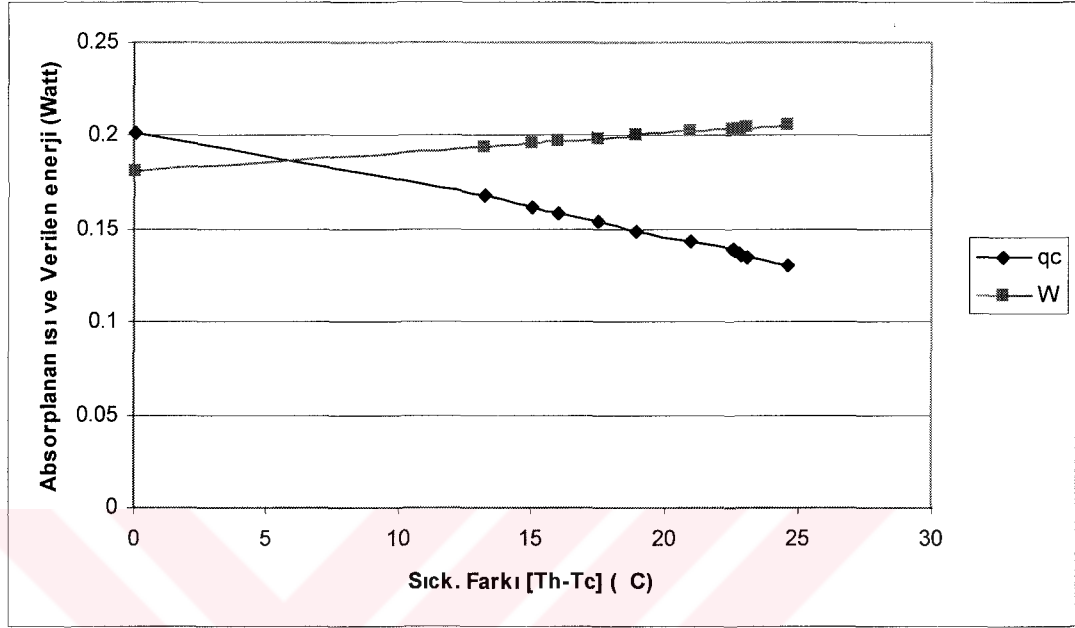
qc= Absorplanan ısı **W**: Verilen enerji



Şekil 5.5 Sudan-havaya termoelektrik soğutucunun zaman-sıcaklık grafiği

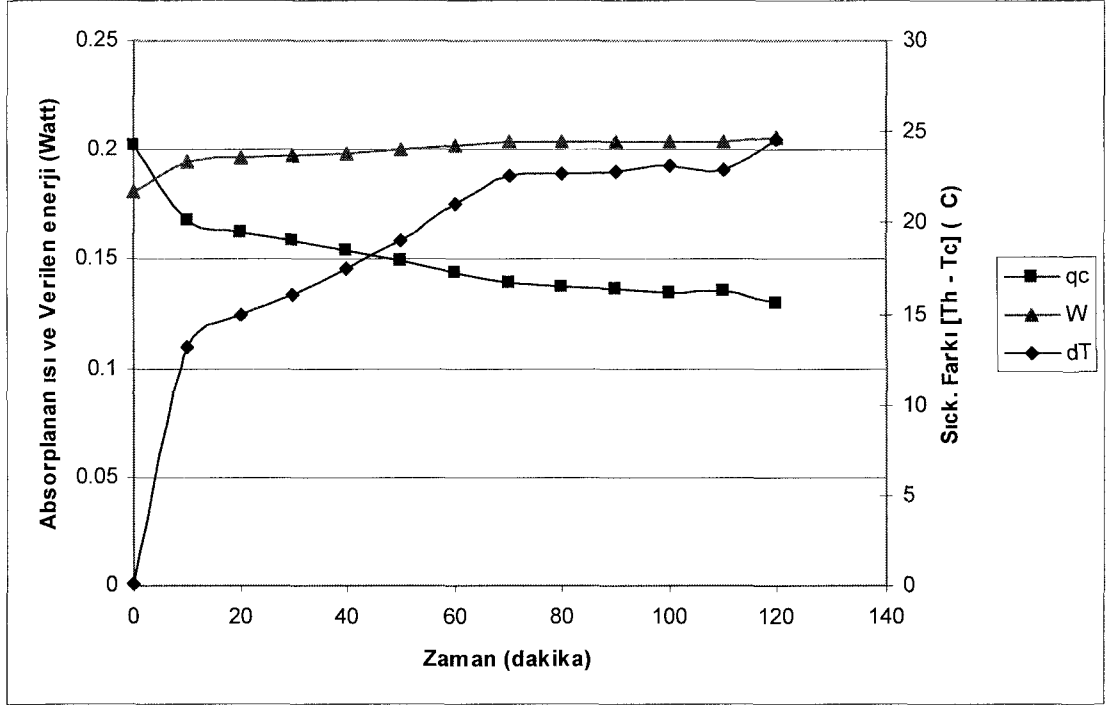
Termoelektrik soğutucunun ilk çalıştığı andan kısa bir sürede sıcak yüzey tarafının sıcaklığı dengelenmiş fakat soğuk tarafın sıcaklığı düşmeye devam ettiği şekil 5.5 teki zaman-sıcaklık grafiğinde görünmektedir. Termoelektrik soğutucu suyun ısısını absorplayıp havaya vermektedir. Sistemde kullanılan eşenjörün verimi düşük olması

ve sıvı olarak su kullanılmasından dolayı soğutucunun sıcak yüzeyi kısa sürede rejime girmesine rağmen soğutma olayı uzun sürmüştür. Sitem 120 dakika çalışması sonunda eşanjörün sıcaklığı -1°C altına inmeye başlamıştır.



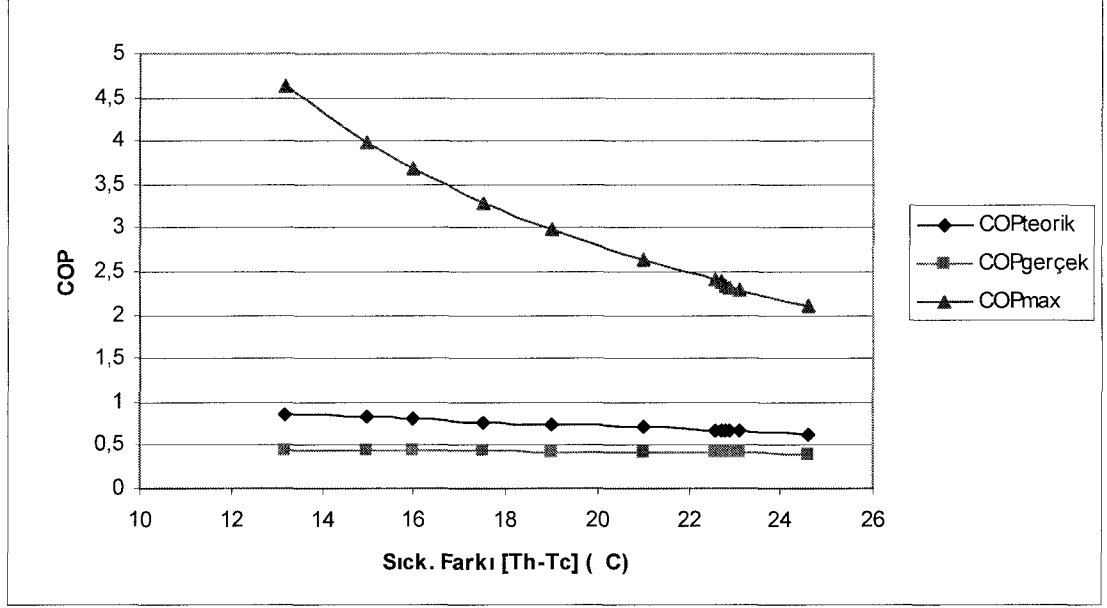
Şekil 5.6. Sudan-havaya termoelektrik soğutucunun sıcaklık farkına bağlı absorplanan enerji ile verilen enerjinin grafiği.

Şekil 5.6 da görülen sudan-havaya termoelektrik soğutucunun sıcaklık farkına göre absorplanan ısı ile verilen enerji değerlerinin grafiği için Havadan-havaya termoelektrik soğutucu için verilen ifadeler geçerlidir. Bunun yanı sıra bu sistemde sıcaklık farkı düşüktür. Bunun başlıca sebebi suyun donma noktasının 0°C olmasıdır. Soğutucu çalıştırıldıktan 90 dakika sonra soğuktarafın sıcaklığı 0°C nin altına inmiştir. Suyun donması sonucunda soğutucuya zarar verebileceği düşünülerek daha uzun süre çalıştırılmamıştır.



Şekil 5.7. Sudan-havaya termoelektrik soğutucusunun zamana bağlı oluşan sıcaklık farkı ve absorplanan enerjiyle verilen enerji grafiği.

Sudan-havaya termoelektrik soğutucu çalışmaya başladığından ilk 10 cu dakikada 13 °C lik bir sıcaklık farkı oluşturmuş daha sonra 70 ci dakikaya kadar 22 °C lik bir sıcaklık farkı meydana getirdiği şekil 5.7 de görülmektedir. Verilen enerji soğutucunun çalıştığı andan 10 dakika sonra şekil 5.7 de grafiğe göre artma çok az olmaktadır ama absorplanan ısı miktarı 70 ci dakikaya kadar düşmeye devam etmekte daha sonra grafiğe göre yatay çizerek sistemin rejime girdiğini göstermektedir.



Şekil 5.8 Sıvı-hava termoelektrik soğutucusunun sıcaklık farkına bağlı performans katsayı değerleri.

Sıvıdan-havaya soğutucunun çalışırken elde edilen sıcaklık farkı, havadan-havaya soğutucudan az olduğundan COP_{max} değeri ilk 10 cu dakikada yüksek çıkmıştır ve artan sıcaklık farkıyla hızla düştüğü şekil 5.8 de sıcaklık farkı-COP grafiğinde görülmektedir. COP_{teorik} ile $COP_{gerçek}$ değerleri grafikte bir paralellik sağlamış görülse de sistemin sıcaklık farkı azaldıkça birbirine yakınlaşmaktadır.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Termoelektrik soğutma sistemleri, semikondüktörler (termoelektrik malzeme) ve elektriksel güç kullanarak bir ortamdaki ısı enerjisini başka bir ortama pompalayarak ısı transfer eder. Bu sebeple termoelektrik sistemleri, bazı soğutma ve ısıtma uygulamalarında alternatif çözümler olabilmektedir. Sistemlerin 1 cm² gibi küçük boyutlarda modellenebilmesi, rejime girme süresinin kısa olması ve ayarlanan şartlardaki çalışma hassasiyetlerinin istenen seviyelerde olması (Laboratuvar cihazlarında $\pm 0,01$ °C hassasiyetinde çalışırlar) çevreye zararlı sayılan soğutucu akışkanlara bağımlı olmamaları gibi avantajlarından dolayı, termoelektrik soğutucular hem endüstriyel hem de ticari amaçlı birçok alanda alternatif çözüm olarak kullanılabilir.

Termoelektrik sistemlerin en çok kullanıldığı uygulama alanları, soğutma ve iklimlendirme prosesleridir. Trenlerin ve helikopterlerin iklimlendirilmesi, gemilerde soğuk hava depolarının soğutulması gibi uygulamalarda geliştirme çalışmaları halen devam etmektedir. Pc-Elektronik sanayisinde üretilen ürünlerin yüksek performansda çalışması için ısınan mikroişlemcilerinin (chiplerin) soğutulması çok önemli konudur. Günümüzde üretilen hızlı chipler de termoelektrik soğutuculu şekilde üretilmektedir. Önde gelen Pc-elektronik firmaları termoelektrik soğutucular üzerine araştırmalar yapmaktadırlar.

Termoelektrik soğutucularda kullanılan semikondüktör modüllerin, soğutma-ısıtma etkisinin keşfinden önce elektrik ürettikleri bulunmuştu. Bu buluşla günümüzde kullanılan güneş pilleri yapılmaktadır. Güneş pilleri DC (doğru akım) akımlı elektrik enerjisi üretmektedir bununla birlikte termoelektrik soğutucular, DC akımlı elektrik enerjisiyle çalışırlar. Günümüzde güneş pilleriyle çalışan portatif (mobil) termoelektrik soğutuculu dolaplar kullanılmaktadır. Termoelektrik soğutucular, AC akımı DC akıma çeviren adaptör yardımıyla kullanılırlar ve DC akım olan ulaşım araçlarında soğutucu olarak çoğunlukla tercih edilen sistemlerdir.

Termoelektrik soğutucular, hareketli parçaları olmadığından buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerine göre sessiz ve titreşimsiz çalışırlar. Buhar sıkıştırımlı ve absorpsiyonlu soğutma sistemlerine göre daha basit ve hafiftirler, hertürlü pozisyonda çalışabilirler ve otomasyon sistemleri basittir.

Termoelektrik soğutucularda kullanılan semikondüktör malzemelerinin sistemin performans üzerine etkisi büyüktür. Semikondüktörler de ısı iletim katsayısının düşük, elektrik iletim katsayısı yüksek olan malzemeler kullanılması gereklidir. Araştırma geliştirme laboratuvarlarında süper semikondüktör malzemeleri üzerine çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmaların sonucunda elde edilecek süper semikondüktör malzemelerle yüksek COP değerine sahip soğutucular tasarlanabilir.

Termoelektrik soğutucuların verim semikondüktörlerin Z değeri, sıcaklık farkına bağlıdır. Yapılan deneysel çalışmalar onucunda havadan-havaya termoelektrik soğutucusunun sıcaklık farkı ile COP değerleri arasında grafiği şekil 5.4 de görünmektedir. sistemin yaklaşık 30 °C sıcaklık farkına ulaşasıya kadar azalan COP değerleri $\Delta T=30^\circ \text{C}$ den sonra elde edilen COP değerleri ile sıcaklık farkı fazla değişmemektedir. Aynı şekilde sudan-havaya termoelektrik soğutucusunun yaklaşık 22° C lik sıcaklık farkına ulaşasıya kadar COP değerlerinde azalma görülmektedir. 22 ° C den sonra COP değerlerinde ve sıcaklık farkının değişmediği şekil 5.8 de görünmektedir. Termoelektrik cihazlar rejime girdikten sonra verimlerinin değişmediği ve buna bağlı olarak yüzeyler oluşturduklar sıcaklık farkınında değişmediği ortaya çıkmıştır.

Termoelektrik soğutucular hakkında bugüne kadar yapılan deneysel ve teorik çalışmaların, konuyu tam olarak açıklayamadığı, konu üzerinde çalışan çalışmacılar tarafından ortak bir fikir olarak kabul edilmektedir. Semikondüktör malzemelerin daha iyileştirmek için ve Peltier modüllerinde meydana gelen olayları daha açıklaya bilmek için test cihazları mevcuttur.

Termoelektrik soğutma sistemi hakkında yapılan her yeni çalışma, bu cihazların özellikle daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Termoelektrik soğutucular günümüzde halen güncelliğini koruyan bir konu olma özelliğini taşımaktadır.



7. KAYNAKLAR

Benedict, R.P., 1984. Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurements, Wiley Interscience, Chap. 7, New York.

Benicourt, M., Buffet J.P., and Huard J.F., 1985. U.S. Patent 4,499,329

Çengel, Y., Boles, M.A., 2000. Mühendislik yaklaşımıyla Termodinamik, Literatür Yayıncılık 525-555

Darken, L.S., and Gurry, R.W., 1953. Physical Chemistry of Metals, McGraw-Hill, New York, 191.

Goldsmid, H.J., 1986. Electronic Refrigeration, Pion, London.

Goldsmid, H.J., Douglas, R.W., 1954. The use of semiconductors in thermoelectric refrigeration, Br. J. Appl. Phys., 5(11), 386.

Hedolson, G.D., Gable, G.K., and Beck, A.A., 1964. Development of a thermoelectric air-conditioner for submarine application, Proc. ASHRAE Semiannual Meeting, 27-29, Paper no 1874, ASHRAE Trans., New Orleans,

Ioffe, A.F., 1957. Semiconductor Thermoelements and Thermoelectric Cooling, Infosearch, pp. 5-10, London.

Ioffe, A.F., Airapetyants, S.V., Ioffe, A.V., Kolomoets, N.V., Stilbans, L.S., 1956. On increasing the efficiency of semiconducting thermocouples, Dokl. Akad. Nauk SSSR, 106, 931.

Itenkirch, E., 1911 Electrothermische Kalteerzeugung und Reversible Electriche Heizung, Physikalische Zeitschrift, 12, 920.

- Lendecker, K., 1976. Proceedings, First International Conference on Thermoelectric Energy Conversion, Arlington, Texas, IEEE, 150, New York.
- Mathiprakasham, B., and Fiscus, D., 1986. Development of Thermoelectric Freezing Point Apparatus, in Proc., 6th Conf. Thermoelectric Energy Conversion, Arlington, 95, Texas.
- Matsuura, K., Rowe, D.M., Koumoto, K., Min, G., Tsuyoshi, A., 1992. Design Optimisation for a Large Scale Low Temperature Thermoelectric Generator, Proc. Xith International Conference on Thermoelectric, University of Texas at Arlington, October 7-9,10
- Mole, C.J., Foster, D.V., and Feranchak, R.A., 1972. Thermoelectric cooling technology, IEEE Trans. Ind. Appl., 1A-8, No. 2, 108-125
- Mole. C.J., 1965. U.S. Patent 3,178,895.
- Pollock, D.D, 1990. Physics of Engineering Materials, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 330.
- Pollock, D.D., 1991. Thermocouples Theory and Properties, CRC Press, Boca Raton, Chap.5.
- Pollock, D.D., 1993. Physical Properties of Materials for Engineers, CRC Press, Boca Raton, sect. 6.8.3.
- Reed, R.P., 1982. Thermoelectric thermometry: a functional model, in Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry, 5, American Institute of Physics, 915, New York.

- Roeser, W.F. and Lonberger, S.T., 1958. Methods of Testing Thermocouples and Thermocouple Materials, NBS Circular 590, National Bureau of Standards, U.S. Government Printing Office, Washington.
- Rowe, D.M., 1989. United States thermoelectric activities in space, Proc. VIII th Int. Conf. Thermoelectric Energy Conversion, July 10-13,1989, Nancy, France.
- Rowe, D.M., 1993. Thermoelectric generation, 28th Consultative Conference, to be published on behalf of the U.K. Watt Committee on Energy by IEE, 10-13, 1993.
- Rowe, D.M., 1995. CRC Handbook Thermoelectric, CRC Pres, 1-650, Florida.
- Seebeck, T.J., 1826. Methode, Platinatiegel auf ihr chemische reinheit durck thermomagnetismus zu prufen, schweigger's, J. Phys., 46, 101.
- Seebeck, T.J., 1823. Magnetic polarization of metals and minerals, Abhandlugan der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 265
- Stockholm, J.G., and Pujol-Soulet, L., 1982. Prototype thermoelectric air conditioning of passenger railway coach, in Proc. IVth Int. Conf. Thermoelectric Energy Conversion, Arlington, 136-141, Texas.
- Telks, M., 1947 The efficiency of thermoelectric generators, International Journal Appl. Physic, 18,1116.
- Thomson, W., 1851 On a mechanical theory of thermoelectric currents, Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 91.
- Thomson, W., 1856. On the electrodynamic qualities of metals, Philos Trans. R. London, 146, 649

Wartanowicz, T., and Czarniecki, A., 1991. Cryosurgical thermoelectric destroyer, in Proc. 10th Int. Conf. Thermoelectric, 209, Cardiff.

Yarborough, E.H., Yeat, F.W., 1975. Efficient thermo-mechanical generation of electricity from the heat of radioisotopes, Proc. Xth IECEC, 1033.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erkan DİKMEN
Doğum Yeri : Antalya
Doğum Yılı : 1977
Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durum :

Lise 1991 – 1994 Antalya Endüstri Meslek Lisesi Tesviye Bölümü.
Lisans 1995 – 1999 Süleyman Demirel Üniv. Teknik Eğitim Fak. Tesisat Öğretmenliği Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

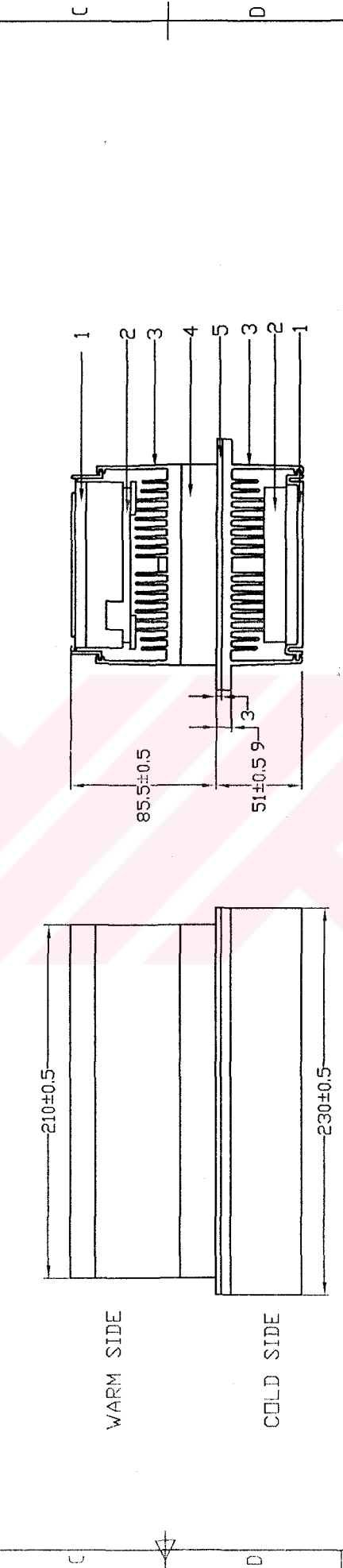
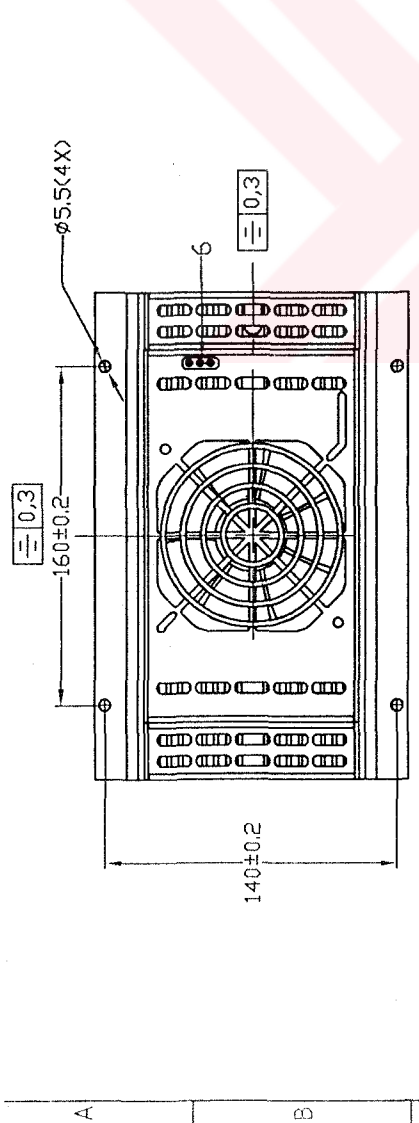
İş Deneyimi :

1999 – 2000 Denizli Çivril Endüstri Meslek Lisesi Tesisat Öğretmenliği
2000 - Süleyman Demirel Üniv. Teknik Eğitim Fak. Araştırma Görevlisi

EKLER




Heat Transfer Warm side	A	Air
Cascade		
Cooling Effect	057	57 W at $\Delta T = 0^\circ\text{C}$ and $T_a = 32^\circ\text{C}$
Voltage Nominal	24	24 VDC (29,5 VDC MAX)
Current Nominal		2,9 A at $\Delta T = 0^\circ\text{C}$
TE-Module(s)		PE-161-12-15 (2XS)
Fan(s) Cold side	2	2xVDC, 0.14A, 92x92x20, MTBF 40.000 hrs L10
Fan(s) Warm side	2	2xVDC, 0.15A, 92x92x25, MTBF 40.000 hrs L10
Thermostat / Regulation & Sensor	0	None
Thermostat Settings	0	None
Trimable Accuracy & Hysteresis		
Thermostat Position & Casings	0	None / Connections PC board on cold side heat sink
Options: Protections	0	None
Rapid Cooling / Economy	0	None
Weight		2,9 kg net
Overheating Thermostat		75°C+5°C on warm side heat sink surface
Max. operating Temperature		54°C ambient
Enclosed Packing		Mounting Screws(4X), Cable L= 1500 and Air Duct Individual cardboard box

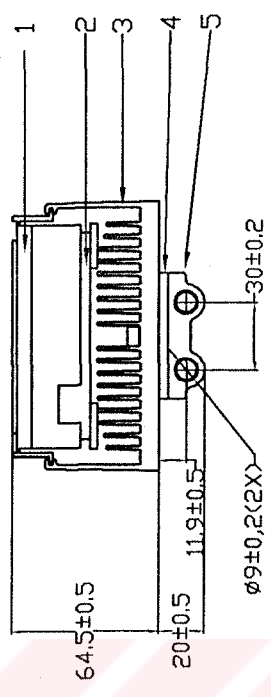
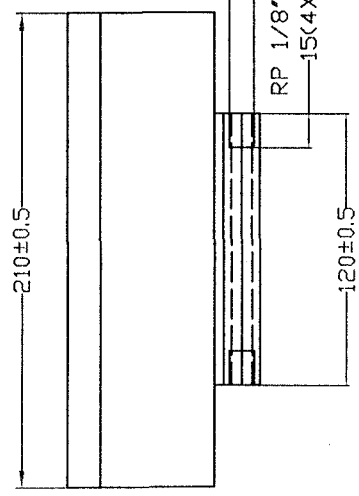
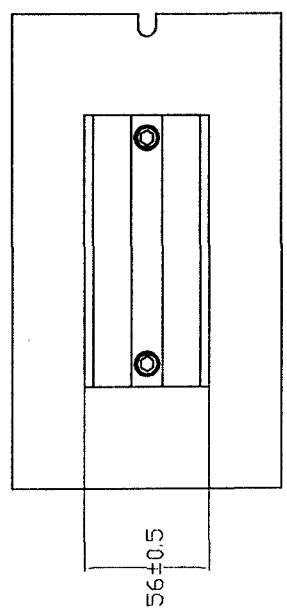


POS	ITEM No.	DESCRIPTION	QTY	NOTE
1	Finger Guard	Plastics, warm black, cold grey	2	
2	Fan	Plastics	2	
3	Heat sink	Anodised Alu, cold silver, warm black	2	
4	Insulation	Polyurethane and Polyethylene	1	no. CFC
5	Seal	Polyethylene, self-adhesive	1	flexible
6	Connector	± Input terminal (screws) on PC board	1	beneath finger guard

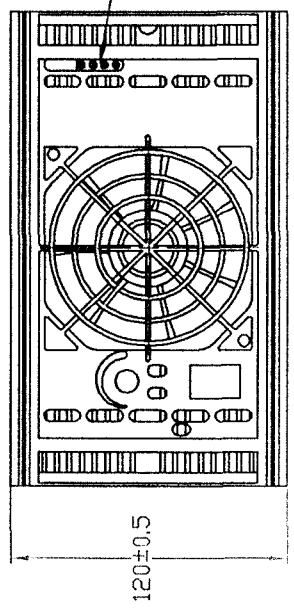
MOUNTING HOLE PRINT : 212 X 122

Qty/Product:	Material:	Project: Standard
Designed by: Pavel Cech	Approved by / sign: Hans Lindberg	Date/Rev.No: S-99-06-06
Customer:		Scale: 1
COOLING-ASSEMBLY		
 Supercool AB Box 27, 41720 Göteborg, Sweden Tel: +46 31 426530 Fax: +46 31 267909 e-mail: pavel@supercool.se www.supercool.se		Sheet: 1/1 AA-057-24-22-00-00 SS-IS02768-1

Heat Transfer Cold side	L	Liquid (circulating flow cooling)
Heat Transfer Warm side	A	Air
Cascade	-	-
Cooling Effect	067	67 W at $\Delta T = 0^\circ\text{C}$ and $T_a = 32^\circ\text{C}$
Voltage Nominal	24	24 VDC (29.5 VDC MAX)
Current Nominal	-	2.9 A at $\Delta T = 0^\circ\text{C}$
TE-Module(s)	0	PE-161-12-15-S (2xS)
Fan(s) Cold side	0	None
Fan(s) Warm side	2	24VDC, 0.19A, 92x92x25, MTBF 40,000 hrs L10
Thermostat / Regulation & Sensor	0	None
Thermostat Settings	0	None
Accuracy & Hysteresis	-	-
Thermostat Position & Casing	0	None
Options: Protection	0	None
Options: Rapid Cooling / Economy	0	None
Weight	-	1.9 kg net
Overheating Thermostats	-	75°C±5°C on warm side heat sink surface
Max. operating Temperature	-	53°C ambient
Enclosed	-	Cable L= 1500
Packing	-	Individual cardboard box

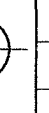


WARM SIDE
COLD SIDE



POS.	ITEM No.	DESCRIPTION	QTY	NOTE
1	Finger Guard	Plastics, black	1	
2	Fan	Plastics	1	
3	Heat sink	Anodised Alu, black	1	
4	Seal	Polyethylene, self-adhesive	1	
5	Heat sink	Anodised Alu, silver	1	Turbulators (2x) inserted beneath finger guard
6	Connector	± Input terminal (screws) on PC board (warm side)	1	

Qty/Product:	Material:	Project: Standard
Designed by: Pavel Cech	Approved by / sign: Johan Seiberlich	Date/Rev.No: S-99-06-12
Customer:		Scale: 1
COOLING-ASSEMBLY		
 Supercool AB Box 27, 6120 Gefreyng, Sweden Tel: +46 31 420530, Fax: +46 31 24 1709 e-mail: pavel@supercool.se www.supercool.se		Sheet 1/1



Project name: AA-057-24-22

Choose Peltiermodule

Chosen types : PE-161-12-15

No of Modules

2

Warmside Heatsink

AA-046/57

Coldside Heatsink

AA-046/57

Number of couples 161

Warm sink Rth (°C/W) 0,14

Pelletwidth (mm) 1,2

Cold sink Rtc (°C/W) 0,19

Pellet length (mm) 1,5

Voltage (V) 24,0

No of modules 2

Volt / module 12,0

Desired ambient temperature (°C) 32,0

dTmax at desired amb. temp. (°C) 50,2

Pcmax at des. Amb.temp (dT=0) (W) 53,9

Th at dT=0 (°C) 48,4

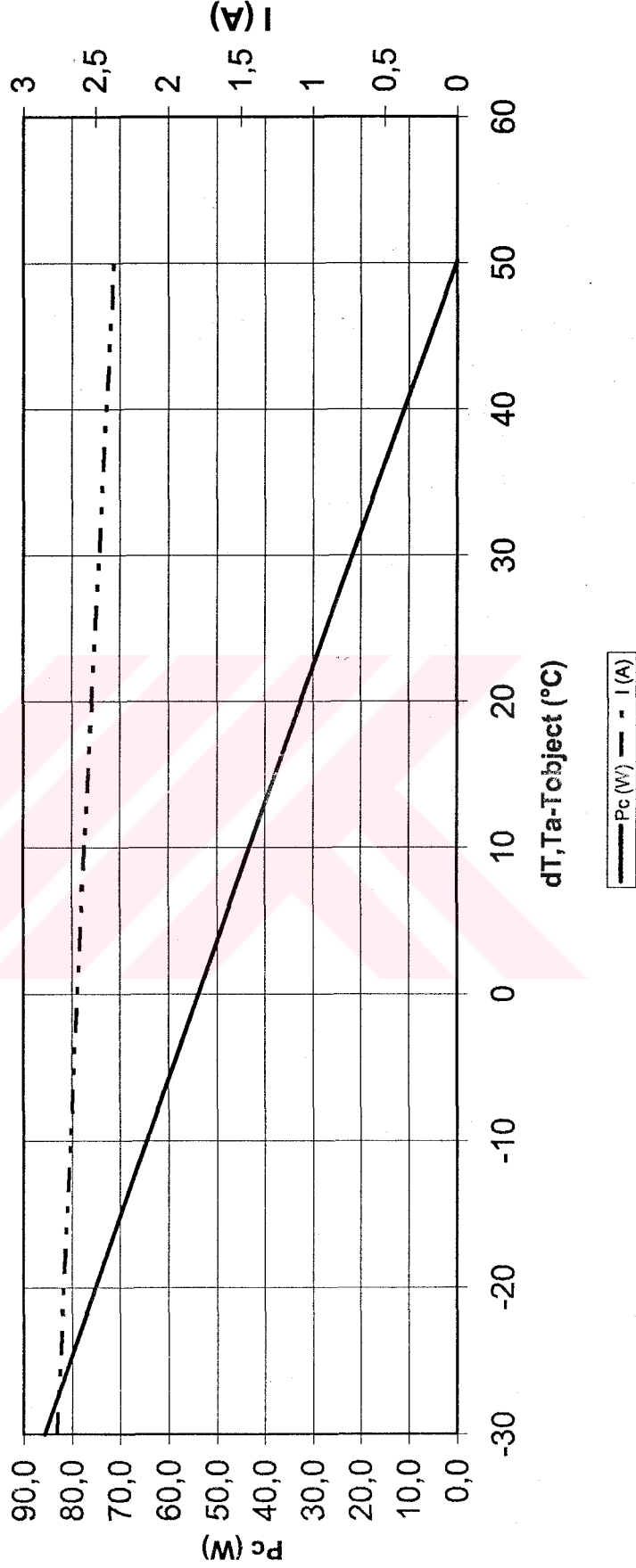
Tc at dT=0 (°C) 21,7

Pe at dT=0 (°C) 66,6 W

Choose dT and get Pc	
dT	20,0
Pc	32,6



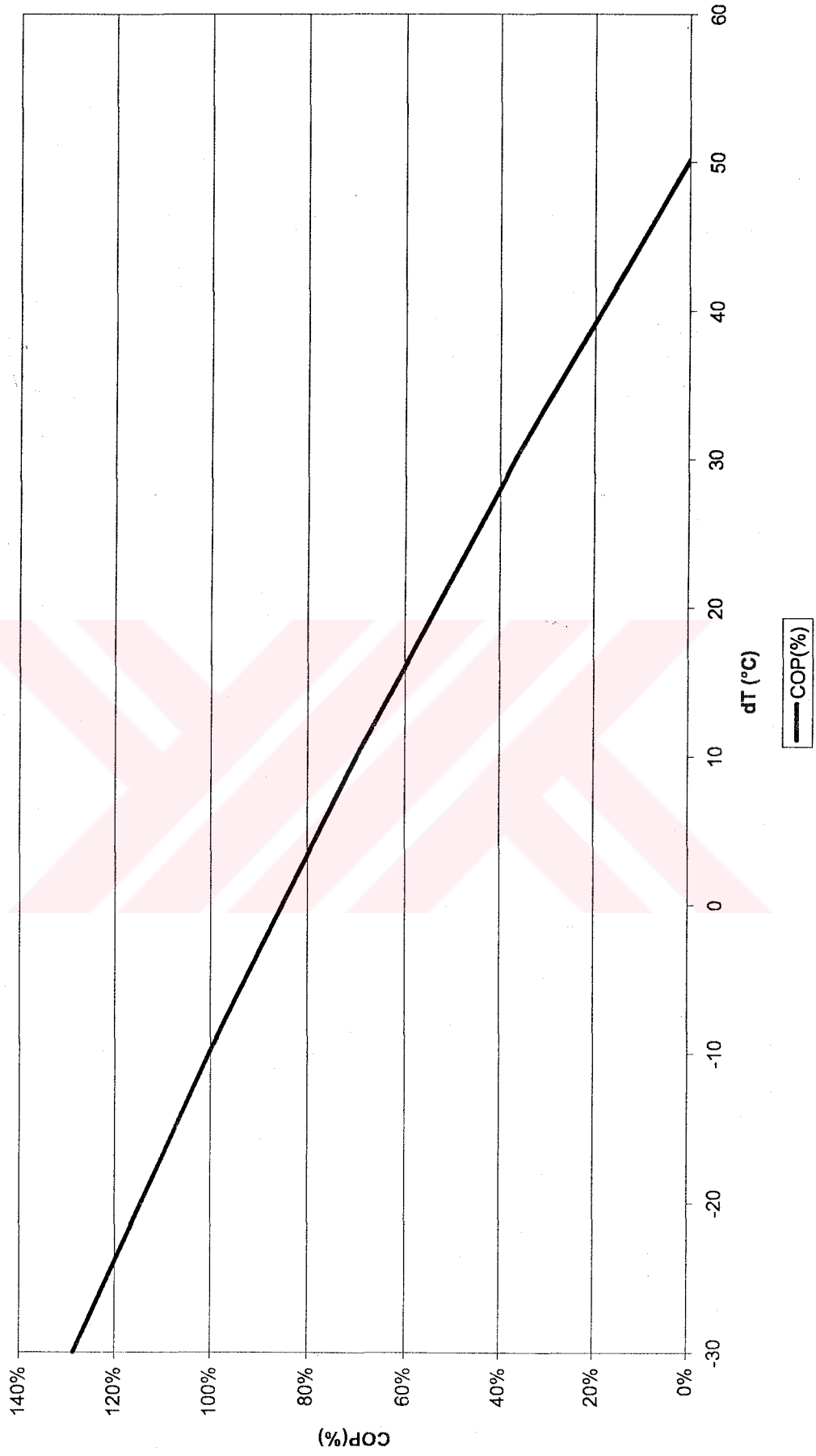
Pc vs dT at desired ambient temperature



TEM: PE-161 -12-15 2 pcs
Rth= 0,14 Ta= 32,0
Rtc= 0,19 U= 24,0

AA-057-24-22

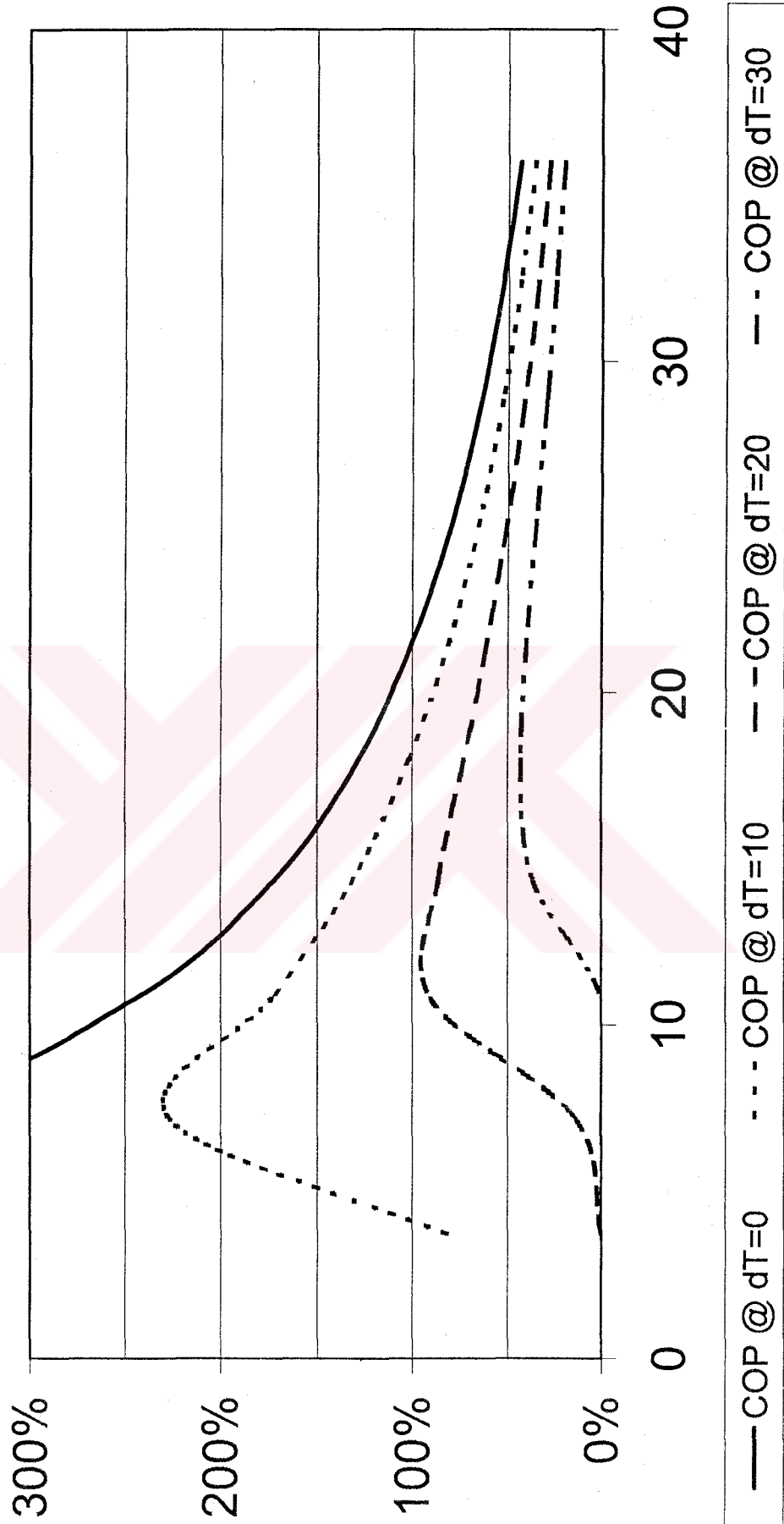
COP vs dT



TEM: PE-161 -12-15 2 pcs
Rth= 0,14 Ta= 32,0
Rtc= 0,19

COP vs U

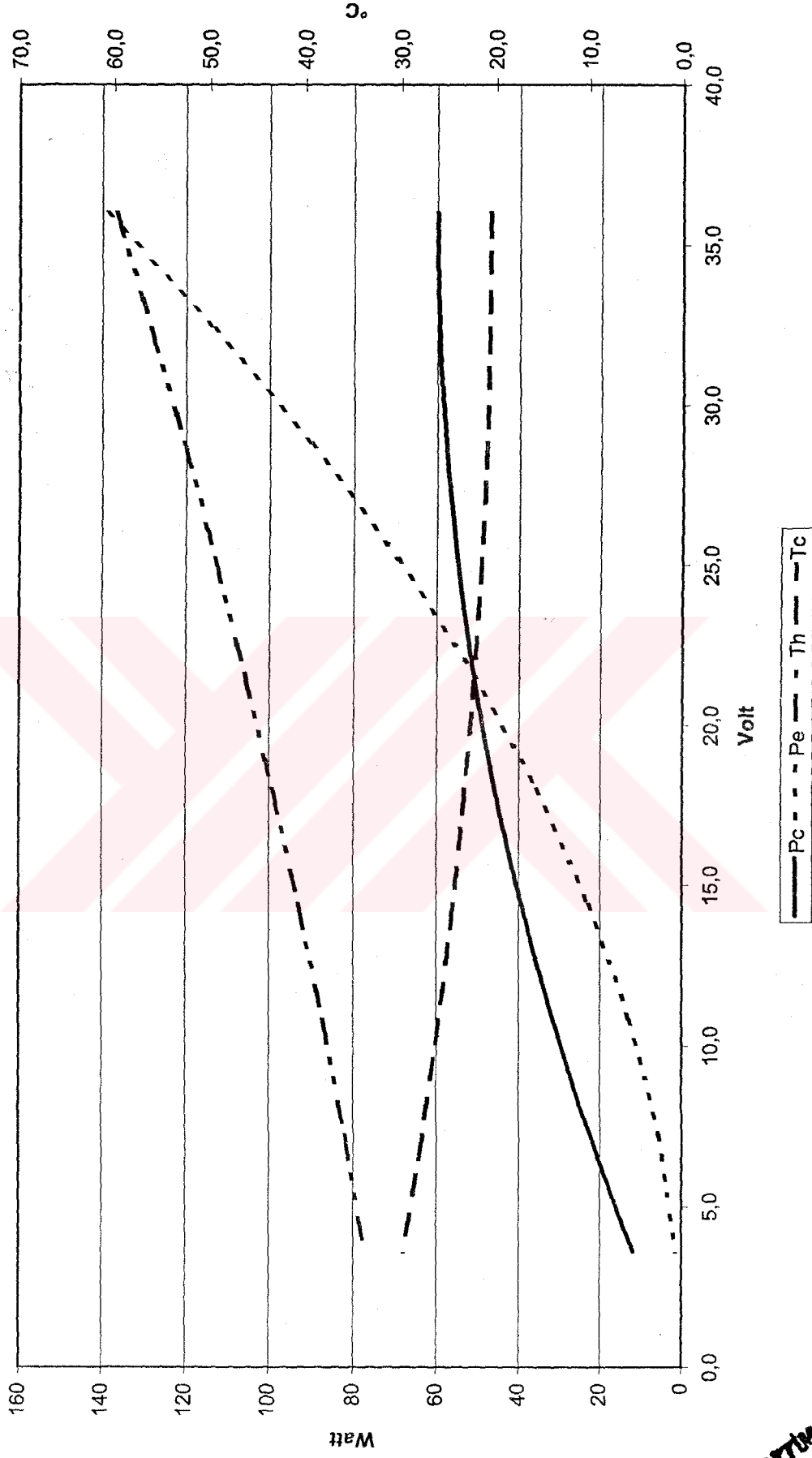
AA-057-24-22



TEM: PE-161 -12-15 2 pcs
Rth= 0,14 Ta= 32,0
Rtc= 0,19

Pc and Pe vs U at dT=0

AA-057-24-22

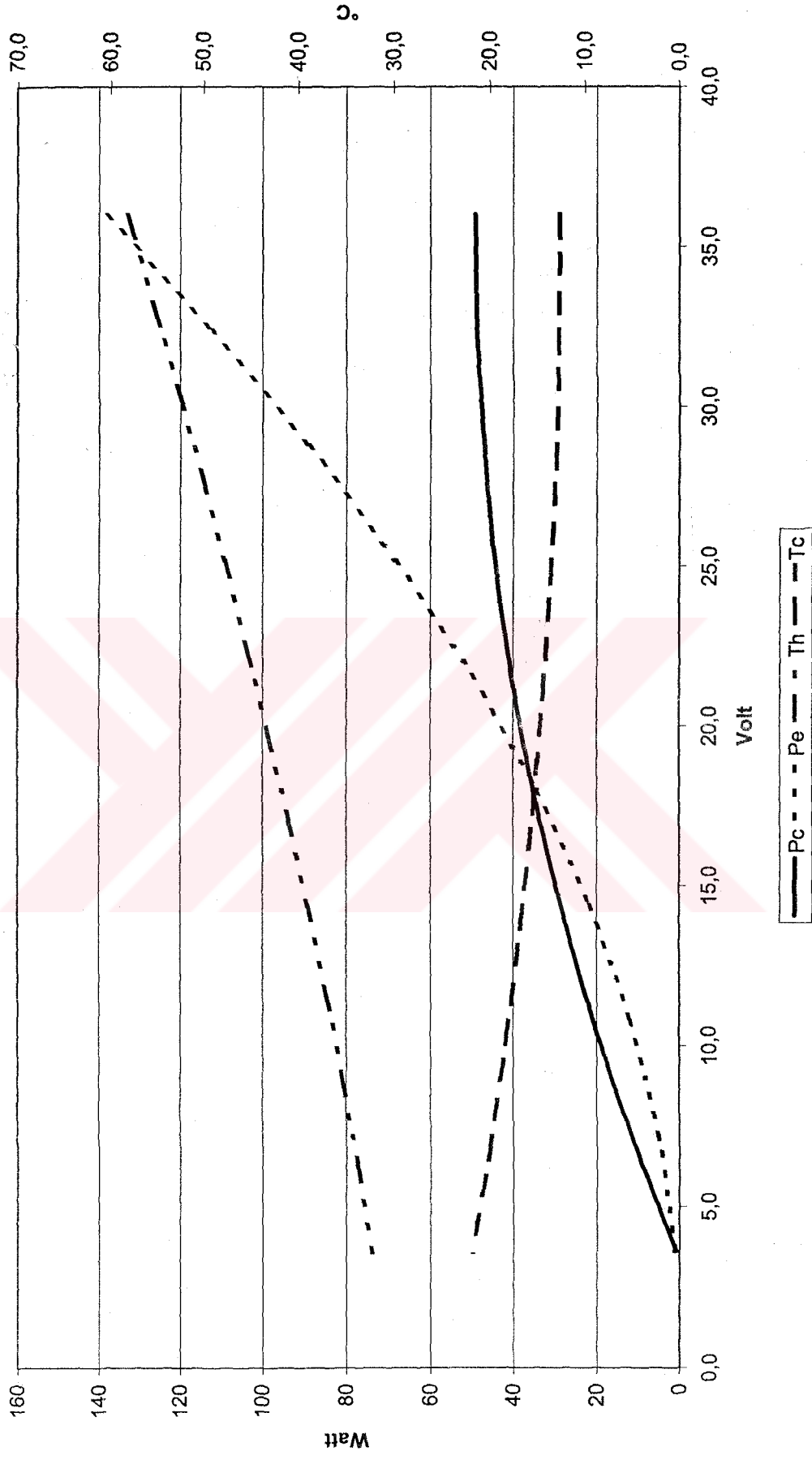


22. VILNIAUS UNIVERSITETAS
INŽINIERINIS MOKSLŲ TINKAMŲ MOKSLŲ KATEDRA

TEM: PE- 161 -12 -15 2 pcs
Rth= 0,14 Ta= 32,0
Rtc= 0,19

Pc&Pe at dT=10

AA-057-24-22



TEM: PE- 161 -12-15 2 pcs
R_{th}= 0,14 Ta= 32,0
R_{tc}= 0,19

Pe&Pc at dT=20

AA-057-24-22

