

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**EKLEMELİ İMALAT İLE YÜZEYİ GÜÇLENDİRİLEN
TERMOELEKTRİK MODÜL YÜZEYİNDEKİ
ISI DAĞILIM ETKİSİNİN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer Buğra DEMİRÖZ

Mekatronik Mühendisliği Programı

OCAK 2021

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**EKLEMELİ İMALAT İLE YÜZEYİ GÜÇLENDİRİLEN
TERMOELEKTRİK MODÜL YÜZEYİNDEKİ
ISI DAĞILIM ETKİSİNİN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ömer Buğra DEMİRÖZ
(161203003)**

Mekatronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Savaş DİLİBAL

OCAK 2021

Onay Sayfası



YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Eklemeli imalat ile yüzeyi güçlendirilen termoelektrik modül yüzeyindeki ısı dağılım etkisinin analizi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya ’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (.../.../2021)

Ömer Buğra DEMİRÖZ





Her zaman motivasyonumu yüksek tutan ailem ve öğrencilerime,

ÖNSÖZ

Ülkemizin geleceğine yön veren biz mühendislerin, çalışmaları ile bilgi ve tecrübesini artırarak ihtiyaç duyabileceği her türlü bilimsel veri çeşitliliğinin artırılması önemlidir. Birçok sektörde kullanılan ısı dağılım ve soğutma sistemleri içinde kullanılacak projemizin amacına uygun olarak sorunların tespiti ve çözümü yönelik iyi bir kaynak teşkil edeceğini düşünüyorum. Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “**Eklemeli imalat ile yüzeyi güçlendirilen termoelektrik modül yüzeyindeki ısı dağılım etkisinin analizi**” adlı çalışmanın hazırlanması için, bana her zaman destek olan, tavsiyeleri ve deneyimleriyle yol gösteren değerli danışman hocam Sayın **Doç. Dr. Savaş DİLİBAL**’ a çok teşekkür ederim.

Ayrıca, tezimin uygulama bölümünde tecrübelerimi ve bilgi birikimimi edindiğim, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesinin değerli hocalarından Sayın **Dr. Öğrt. Üyesi Ebubekir KOÇ** hocama, onun nezdinde, Alüminyum Test ve Araştırma Merkezi (ALUTEAM) çalışanlarına, İzmit Endüstri Meslek Lisesi Makine ve Kalıpcılık bölümü hocaların yardımlarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Ocak 2021

Ömer Buğra DEMİRÖZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiii
1. GİRİŞ.....	2
1.1. Çalışma Konusu	2
1.2. Tezin Amacı	3
1.3. Tezin Hedefi	4
1.4. Tezin Gerçekleşmesi ile sağlanacak faydalar.....	4
2. TERMOELEKTRİK MODÜLLER VE ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ	5
2.2. Literatür Araştırmaları.....	5
2.3. Tanımlar	8
2.3.1. Termoelektrik Soğutucu.....	8
2.3.2. Eklemeli İmalat ile Üretim Teknolojileri.....	15
2.3.3. Test Modül Kontrol Kartı	18
3. DENEYSEL ALTYAPI.....	19
3.1. Teknik parametreler.....	20
3.1.1. Termoelektrik Modül Özellikleri	20
3.1.3. Arduino Mikroişlemci.....	27
3.1.4. Sıcaklık Ölçümü.....	28
3.1.5. TE Modülünün Üzerindeki Soğutucuların Teknik Özellikleri.....	32
3.2. İmalat Yöntemleri.....	32
3.2.1. Isıl Soğutma Parçası – 1 için hacimsel oranlar;	37
3.2.2. Isıl Soğutma Parçası – 2 için hacimsel oranlar;	38
3.2.3. Isıl Soğutma Parçası – 3 için hacimsel oranlar;	39
4. DENEYSEL VE SAYISAL ANALİZ METODOLOJİSİ.....	41
4.1. Deneysel Analiz	41
4.1.1. Soğutucu Parçaların Modellenmesi.....	41
4.1.2. Soğutucu parçaların işlenmesi.....	44
4.1.3. Ortam Şarlarının Modellenmesi.....	56

4.1.4.	Soğutucuların ısı veri akışı izleme	57
4.1.5.	Sensör için ilgili kodlar	59
4.1.6.	Deney Test Düzenegi Ölçüm Verileri.....	60
4.2.	Sayısal Analiz.....	61
5.	SAYISAL ANALİZ SONUÇLARI	72
5.1.	Soğutma parçası – 1 (SP1) Analiz Sonuçları	72
5.2.	Soğutma Parçası – 2 Analiz Verileri	78
5.3.	Soğutma Parçası – 3 (SP3) Analiz Sonuçları	84
6.	DENEYSEL ANALİZ SONUÇLARI	90
6.1.	TEC Modül Yüzey Isı Dağılımı	90
6.2.	Soğutucuların Isı Dağılımı	90
6.2.1.	Soğutma Parçası – 1 Isı Dağılım Verileri	91
6.2.2.	Soğutma Parçası – 2 Isı Dağılım Verileri	92
6.2.3.	Soğutma Parçası – 3 Isı Dağılım Verileri	93
	SONUÇLAR	95
	KAYNAKÇA	98
	ÖZGEÇMİŞ.....	102

KISALTMALAR

DC	: Doğru Akım
TEC	: Termoelektrik Soğutucu
TE	: Termoelektrik
TEM	: Termoelektrik Modül
CNC	: Computer Numerical Control – Bilgisayarlı nümerik kontrol
ΔT	: Sıcaklık Farkı
ΔV	: Gerilim Farkı
P	: Özdirenç
COP	: TE performans katsayısı
CAD	: Bilgisayar Destekli Üretim
τ	: Tomson Katsayısı
GND	: Ground – Topraklama
DQ	: Data Giriş / Çıkış – Data in / out
VDD	: Power supply Voltage – Besleme gerilimi
NC	: No Connect – Pin Boş
SLA	: Stereo litografi teknoloji
PLA	: Polilaktik Asit
COP	: Soğutma gücünün elektrik tüketimine oranı.
Q	: Soğutma gücü
W	: Elektrik tüketimi
ΔT_{max}	: Elde edilebilecek maksimum sıcaklık farkı
T_m	: Ortalama Sıcaklık
R_p ve R_n	: Elektriksel dirençler
K_p ve K_n	: yarı iletkenlerin ısı iletme kapasiteleri
T	: Termoelektrik modülün yüzeylerinin ortalama sıcaklığı
K	: Isıl iletkenliği
R	: Elektrik direnci
Z_T	: Yarı iletken malzemenin değer katsayısı
SP	: Soğutma Parçası
AL	: Alüminyum
Si	: Silisyum
Mg	: Magnezyum

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1 Potansiyel Gerilim Altındaki Peltier Etkisi (Url – 1).....	9
Şekil 2 N Tipi Termoelektrik Eleman (Kavak, 2014).....	10
Şekil 3 Bi ₂ Te ₃ ve Zn ₄ Sb ₃ Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri (Kavak, 2014).....	11
Şekil 4 Pbte ve Snte Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri (Kavak, 2014).....	11
Şekil 5 (Pb, Te) Te ve Sige Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri (Kavak, 2014).....	12
Şekil 6 Cefe ₄ sb ₁₂ ve TAGS Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri (Kavak, 2014).....	12
Şekil 7 TEC İyapısı ve Yüzey Isı Dağılımını (Çakmaz, 2019).....	13
Şekil 8 TEM üretimi süreç şeması (LeBlanc, Yee, Scullin, Dames, & Goodson, 2014).....	14
Şekil 9 Temel Metal Tozu Eklemeli İmalat Teknolojileri (Url – 2).....	15
Şekil 10 Toz Yatak Üretim Döngüsü (Url – 2).....	16
Şekil 11 Toz yatak üretim döngüsü Url – 2.....	16
Şekil 12 SLA Yansıma Yöntemi – 1 (Öngül, 2017).....	17
Şekil 13 SLA Yansıma Yöntemi (Öngül, 2017).....	17
Şekil 14 TEC - 12710 Modülü (Tosun, 2014).....	20
Şekil 15 TEC Modül Teknik Özellikleri (Url – 6).....	21
Şekil 16 TEC Modül Voltaj Analizi (Ağaçayak, Neşeli, Yalçın, & Terzioğlu, 2017).....	22
Şekil 17 TEC Modül Akım Analizi (Ağaçayak, Neşeli, Yalçın, & Terzioğlu, 2017).....	22
Şekil 18 TEC Modül Güç Analizi (Ağaçayak, Neşeli, Yalçın, & Terzioğlu, 2017).....	22
Şekil 19 TEC Üç Boyutlu Model Yapısı (Url – 2).....	23
Şekil 20 TEC Termokupl Soğuk Yüzey Isıl Dağılım Analizi (Pheba, L., & S.Joyal, 2014).....	24
Şekil 21 Termoelektrik Modül Sıcak yüzey ısıl dağılım analizi (Pheba, L., & S.Joyal, 2014).....	24
Şekil 22 TEC Modülün potansiyel dizi sıcaklık dağılımı (Pheba, L., & S.Joyal, 2014).....	24
Şekil 23 TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği – 1 (Meng, Wangb, & Zhang, 2013).....	25
Şekil 24 TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği – 2 (Meng, Wangb, & Zhang, 2013).....	26
Şekil 25 TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği – 3 (Meng, Wangb, & Zhang, 2013).....	27
Şekil 26 TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği – 4 (Meng, Wangb, & Zhang, 2013).....	27
Şekil 27 Arduino NANO Devre Kartı.....	28
Şekil 28 Arduino UNO Devre Kartı Bağlantı Elemanları.....	28
Şekil 29 DS18B20 (Url - 4).....	29
Şekil 30 DS18B20 Isı Sensörü (Url - 5).....	29
Şekil 31 S18B20 Veri Grafiği(Url - 4).....	30
Şekil 32 DS18B20 Isı Sensörü Mikroişlemci Bağlantı Şeması.....	31
Şekil 33 DS18B20 Isı Sensörü.....	31
Şekil 34 Lazerli birleştirme şematik gösterimi (Yeşildağ, 2020).....	33
Şekil 35 Lazer ile tel beslemeli eklemeli imalat sistemi (Yeşildağ, 2020).....	33
Şekil 36 Ark Kaynağı ile Eklemeli İmalat Uygulanması (Yeşildağ, 2020).....	34
Şekil 37 Doğrudan Direk Lazer Sinterleme Eklemeli İmalat Yöntemi (Bulduk, 2020).....	34
Şekil 38 Soğutucu Parça – 1 Teknik ölçüleri.....	38
Şekil 39 Soğutucu Parça – 2 Teknik ölçüleri.....	39
Şekil 40 Soğutucu Parça – 3 Teknik Çizimleri.....	40
Şekil 41 Soğutucu Parça – 1'in TEC-12710 ile Modellenmesi.....	41
Şekil 42 Soğutucu Parça – 2'in TEC-12710 ile Modellenmesi.....	42
Şekil 43 Soğutucu Parça – 3'ün TEC-12710 ile Modellenmesi.....	42
Şekil 44 Soğutucu Parça – 1'in Test Düzenegi Modellenmesi.....	43
Şekil 45 Soğutucu Parça – 2'in Test Düzenegi Modellenmesi.....	43
Şekil 46 Soğutucu Parça – 3'ün Test Düzenegi Modellenmesi.....	44
Şekil 47 Test Düzenegi Elektronik Tesiat Modellenmesi.....	44
Şekil 48 Geometrik şekillerin Üç boyutlu baskıları üst görünüş.....	45
Şekil 49 Geometrik şekillerin Üç boyutlu baskıları.....	45
Şekil 50 Model kalıbın elyaf malzeme ile sarımı.....	46
Şekil 51 Alçı döküm Kalıp Üst Yüzeyi.....	46
Şekil 52 Dalma Erozyonla yapılan elde edilen soğutma parçaları aşamaları-1.....	47
Şekil 53 Dalma Erozyonla yapılan elde edilen soğutma parçaları aşamaları-2.....	47
Şekil 54 Dalma Erozyonla yapılan elde edilen soğutma parçaları aşamaları-3.....	48
Şekil 55 Dalma Erozyonla yapılan elde edilen soğutma parçaları aşamaları-4.....	48
Şekil 56 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde Katmanın Serilmesi.....	49
Şekil 57 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde katmanın fazlalıklarının alınması.....	49
Şekil 58 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde Alüminyum Toz Alaşım Katmanının Oluşumu.....	50
Şekil 59 DMLS Eklemeli İmalat Yöntemi ile parçanın oluşumu.....	50
Şekil 60 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP1'in Ön Görünüşü.....	51
Şekil 61 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP1'in Üst Görünüşü.....	51
Şekil 62 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP1'in Yan Görünüşü.....	52
Şekil 63 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP2'in Ön Görünüşü.....	52
Şekil 64 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP2'in Üst Görünüşü.....	53

Şekil 65 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde SP2'in Yan Görünüşü.....	53
Şekil 66 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP3'ün Ön Görünüşü.....	54
Şekil 67 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP3'ün Üst Görünüşü	54
Şekil 68 DMLS Eklemeli İmalat Yöntemi ile üretilen SP3'ün yan görünüşü	55
Şekil 69 Test Modeli Üretim süreci	56
Şekil 70 Test Modeli.....	56
Şekil 71 Test Modeli yüzey montajı	57
Şekil 72 Soğutma parçası Test Haznesi montajı	57
Şekil 73 Soğutma Parçası Test Düzenegi.....	58
Şekil 74 Birden çok sensör bağlantı şeması	58
Şekil 75 Lazer Termometre	60
Şekil 76 Transient Thermal seçimi	61
Şekil 77 Malzeme data bilgisi seçimi.....	61
Şekil 78 Soğutucu Parça Tanımlanması.....	62
Şekil 79 Soğutucu Parça Tanımlanması.....	62
Şekil 80 Soğutucu Parçalar için ağ yapısı yapma.....	63
Şekil 81 Soğutucu Parçalar için Ağ yapısı geliştirme	63
Şekil 82 Soğutma Parçası-1 (SP1) analiz programındaki görünüş ve ağ yapısı.....	64
Şekil 83 Soğutma Parçası-2 (SP2) analiz programındaki görünüş ve ağ yapısı.....	64
Şekil 84 Soğutma Parçası-3 (SP3) analiz programındaki görünüş ve ağ yapısı.....	64
Şekil 85 Soğutma Parçası İçin (Environment) Kısmından Temperature Atama.....	65
Şekil 86 Soğutma Parçası İçin İki Farklı Temperature Görünüş	65
Şekil 87 Soğutma Parçaları İçin Temperature Kısımların İsimlendirilmesi	66
Şekil 88 SP1 için Isıl yüzey-1'in Isıl Parametrelerin Belirlenmesi.....	66
Şekil 89 SP1 için Isıl Yüzey-1 Alt Yüzey Geometrik Tanımlanması.....	67
Şekil 90 SP1 için Isıl yüzey-2'in Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi.....	67
Şekil 91 SP1 için Isıl yüzey-2'nin Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması.....	67
Şekil 92 SP2 için Isıl yüzey-1'in Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi.....	68
Şekil 93 SP2 için Isıl yüzey-1'in Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması.....	68
Şekil 94 SP2 için Isıl yüzey-2'nin Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi.....	68
Şekil 95 SP2 için Isıl yüzey-2'nin Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması.....	69
Şekil 96 SP3 için Isıl yüzey-1'in Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi.....	69
Şekil 97 SP3 için Isıl yüzey-1'in Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması.....	69
Şekil 98 SP3 için Isıl yüzey-2'nin Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi.....	70
Şekil 99 SP3 için Isıl yüzey-2'nin Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması.....	70
Şekil 100 Isıl Yüzey-1 ve Isıl Yüzey-2'nin Çözümleme Tanımı.....	71
Şekil 101 Isıl Taşınım hesaplanması için Total Heat Flux tanımı	71
Şekil 102 SP1'in 0 Saniye ve 0.1 Saniyedeki Isıl Dağılımı.....	73
Şekil 103 SP1'in 0.2 ve 0.3 Saniyedeki Isıl Dağılımı	73
Şekil 104 SP1'in 0.4 ve 0.5 Saniyedeki Isıl Dağılımı	73
Şekil 111 SP1'in 0.6 ve 0.7 Saniyedeki Isıl Dağılımı	74
Şekil 113 SP1'in 0.8 ve 1 Saniyedeki Isıl Dağılımı	74
Şekil 107 Soğutma Parçası – 1'in (SP1) Isı Grafiği	75
Şekil 117 Soğutma Parçası – 1'in (SP1) maksimum W/m ² ısı dağılım analizi	76
Şekil 109 Soğutma Parçası – 1'in (SP) minimum W/m ² ısı dağılım analizi	77
Şekil 119 Soğutma Parçası – 1 (SP1)'nin Isıl İletimi	77
Şekil 111 SP2'in 0 ve 0.1 Saniyedeki Isıl Dağılımı	79
Şekil 112 SP2'in 0.2 ve 0.3 Saniyedeki Isıl Dağılımı	79
Şekil 113 SP2'in 0.4 ve 0.5 Saniyedeki Isıl Dağılımı	79
Şekil 114 SP2'in 0.6 ve 0.7 Saniyedeki Isıl Dağılımı	80
Şekil 115 SP2'in 0.8 ve 1 Saniyedeki Isıl Dağılımı	80
Şekil 130 Soğutma Parçası – 2 (SP2)'nin Isıl Grafiği	81
Şekil 117 Soğutma Parçası – 2'nin (SP2) minimum W/m ² ısı dağılım analizi	82
Şekil 118 Soğutma Parçası – 2'nin (SP2) maximum W/m ² ısı dağılım analizi.....	83
Şekil 119 Soğutma Parçası – 2'nin (SP2) Isıl İletimi	83
Şekil 120 SP3'ün 0 ve 0.1 Saniyedeki Isıl Dağılımı	85
Şekil 121 SP3'ün 0.2 ve 0.3 Saniyedeki Isıl Dağılımı.....	85
Şekil 122 SP3'ün 0.4 ve 0.5 Saniyedeki Isıl Dağılımı.....	85
Şekil 123 SP3'ün 0.6 ve 0.7 Saniyedeki Isıl Dağılımı.....	86
Şekil 124 SP3'ün 0.8 ve 1 Saniyedeki Isıl Dağılımı	86
Şekil 125 Soğutma Parçası – 3'ün Isı Grafiği	87
Şekil 126 Soğutma Parçası – 3'ün (SP3) Minimum W/m ² ısı dağılım analizi	88
Şekil 127 Soğutma Parçası – 3'ün (SP3) maksimum W/m ² ısı dağılım analizi	89
Şekil 128 Soğutma Parçası – 3 (SP3)'ün Isıl İletimi	89
Şekil 129 Zamana Göre ısı parametreleri	90
Şekil 130 Test Düzenegi	91

Şekil 131 Test Bağlantıları.....	91
Şekil 132 Soğutma Parçası – 1 (SP1) Isı Dağılım Grafiği.....	92
Şekil 133 Soğutma Parçası – 2 (SP2) Isı Dağılım Grafiği.....	93
Şekil 134 Soğutma Parçası – 3 (SP3) Isı Dağılım Grafiği.....	94



TABLO LİSTESİ

Tablo 1 Performans Özellik Verileri	21
Tablo 2 TEC-12710 Teknik Özellikleri	23
Tablo 3 DS18B20 Sensörün Elektrik ile ilgili voltaj ısı parametreleri tablosu.....	30
Tablo 4 Alüminyum Safılık Parametreleri Referansı (Buluş, 2019).....	35
Tablo 5 Soğutucu Malzemelerin Teknik Parametreleri (ALUTEAM)	35
Tablo 6 Soğutucu Malzemelerin Mekanik Parametreleri (ALUTEAM).....	36
Tablo 7 Soğutucu Malzemelerin Fiziksel Parametreleri (ALUTEAM).....	36
Tablo 6 Soğutucu Malzemelerin Kimyasal Özellikleri (ALUTEAM).....	36
Tablo 6 Soğutucu Malzemelerin Termal Özellikleri (ALUTEAM).....	37
Tablo 10 Soğutucu Parça hacimsel oranları – 1	37
Tablo 11 Soğutucu Parça hacimsel oranları – 2	38
Tablo 12 Soğutucu Parça hacimsel oranları – 3	39
Tablo 13 Lazer sinterleme cihazının teknik parametreleri	55
Tablo 14 Soğutma Parçası - 1 ile ilgili Teknik veriler (Url – 5)	60
Tablo 15 Soğutma Parçası – 1 ile ilgili Teknik veriler.....	72
Tablo 16 Soğutucu parça – 1’in ısı iletim tablosu.....	74
Tablo 17 Soğutucu parça – 1(SP1)’in zamana göre ısı veri tablosu.....	75
Tablo 18 Soğutucu parça – 1(SP1)’in zamana göre ısı iletim tablosu	76
Tablo 19 Soğutma Parçası – 2 (SP2)ile ilgili Teknik veriler.....	78
Tablo 20 Soğutma Parçası – 2’nin (SP2) Şekil özellikleri verisi	78
Tablo 21 Soğutma Parçası – 2’nin (SP2) haznesi özellikleri	80
Tablo 22 Soğutucu parça – 2 (SP2)’in zamana göre ısı veri tablosu.....	81
Tablo 23 Soğutucu parça – 2’in (SP2) zamana göre ısı iletim tablosu.....	82
Tablo 24 Soğutma Parçası – 3 (SP3) ile ilgili Teknik veriler.....	84
Tablo 25 Soğutma Parçası – 3’ün Şekil özellikleri	84
Tablo 26 Soğutucu parça – 3’ün (SP3) ısı iletim tablosu.....	86
Tablo 27 Soğutucu parça – 3’ün (SP3) zamana göre ısı veri tablosu.....	87
Tablo 28 Soğutucu parça – 3’in (SP3) zamana göre ısı iletimi.....	88
Tablo 29 Soğutma Parçası – 1 Isı Dağılım Verileri	92
Tablo 30 Soğutma Parçası – 2 Isı Dağılım Verileri	93
Tablo 31 Soğutma Parçası – 3 ısı dağılım verileri	94

EKLEMELİ İMALAT İLE YÜZEYİ GÜÇLENDİRİLEN TERMoeLEKTRİK MODÜL YÜZEYİNDEKİ ISI DAĞILIM ETKİSİNİN ANALİZİ

ÖZET

Doğru akımın ile ısı kontrolüne olanak tanıyan yarı-iletken yapıdaki termoelektrik malzemeler, termoelektrik modülün yüzeyleri arasında bir ısı farkı oluşturmaktadır. Termoelektrik teknolojisi ısıtma ve soğutmanın yanı sıra, ısı farkından kaynaklı elektrik üretiminde de önemi gün geçtikçe artmaktadır. Termoelektrik modüllerde teknolojik imkânlar arttıkça değişik malzemelerin birleştirilmesiyle verimlilikleri de artmaktadır. Termoelektrik modüllerde verimlilik artışı olsa da üretildiği malzemelerin yapılarından kaynaklı kompleks yapılardan dolayı verimliliklerini sınırlayan önemli faktörlerdir. Termoelektrik modüller çalışma yapısı *seebeck* ve *Peltier* prensipleri temel alınarak tasarlanmıştır. TE modül yüzeyinde oluşturulan ısı farkından elektrik üretilebileceği gibi, elektrik enerjinin büyüklüğüne göre ısı farkı oluşabilir.

Eklemeli imalat üç boyutlu model verilerinden belirlenen geometrik nesnelere yapabilmek için üst üste koyularak katmanlar şeklinde birleştirilme sürecidir. Belirlenen geometrik şekillerin temel amacı, termoelektrik parça yüzeyinde oluşan ısının en hızlı şekilde ve malzemeye zarar vermeyecek şekilde soğutmasını sağlamaktır. Belirlenen geometrik şekillerin her bir yüzeyinin ısı dengesini doğru şekilde ayarlayarak, ısının eşit dağılımıyla sistemden hızlı ve güvenilir bir şekilde atmasını sağlamaktır. Termoelektrik parça üzerindeki soğutucu parçaların işlenen her bir maddenin temeli alüminyum alışımlı malzemeden meydana gelmiştir. Belirlenen soğutma parçaları TEC modül ölçülerinde belirlenmiştir. Belirlenen ölçülere göre soğutma parçasının uzunluğu ve genişliği, TEC modül uzunluğu ve genişliği ile eşdeğer olarak ayarlanmıştır. Parçalarının ısı dağılımını ilk olarak ANSYS analiz programında modelleyerek ısı dağılımlarını simülasyon ortamında incelenmiştir. Elde edilen veriler gerçek test ortamıyla karşılaştırmak için termoelektrik parça üzerindeki örnek geometrilerin yer aldığı soğutucuların yapısına başlanılmıştır. Alüminyum alışımdan oluşan malzemeyi tercih etme sebebimiz, işleme açısından kolay ve yumuşak olması, aynı zamanda ısı iletim katsayısı diğer metal alaşımlara göre daha kolay işlenebilmesi ve ucuz olmasıdır. Yapılan testler için belirlenen soğutma parçalarının ölçüleri küçük ebatlardadır. Parça ölçüleri küçük

olduğu için ilk olarak CNC tornada işlenmesi öngörölmüş fakat malzemenin yumuşak ve küçük olması sebebiyle makine ucu parçaya dolanmak suretiyle uç kırımına maruz kalmıştır. Bu sebepten dolayı parçalarının döküm yöntemiyle parçaların elde edilmesine karar verilerek, parçaların istenilen ölçülerde döküm yapılması için soğutucu parçaların modelleri SLA yazıcıdan model baskı yapılarak alçı kalıp oluşturulmuştur. Daha sonra alüminyum eritmek suretiyle kalıba dökülerek model alınmaya çalışılmışsa da kalıp ayrılma sürecinin başarısız olması sebebiyle bu işlem gerçekleştirilemedi. Tasarlanan geometrik soğutucuların TEC modülü ile uyumlu ve ölçülerinin eşit olması fiziki olarak bu parça modellerinin küçük yapıda olması anlamını taşımaktadır. Belirlenen model ölçütlerinin doğru olabilmesi için üretim parametrelerinin mikron boyutunda ve hassasiyetinde gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Her bir geometrik soğutucu parça bu bağlamda eklemeli imalat yöntemlerinden birisi olan direkt (Doğrudan) metal lazer sinterleme (DMLS) kullanılarak üretilmiştir. Üretilen her parça lazer ışınları ile gerçekleştirilen katmanlı imalat ile parça modelleri katman katman ve yüksek hassasiyetle üretimi gerçekleştirilmiştir. Alınan soğutma parçaları termoelektrik parçaya termal macunla yapıştırılarak eşit oda sıcaklığında ve girilen verilere uyumlu bir şekilde ölçüm yapılarak karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda deneyimiz sonlandırılarak veriler işlenmiştir.

Anahtar kelimeler: *Termoelektrik, Peltier, Geometrik soğutucular Seebeck, Alüminyum alıştırım*

ANALYSIS OF THE HEAT DISSIPATION EFFECT ON THE SURFACE OF THERMOELECTRIC MODULE REINFORCES WITH ADDITIVE MANUFACTURING.

ABSTRACT

Semi-conductive thermoelectric materials allow heat control with the direction of current to create a temperature difference between the surfaces of the thermoelectric module. In addition to thermoelectric technology (TE) providing heating and cooling effects, TE has also been increasingly important due to the temperature differences in power generation. As the technological possibilities increase in thermoelectric modules, their efficiency increases by combining dissimilar materials. Although there is an increase in efficiency in thermoelectric modules, their complex structures of the materials play an important factor in limiting their efficiency. TE modules are designed on the basis of seebeck and Peltier principles. While the electricity is generated from the temperature difference created on the surface of the TE module, temperature differences may also occur depending on the size of the electrical energy. Additive manufacturing is the process of superimposing geometric objects determined from three dimensional model data and combining them in layers. The main purpose of the determined geometric shapes is to cool the heat generated on the thermoelectric part surface without damaging the material in the fastest way. To ensure a quick and reliable way of the distribution of heat, the surface of the determined geometric shape should be correctly adjusted on the surface. The basis of each material processed by the cooling parts on the thermoelectric part is made of aluminum alloy material. The determined cooling parts are indicated in TEC module sizes. According to the determined dimensions, the length and width of the heat sink is adjusted to match the TEC module length and width. The heat distribution of the parts were firstly modeled in ANSYS analysis program and examined in the simulation environment. In order to compare the obtained data with the actual test environment, the production of coolers with sample geometries on the thermoelectric part has been started. The reason we prefer Aluminum alloy is because it is determined to be easy and soft in terms of processing, as well as its heat conduction

coefficient is easier to process than metal alloys. The dimensions of the cooling parts determined for the tests are small. Since the part dimensions are small, it was initially envisaged to be processed on CNC lathe, however, the machine tip was subjected to end breaking by entangling the part due to the soft and small material. Therefore, it was decided to obtain the parts by the casting method. The models of the cooler parts were printed from the SLA printer and a plaster mold was formed in order to cast the parts in the desired dimensions. The aluminium had to be melted in order to pour into the mold, however, this part was unsuccessful due to the failure of the mold detachment process. The designed geometric coolers are compatible with the TEC module due to their equal dimensions which demonstrates that these part models meant to be small physically. In order for the determined model criteria to be correct, the production parameters must be considered in precision and micro sizes. Each geometric cooler part is produced using direct (Direct) metal laser sintering (DMLS), which is one of the additive manufacturing methods. Each part was produced with laser beams and layering with high precision by performing additive manufacturing. The received cooling parts were adhered to the thermoelectric part with thermal paste while comparing with the data entered under equal room temperature. As a result of the comparison, our experiment was concluded and the data was processed.

Keywords: *Thermoelectric, Peltier, Geometric heatsink Seebeck, Aluminum alloy*

1. GİRİŞ

1.1. Çalışma Konusu

Enerjiye olan talep, enerji üretiminde de çeşitliliği artırmaktadır. Artan çeşitlilikte önemli unsur, temiz ve çevreci olmasıdır. Termoelektrik (TE) enerji dönüştürücüler geleceğin temiz enerji teknolojilerinden biri olarak öngörülmektedir. (Jaziri, 2019)

Mekatronik Mühendisliğinin çalışma konusunda yer alan termoelektrik, özellikle sıvı ve katı maddelerdeki ısı ile elektrik enerjisinin birbirine dönüşümünü incelemektedir. Termoelektrik etki, elektrik veya elektrik akımının meydana getirdiği ısı fark, mevcut sektörlerde kullanıma açık bir alan oluşturmaktadır. Isıl farkın etkili olması ve buna bağlı olarak gerçekleştirilecek ısı iletimleri, günümüzde bu alanda kullanılacak malzemeler ile gerçekleştirilebilir. Malzemenin doğru bir şekilde kullanılması ısı iletim sürecinde yüksek verim almasını da sağlayabilir (Köktay, 2018).

Termoelektrik parça olarak kullanılan peltier isimli elemanların yapısında P ve N tipi malzemeler bulunmaktadır. Bu malzemeler, termoelektrik prensiplerle çalışan soğutucu olarak kullanılan elektronik bir devre elemanıdır. TE cihazların en önemli dezavantajı düşük enerji dönüşüm verimliliği ve yüksek malzeme maliyeti nedeniyle hala sınırlı kullanım alanı bulunmaktadır (Kim, 2013).

Isıl iletimin iyi sağlanabilmesi, TE nin çalışma verimliliğini de etkilemektedir. Yüksek verim elde edebilmek için TE modülün yüzeyinde oluşan ısı miktarını soğurma hızı, çalışma verimliliğini de doğru orantılı bir şekilde etkilemektedir.

Çalışma konusu, TE yüzeyindeki ısının etkili bir şekilde soğurma yöntemi geliştirmesini içermektedir. Belirlenen malzeme içeriğine ait uygun geometrik şekillerden oluşan soğutucu parçalar (SP) kullanılarak, etkili bir şekilde ısı iletimini sağlamaktadır. Parçaların ısı dağılım etkisini doğru analiz edebilmek ve eşit oranlarda karşılaştırma yapabilmek için, parça yoğunluk oranları birbirlerine eşit sayısal değerler içermektedir.

Üç boyutlu baskı ve üretme ya da serbest formlu adlarıyla anılan eklemeli imalat, herhangi bir makine ile işlem yaparak çıkarılan üretim yöntemlerinin aksine,

üretilecek malzemelerin hem imalat sürecinde ucuz olması hem de yüksek verim elde etmemiz açısından avantaj oluşturmaktadır.

Daha önce çok az çalışma konusu olan eklemeli imalat ile yüzeyi güçlendirilen termoelektrik modül yüzeyindeki ısı dağılım etkisinin analizi, TE modüllerin yüzeyindeki soğutucu tabakaların geometrik yapıları yola çıkarak ilgili soğutucu parçalarının termoelektrik parça üzerindeki ısıyı hızlı soğurması ve soğutma verimliliğinin yüksek tutulması hedeflenmektedir. Bu amaçla Mekatronik Mühendisliği Yüksek Lisans programında çalışılmak üzere bu tez konusu seçilmiştir.

1.2. Tezin Amacı

Termoelektrik modülün belli bir enerji altında oluşan ısı fark özelliğinden yararlanılarak, termoelektrik parça yüzeyinde oluşan ısının, yine parça yüzeyine bağlı soğutucu parçaların geometrisinin ısı dağılımlarına etkisinin araştırılması konusunu içermektedir.

Yapılan çalışmalar ile ucuz ve etkili malzemeler kullanılması amaçlanarak, TEC modül üstündeki ısı dağılımları ve analizleri izlenmiştir. ısı dağılımları ile ısının etkili bir şekilde iletim yolu oluşturması ve maksimum verim elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda TEC modülüne değişik geometrik şekillerden belirlenerek, alüminyum alaşımlardan imal edilen soğutucular kullanılmış, TEC Modül ısı yüzeyinin soğurma analizi test edilmiştir.

Belirlenen geometrik şekillerin TEC modülünün yüzey alanı dikkate alınarak eşit dolgu alanına ve eşit boşluk oranına sahip olacak şekilde tasarlanıp, soğuma hızlarının geometrik şekillerdeki etkilerinin analizleri amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda ilk olarak üç farklı geometrik şekil belirlenmiş, belirlenen bu geometrik şekillerin ısı analizlerinin yapılabilmesi için;

- Deneysel ortam ısısı (TEC Modülünün bulunduğu cihaz) ortam ısı ölçümü yapılmış,
- TEC modül yüzeyindeki ısı ölçümü yapılmış,

- Soğutucu parçaların TEC modülü ile soğutma parçasının, bağlantı olan kısımdaki ısı miktarı ile aynı parçanın TEC modülüne bağlı soğutma parçasına olan en uzak noktasal ısı karşılaştırma simülasyon analizi yapılmıştır.

Bu çalışma ile yapılan analiz ile deney düzeneği hazırlanarak deney yapılacak bir düzenek tasarlanmış, tasarlanan düzenek ile birlikte TEC modül deneyi yapılmıştır. Belirlenen geometrik şekillerin ısı iletkenlik davranışları incelenerek TEC modülünün soğutma verimliliği ve bu verimliliğe bağlı davranış biçimleri incelenmiştir.

1.3. Tezin Hedefi

Bu tezin hedefi, termoelektrik parçanın yüzeyinde oluşan ısının, yine aynı yüzeyine bağlanan soğutucu katman ile homojen ve kararlı bir şekilde yüksek ve verimli bir ısı transfer gerçekleştirmesini sağlamaktır.

Üç ayrı geometrik yapıdaki soğutucu parça tasarlanarak, bu soğutucu parçalar içinden seçilen ısı transferi için en uygun olan soğutucu parça ile bu hedef doğrultusunda ısı transferin etkin ve kararlı bir şekilde sürdürebilmesi ve termoelektrik modülün ısı verimliliğini artırması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda model alınan geometrik soğutucuların TEC modül boyutlarında prototip üretimi gerçekleştirilmesi için direkt (doğrudan) metal lazer sinterleme eklemeli imalat yönteminden yararlanılması hedeflenmektedir.

1.4. Tezin Gerçekleşmesi ile sağlanacak faydalar

Teknolojik gelişim içinde yer alan elektrik ve elektronik sistemlerin en önemli sorunu çalışma esnasında ısı üretmeleridir. Elektrik sistemleri içeren cihazlarda, çalışmadan kaynaklı oluşan ısı enerjisi, termoelektrik modüllerin ısı farkını elektrik enerjisine çevirme kabiliyeti sayesinde, enerji dönüşümü açısından, dikkatleri üzerine çekmiştir. (Matsumoto, 2015)

Tezin gerçekleşmesi ile termoelektrik modüler parçanın üzerinde, verimliliğini etkileyen ısının, hızlı ve kararlı bir şekilde transferini sağlayarak çalışma

verimliliğini artırmayı, birçok farklı mekatronik sistemde yer alan soğutucuların daha etkili ve verimli bir şekilde kullanımını sağlayacaktır.

2. TERMOELEKTRİK MODÜLLER VE ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

2.2. Literatür Araştırmaları

TE mekatronik sistemlerde gelişimini sürdüren bir alana sahiptir. TE modülünün yapısı ve oluşturduğu sistem ile ilgili yayının az olmasına rağmen yüzey soğutma performansı ve oluşan yüzey sıcaklığı ile ilgili yapılan analizlere yönelik araştırmalar hala sürdürülmektedir. TE ile ilgili dünya genelinde yaklaşık 787000 makale yazılmıştır (URL – 1, 2020). Türkiye’de ise lisans ve yüksek lisans düzeyinde yaklaşık 590 farklı çalışma gerçekleştirilmiştir.

TE modülün çalışmasındaki en büyük problem yüzey ısısının fazla olmasıdır. Isı yüzeyini hızlı soğutması TEM verimliliği açısından büyük öneme sahiptir. Hızlı soğuma için ısı iletimi sağlayan parça eklenmiştir. Parça modeli yapılabilmesi için eklemeli imalat yöntemlerinden yararlanılmıştır. Özellikle prototip çalışmalarında, herhangi bir kalıplama ve döküm işlemine ihtiyaç duyulmadan bilgisayar programları yardımıyla tasarımı ve üretimi gerçekleştirilebilir (Karabulut, 2020). TEM kullanımı yaygınlaşması ve ticarileşmesinin önündeki en büyük engel TEM yapımında kullanılan malzemelerin performans katsayı (Z_T) değerinin küçük olmasıdır (Zeng, 2020).

TE modülün ısı yüzeyini hızlı soğutmak için ısı iletimi sağlayan malzemelerden imal edilmiş parçalar eklenmiştir. Parça modellerinin yapılabilmesi için direkt (doğrudan) metal lazer sinterleme eklemeli imalat yönteminden yararlanılmıştır. Parçaların üretiminde hassasiyet ve üretim hızının yüksek olması, birçok avantaj sağlamaktadır (Bulduk, 2020). Özellikle prototip çalışmalarında, herhangi bir kalıplama ve döküm işlemine ihtiyaç duyulmadan bilgisayar programları yardımıyla tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir (Karabulut, 2020). TE modülü için yapılan çalışmada, soğutma haznesinin üzerindeki ısı dağılımı eklenen malzemenin ısı transfer oranını ile birlikte, TEM’in iç yapısında bulunan malzemelerin narin ve hassas bir yapıda olması, ısı transfer için basınç ve ısı kaybını artırdığı

gözlemlenmiştir. Bununla birlikte yüzey alan artışı ve bu artışa bağlı ısı transferindeki artış oranı incelenmiştir (Hoi, Teh, Ooi, Crew, & Foo, 2019). Termoelektrik malzemeler ısı transferi ya da ısı pompası gibi de çalışabilir. Bu çalışma biçiminin en önemli dezavantajı TEM'in içinde termal yalıtkanlık sağlayan ve ısı transferini etkileyen yalıtım tabakasının belli bir ısı dayanımından sonra etkisini azaltması ve verimliliğini düşürmesidir. Termal yalıtkanlık sağlamak ve TEM'in ısı verimliliğini artırmak için ileri mühendislik içeren malzemeler kullanılarak ısı transferi azaltmaya çalışılmıştır (Bozkurt, 2020). TEM üzerindeki ısıyı hızlı bir şekilde imal edilebilmesi için kült alüminyum bloktan imal edilmiş soğutma parçaları da kullanılmıştır. Alüminyum alaşımın tercih etme sebebi, ısı iletim proses seçimi ile birçok uygulamaların taleplerine tam olarak cevap verebilecek özellikte ve çeşitli alaşımları içeren ürün seçeneğine sahip olmasıdır (Buluş, 2019).

TEM modülü üzerindeki ısı soğurması ısı iletim hızı ile doğru orantılıdır. Kullanılan malzemenin ısı iletimi birim zamanında aktarılan ısıyı dikkate alarak Vineet ve arkadaşları, modelleme ve simülasyon programı kullanmıştır. Sistemdeki akışı doğru bir şekilde türbülans modeli seçilerek, türbülanslı akış modeli oluşturulmuştur. Isı alıcıları ile termoelektrik soğutucu arasında bulunan iletken film ihmal edilmiş ve aralarında bulunan temasın da mükemmel olduğu varsayılmıştır. Hesaplamalarda ortam sıcaklığı 35 °C olarak belirlenmiştir. Termoelektrik soğutucunun sıcak ve soğuk yüzeylerinin sıcaklıkları 53 °C ve 14 °C olarak hesaplanmıştır (Vineet, ve diğerleri, 2017).

Çeşitli alanlarda kullanılan TEM'ler harcadıkları güce göre, sıcaklık değerlerine sahiptirler. Yapısal içeriğinde yer alan malzemelerin ısı performans değerinin yer aldığı malzemelerin bileşimini n tipi ve p tipi olacak şekilde iki ayrı yapıya sahiptir(Rull-Bravo, Moure, Fernandez, & Martín-González, 2015). Bu durum çalışma performanslarına göre, yüksek güvenilirlik uzun ömürlü olmasıyla birlikte küçük boyutlu yapıları ve çevreye duyarlı olmaları gibi birçok avantaj sağlamaktadır. TEM'lerin üretiminde ve geliştirilme süreçlerinde bağlı buldukları sistemler için performanslarının TE'de kullanılan malzemelerin performans katsayılarına dayanmaktadır (LeBlanc, Yee, Scullin, Dames, & Goodson, 2014).

Alüminyumdan yapılan soğutucular birçok elektronik cihazda kullanılmaktadır. Özellikle aşırı ısınma problemi gidermek için fan sistemli için geliştirmiş alüminyum soğutucular mevcuttur. Yüzeyindeki termal etkinin tasarım döngüsünde, dikkate alınması gereken önemli husus olarak ele alınmıştır (Wei, Karthik, Skadron, Ribando, & Mircea, 2008). TEC modüllerinin ısı iletim performansını modülün iki yüzeyinde yer alan ısı değişimlerini incelemiştir. TE modülündeki yüzey ısıları için, soğuk yüzeyde 5 °C ve sıcak yüzey için 25 °C için performans katsayısının değeri (Z_T değeri) 0,3 ile 0,5 arasında bir değere sahip olduklarını belirlemiştir. Bu sonuçlara göre performans ve verimlilik ile ilgili enerji dönüşümleri, belirtilen katsayının artması ile gerçekleşebileceğini ifade etmişlerdir (Gao, 2006). Bu veriler dikkate alınarak, TEC'in sıcak ve soğuk yüzeylerine ve ısı alıcısı modellenen bir TEC modülü için, soğutma ortamı olarak hava seçilmiştir. Isı alıcısı malzemesi alüminyum olarak belirlenmiştir. Modelleme sonucunda, doğru ve hızlı bir sıcaklık modeli oluşması, erken aşamada termal olarak optimize tasarım akışını sağladığını öngörmektir (Kim, Won, Kim, & Back, 2003).

Ortamın sıcaklığını ve onu çevreleyen ortamın sıcaklığının altına indirmek, orada tutmak üzere ısısının alınması işlemine soğutma diyerek, soğutmanın tanımını yapan Simons ve arkadaşları, TE modülü için, birçok yöntem ve teknik kullanarak, TE soğutucuların yüzey ısılarının hızlı soğutma ile verimliliklerini artıran birçok analiz çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Bununla birlikte TE yüzey ısısının hızlı soğuma sağlanması, soğutucular üzerine yapılan çalışmaları örnek göstererek TE soğutma sisteminin performansı ile karşılaştırılmıştır. Yaptıkları deneyde örnek olarak, 62x62 mm² alana sahip bir TE modülünün 275 watt gücünde çalışması ile yine aynı ebattaki 335 watt güç harcanarak 20°C bir ısı kaybı yaratabilmişlerdir. TE modül deneysel çalışmasında, TE modülünün göreceli performans faktörleri 100 °C'de işlem ile ilgili olarak, 1.5 V CMOS devreleri için çalışarak testlerini tamamlamışlardır (Simons & Chu, 2000). Yapılan çalışmalar sonucunda, sabit sıcaklıktaki çalışma performansı zorunluluğu ve değişken ortamdaki hassas sıcaklıklarda da zorunlu olduğu anlaşılmış, dinamik bir sistemin tanımlanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bunun sonucunda sıcaklık kontrolü için analog bir kontrol sistemi geliştirilmiştir (Huang & Duang, 1999).

Sonuç olarak, TE modüller genel olarak soğutma amaçlı kullanılması amaçlansa da enerji üretiminde ve karasal soğutma gibi birçok değişik mekatronik mühendisliğini kapsayan alanlar içinde kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle uzay araştırmalarında alternatif enerji üretimi için termoelektrik içerikli malzemeler veya TEC modüllerinden faydalanmaya başlanılmıştır (Chen, 1996).

2.3. Tanımlar

2.3.1. Termoelektrik Soğutucu

Isının doğrudan elektrik enerjisine veya elektrik enerjinin doğrudan ısı enerjisine dönüşümünü alan Seebeck etkisi aynı derecede, birbirinden ayrı iki metalin serbest elektron hızı ve yoğunluğu dikkate alındığında, bu ayrı metallerin birleşimi esasında elektron geçişlerini inceler. Birleşme noktaları aynı derecede olsa da oluşan elektrik alan etkisi ısı miktarına bağlıdır. Bu sebeple birleşme noktası metallerin derecesine bağlı olarak elektrik alanı da değişir. Birleşme noktalarındaki metallerin ısı farkı olması, net bir potansiyel farka sebep olmaktadır.

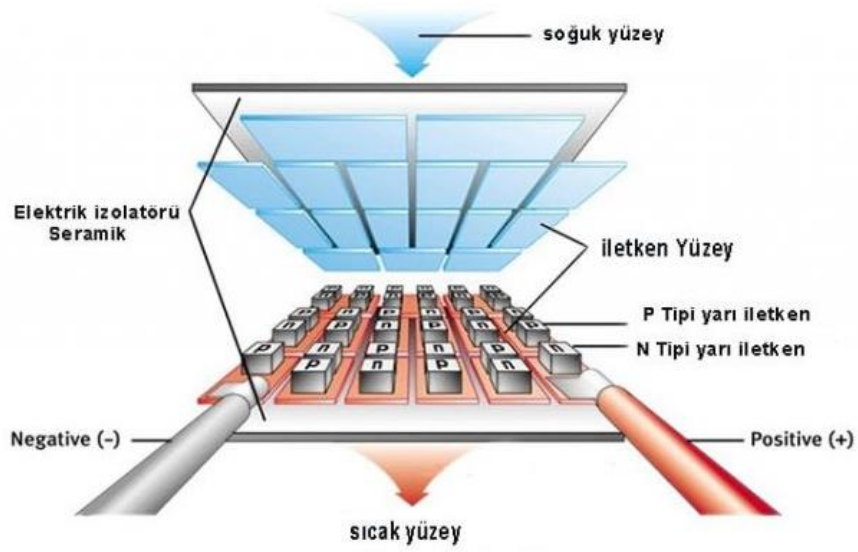
Alman fizikçi Thomas Johann Seebeck tarafından keşfedilen seebeck etkisi, iki metalin sıcaklık farkından oluşan elektrik enerjisinin oluşmasıyla gerçekleşir. Sıcaklık farkı (ΔT) artmasıyla birlikte TE Soğutucu uçları arasında gerilimi artırır. TE Soğutucu uçlarındaki gerilim (ΔV) ile ifade edilir. Oluşan sıcaklık farkı ile gerilim farkının oranına *seebeck katsayısı* denir ve α ile ifade edilir. (Denklem 2.1) (Rowe, 1995)

$$\alpha = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (2.1)$$

Peltier etkisi seebeck etkisi ile ters orantılıdır. Fransız Bilim adamı Charles Athanase Peltier tarafından keşfedilen bu etkiye göre, devreye akım geçtiğinde TE modül yüzeyindeki plakalar ısıyı akım yönüne göre ısınır veya soğur. Bu etki, peltier etkisi olarak ta ifade edilir. TEC'in soğutma performansı belirleyen parametreler Z_T ile ifade edilir. (Denklem 2.2) (Adhikari, 2017)

$$Z_T = \frac{\alpha^2}{\kappa} T \sigma \quad (2.2)$$

Termoelektrik soğutucu (TEC), üzerinde termoelektrik etki mevcut olan elektrik enerjisini ısı enerjisine veya ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüşümünün genel adıdır. DC akım etkisi altında metal telden oluşan devrenin, bir yüzeyi soğurken diğer yüzeyi ısınır. Potansiyel gerilim altında olan bir TEC modülünün etkisi Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1 Potansiyel Gerilim Altındaki Peltier Etkisi (URL – 1)

Birim zamana göre yüzeyde soğurulan ısı miktarı Q , uygulanan akım miktarı ve oluşan peltier etkisi ile doğru orantılıdır. (Dongliang & Gang, 2014)

$$Q = X_{AB}I = (X_A - X_B)I \quad (2.3)$$

$$X_{AB} = \frac{Q}{I} \quad (2.4)$$

$$X_{AB} = \alpha_{AB}T \quad (2.5)$$

Denklemden (2.1), (2.2) ve (2.3)’te yer alan X_{AB} ifadesi peltier katsayısını belirtir. (Dongliang & Gang, 2014). Sıcaklık fonksiyonu peltier katsayısı ve seçilen yüzey

alanı için her bir yük başına taşınabilen ısı gücü ifade eder. Homojen bir dağılıma sahip iletkenler ΔT sıcaklık farkı altında iken, belli bir akım yoğunluğu altında akım geçirilirse, kullanılan malzeme ve akımın yönünde bağlı olarak soğuma meydana gelir.

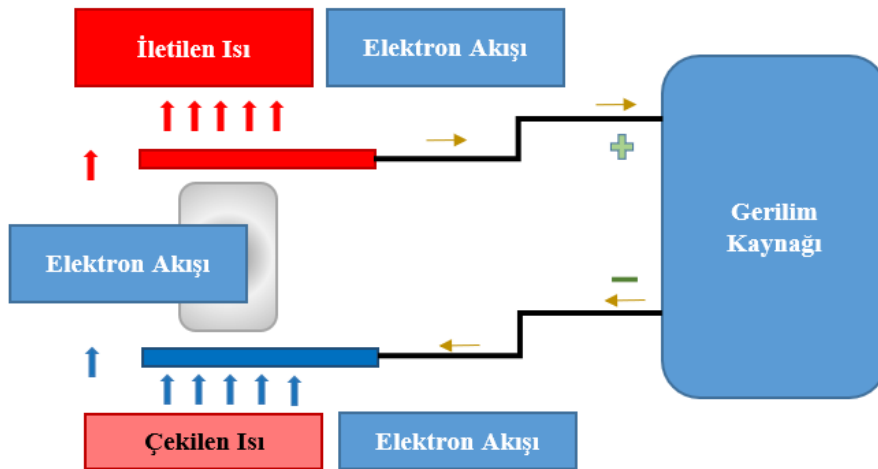
Birçok iletkende belli akım, sıcak uçtan soğuk uca doğru aktığında ısınma meydana gelir. Ters yönde akım meydana gelirse, soğuma meydana gelir. Sonuç olarak ısı miktarı, malzemenin ve akımın şiddeti ile orantılıdır.

$$q^m = p \cdot \vec{j}^2 - \tau \cdot \vec{j} \cdot \vec{\nabla} T \quad (2.6)$$

Yüzey hacim başına üretilen ısı miktarı q^m ile ifade edilir. Bu ifade ile ilgili denklem (2.4)'de verilmiştir. Bu denkleme göre p öz direnci belirtir. Birimi Ω 'dur. Bu denklemden yer alan τ ifadesi Thomson katsayısını ifade eder. Buna göre akım yoğunluğu birimi yüzey alanına göre A/m^2 dir. (Dongliang & Gang, 2014)

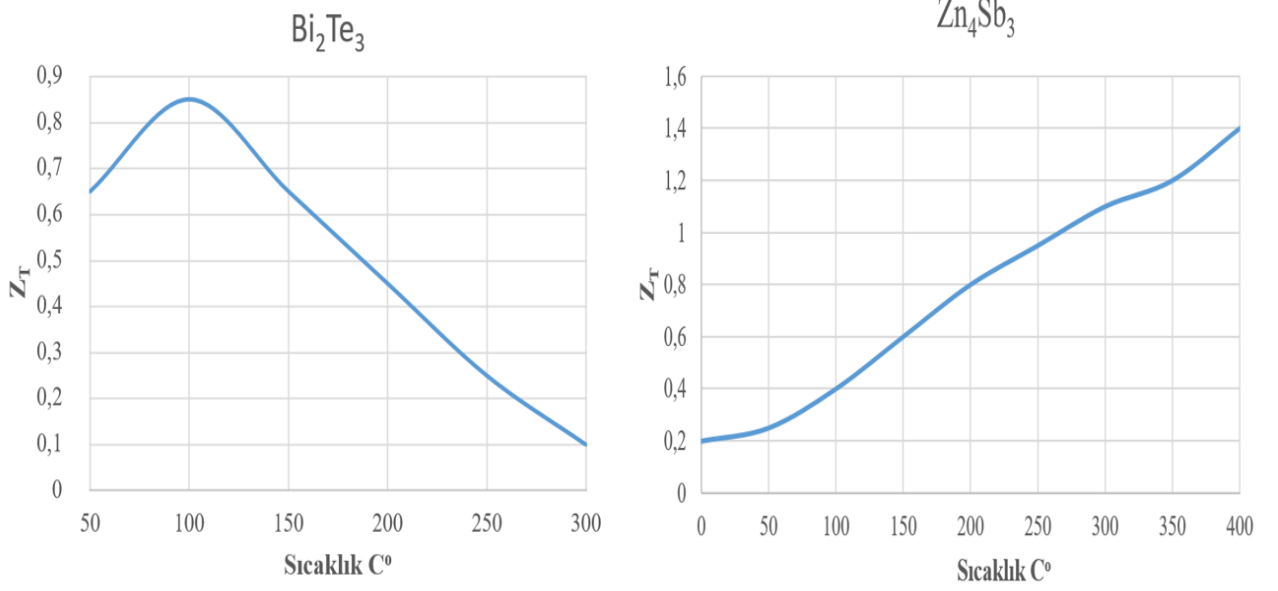
TE soğutucu, Seebeck olarak bilinen ve iki metal alaşım malzemenin birleşiminin yerlerinin farklı sıcaklığa sahip olduğu kapalı devrede devamlı elektrik akımının olduğu elemandır. (Yağmur & Taşdelen, 2019)

TE modül yarı iletken bir malzemedir. Bu yarı iletken malzemeler sıcak soğuk yüzeyleri oluşturan iki plaka arasına baskı yapılarak meydana gelir Şekil 1 de N tipi termoelektrik eleman görülebilir. (Kavak, 2014)

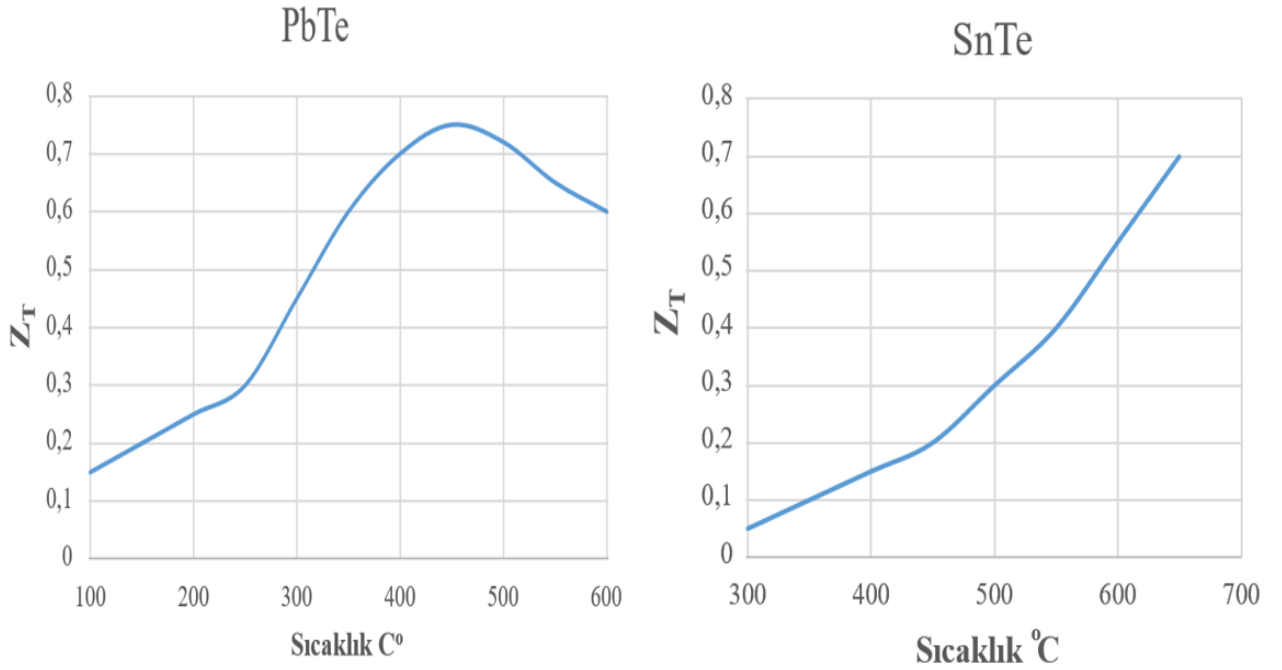


Şekil 2 N Tipi Termoelektrik Eleman (Kavak, 2014).

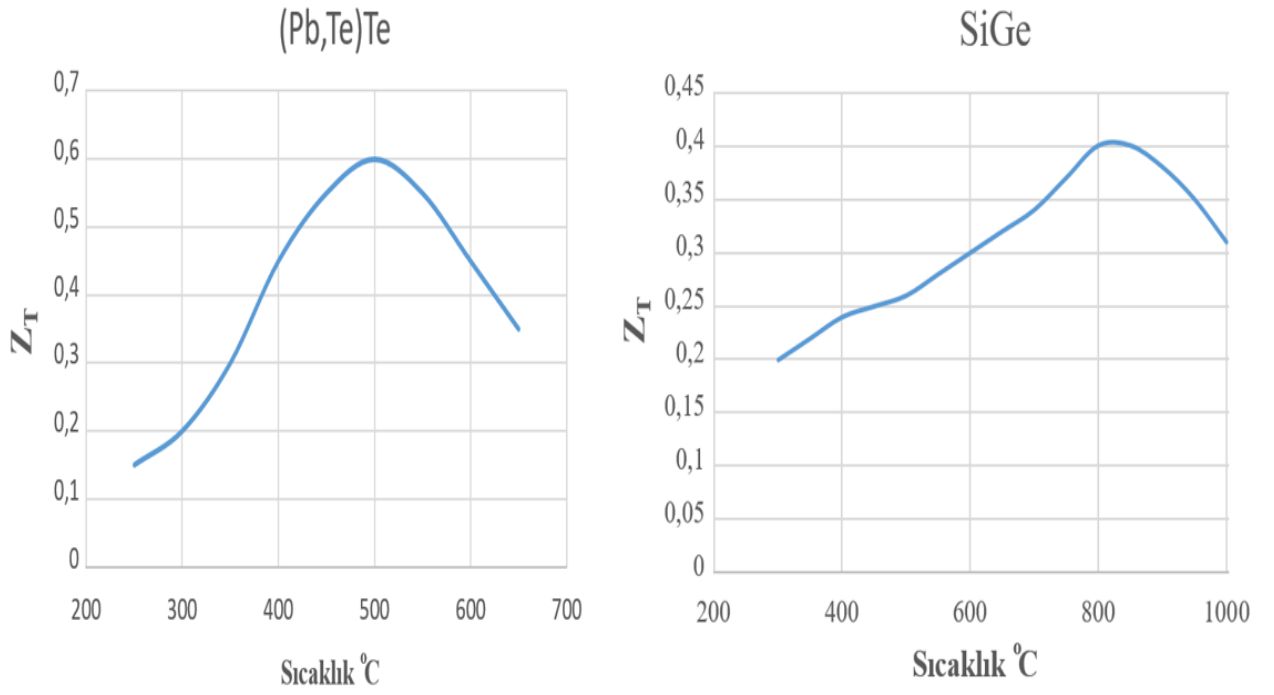
TE verimi Z_T katsayısı ile ifade edilmektedir. Değişik malzemelerden yapılmış TEC Modüllerinin içeriğindeki yarı iletkenlerden oluşan Z_T katsayılarını gösteren grafik Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’da gösterilmiştir.



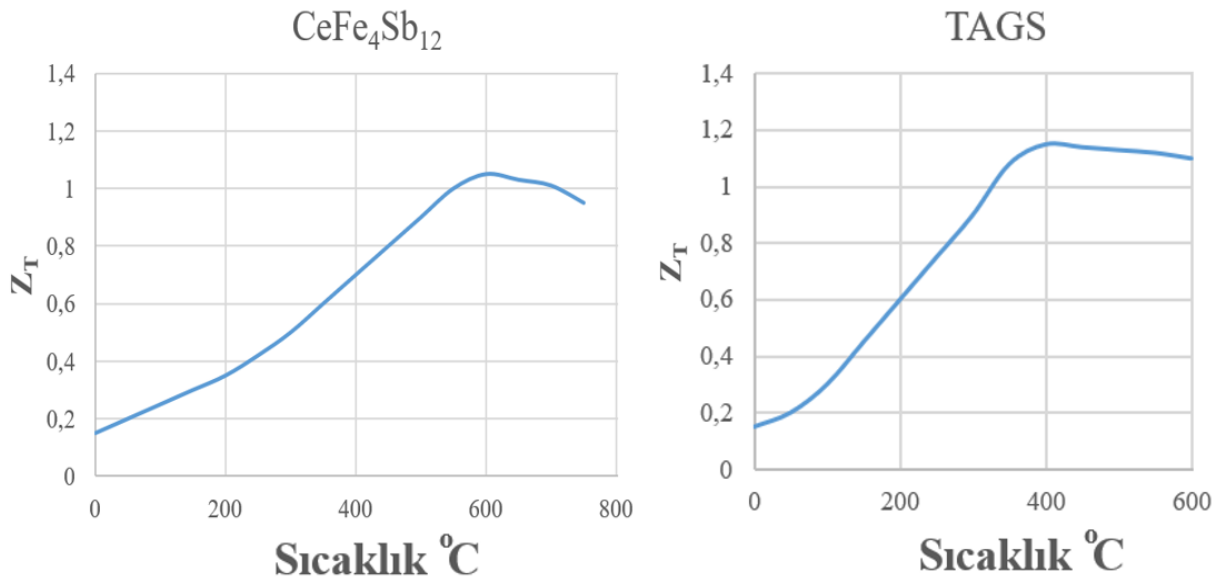
Şekil 3 Bi_2Te_3 ve Zn_4Sb_3 Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri (Kavak, 2014).



Şekil 4 $PbTe$ ve $SnTe$ Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri (Kavak, 2014).



Şekil 5 (Pb, Te) Te ve Sige Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri (Kavak, 2014).

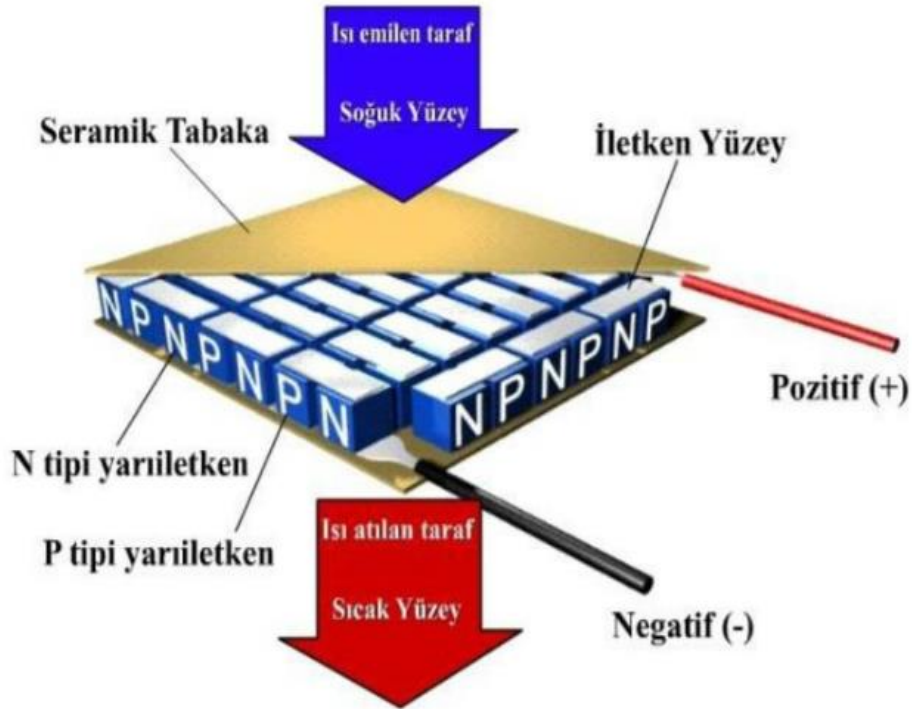


Şekil 6 Cefe₄sb₁₂ ve TAGS Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri (Kavak, 2014).

TE modülünün performansını, TE çalışma sisteminde kullanılan malzemeler ve TE tasarım şekillerini belirlemektedir.

TE'ler yapılarına göre üç ana başlıkta yapılandırılır. Bunlar yarı iletkenler, seramikler ve polimerdir. Yapılan deney ve araştırmalar sonucunda etilendioksitiofen, karbon fiber polimer kompozitlerin de yüksek termoelektrik malzeme özellikleri gösterdiği de tespit edilmiştir. (Elsheikh, 2014)

Yarı iletken malzemelerden yapılan TE'ler içeriğinde, P ve N tipi malzemeler mevcuttur. Bu malzemeler elektronik olarak seri bağlanmış olsa da ısıl transfer etki açısından paralel bağlantı yapılmıştır. Bu bağlantı sayesinde TEC küçük bir ısı pompası gibi bir yüzeyi soğurken, diğer yüzeyi ısınır. Kullanılan TEC modülünün yapısı Şekil 7'de gösterilmiştir. (Çakmaz, 2019)



Şekil 7 TEC İçyapısı ve Yüzey Isı Dağılımını (Çakmaz, 2019)

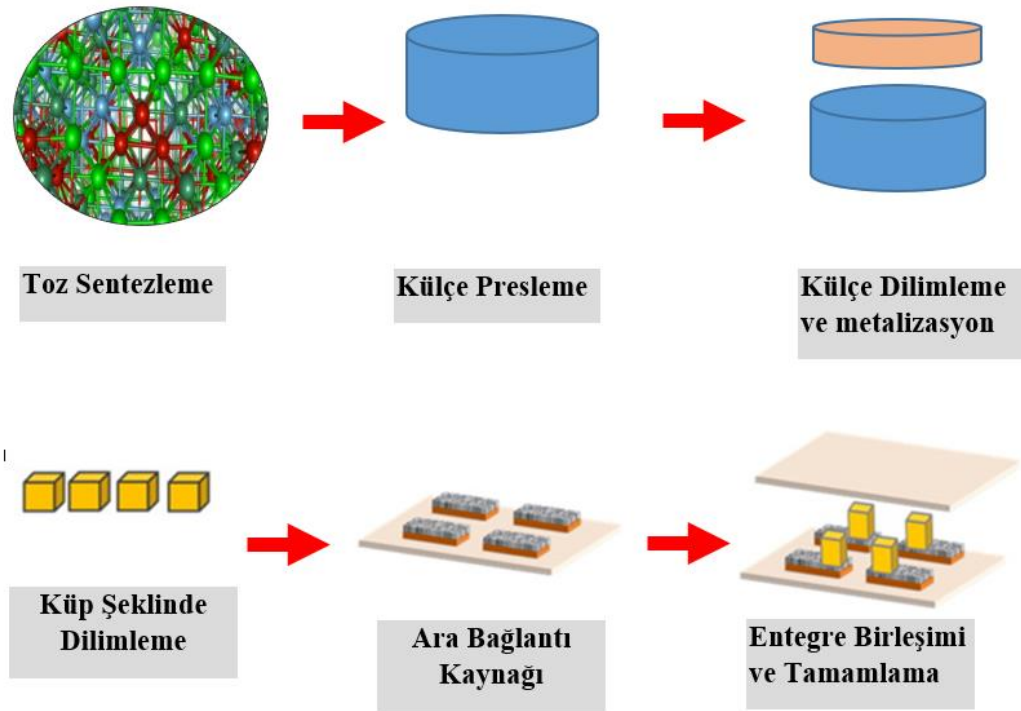
TEC'in maksimum performans katsayısı (COP_{max}) ise denklem 2.7' şeklinde yazılarak hesaplanmaktadır.

$$COP_{max} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \cdot \frac{\sqrt{1+ZT} - \frac{T_H}{T_C}}{\sqrt{1+ZT} + 1} \quad (2.7)$$

Z_T değeri sonsuza yaklaştığında verim veya COP değeri, Carnot'tır. Buna göre TEC modülündeki elektronların çalışma ortamı da performans olarak gösterdiği için Carnot sıcak motorları olduğunu şeklinde de ifade etmektedir (Rowe, 1995).

TEM'ler üretim basamakları değerlendirildiğinde kullandıkları malzeme türü ve yapısına göre değişiklik göstermektedir. Yaygın bir şekilde kullanılan TE üretim malzemeleri ve yöntemleri için belirli bir referans dikkate alınmalıdır.

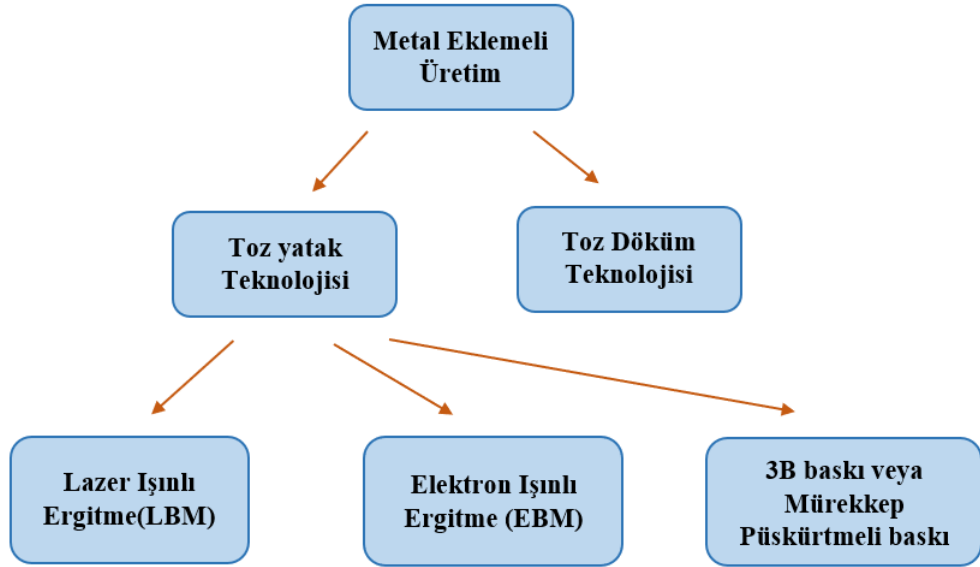
Örnek olarak belirtilen referansa göre üretim şeması Şekil 8'de gösterilmektedir. (LeBlanc, Yee, Scullin, Dames, & Goodson, 2014)



Şekil 8 TEM üretimi süreç şeması (LeBlanc, Yee, Scullin, Dames, & Goodson, 2014)

2.3.2. Eklemeli İmalat ile Üretim Teknolojileri

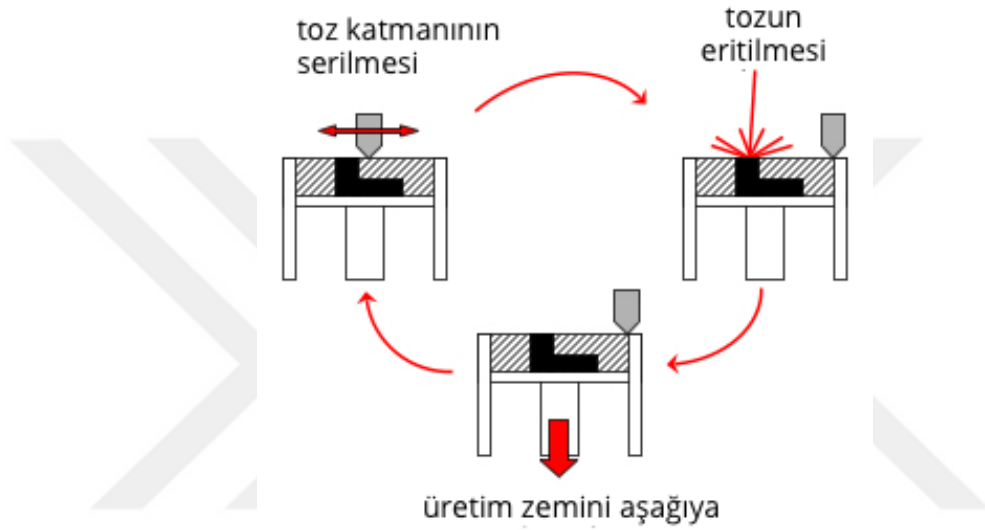
Üç boyutlu baskı modellemesinde ve oluşturulacak parçanın üst üste katmanlar şeklinde birleştirme süreci olan kullanılan eklemeli imalat, havacılık ve uzay sanayinin yanı sıra, tıp, otomotiv mekatronik, vb. gibi çeşitli endüstriyel sektörlerde de kullanılmaktadır. (Url – 2) Eklemeli imalatta genellikle ucunda belli bir ısı verilerek eğrime yolu ile katma yapılabildiği gibi, lazer teknolojileri kullanılarak ta metal imalatı katmanları gerçekleştirilmektedir. Şekil 9’da metal eklemeli imalat teknolojilerinin çalışmasını içeren şema verilmiştir.



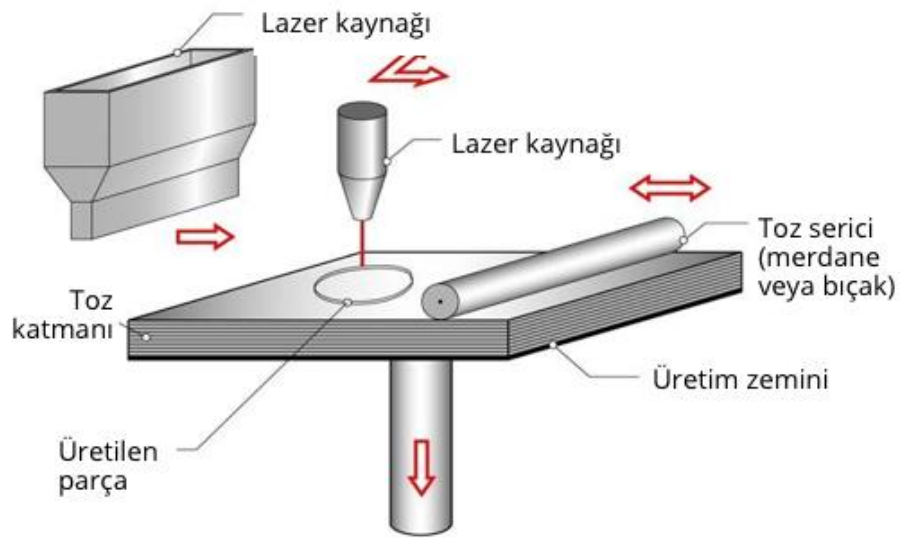
Şekil 9 Temel Metal Tozu Eklemeli İmalat Teknolojileri (Url – 2)

Analizlerde ve test düzeneğinde kullanılan soğutucu parçaların malzemeleri alüminyum alaşım içermektedir. Bu malzemelerin içeriği, $AlSi_{10}Mg$, bileşiğinden oluşan alaşımı içermektedir. Bu malzeme, iyi döküm özellik gösteren bir alaşım olup duvar yapısının ince olması ve karmaşık geometri içeren parçalar için işlenebilir olması sebebi ile kullanılmaktadır. Alaşım elementleri olan Silisyum (Si) ve Magnezyum (Mg), malzeme yapısına sertlik sağlamaktadır. $AlSi_{10}Mg$ alaşımından oluşan soğutucu parçalar, iyi termal özellik gösterdiği gibi, dinamik özellik ile birlikte düşük ağırlık gerektiren tasarımlarda da kullanılmaktadır. (ALUTEAM)

İmalat sürecinde ilk olarak basılacak parçanın şekli G koda baskı yapacak makineye atanır daha sonra baskı yapan makinede toz olarak giren hammadde ergitme yapılarak belirlenen şeklin ilk katmanı tablaya yapılır. CAD veri olacak şekil bitene kadar yaklaşık 100 mikronluk katmanlar dâhilinde işleme devam edilir. Şekil 10'da toz yatak üretim döngüsü ve bir başka üretim çeşidi olan lazer ışını ergitme olan toz yatak üretim ile ilgili döngüsü Şekil 11'de verilmiştir.



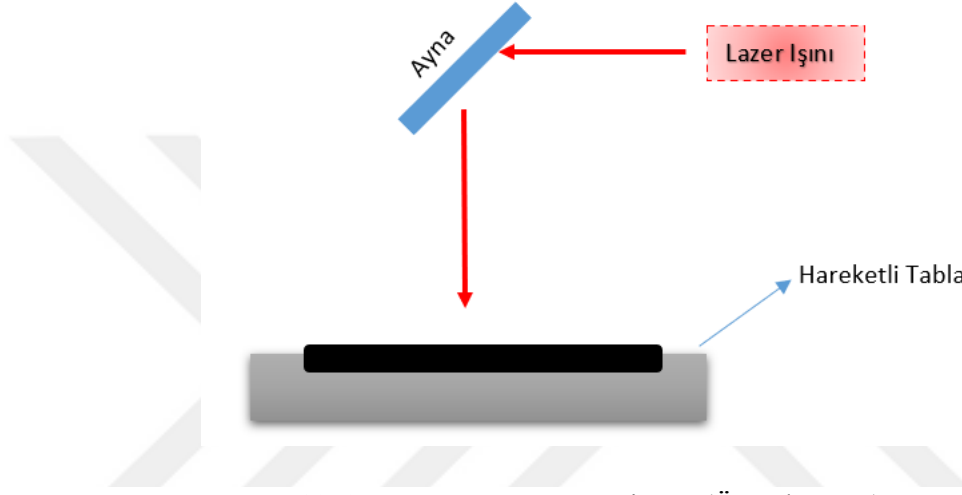
Şekil 10 Toz Yatak Üretim Döngüsü (Url - 2)



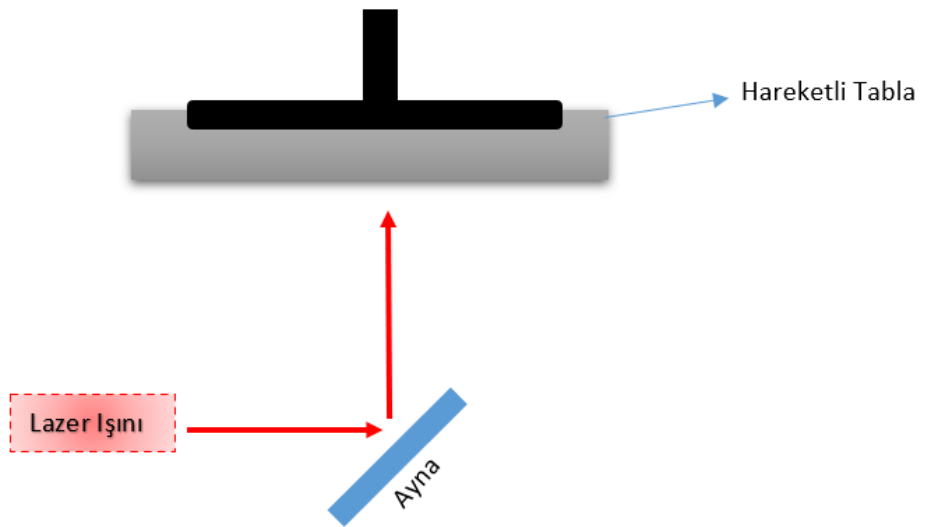
Şekil 11 Toz yatak üretim döngüsü Url - 2

Stereo litografi (SLA) yönteminde, polimer malzemelerin ışık etkisi (UV) altında değişerek çapraz bağ oluşturması ve katılaşması sürecidir (Öngül, 2017).

Stereo litografi (SLA) Yönteminde alttan yansıtma ve üstten yansıtma olmak üzere iki şekilde yansıtma uygulanır. Şekil 12 ve Şekil 13’de SLA yansıtma yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 12 SLA Yansıtma Yöntemi – 1 (Öngül, 2017).



Şekil 13 SLA Yansıtma Yöntemi (Öngül, 2017).

Alttan yansmalı sistem için polimer malzemeye uygulanır. SLA için kullanılan polimer malzemenin adına resin denilmektedir. Lazer ışını önce polimerin olduğu kaptan geçmekte daha sonra hareketli kola bağlı olan cismin içindeki sıvıyı katılaştırılmaktadır.

Sıvı içerisinde ilk katmanı kap ile bağlı bulunan, kola yapışık şekilde oluşturulur. Kol yukarı çıktıkça diğer katmanlarda bu katmanlar üzerine biriktirilerek istenilen parça oluşturulur. Üstten yansmalı sistemde ise hareketli platform sıvının içinde bulunduğu kap'tır. Kap içinde bulunan mekanizma aşağı doğru hareket ederek ikinci katman bu mekanizma üzerine biriktirilerek oluşturulur (Öngül, 2017).

2.3.3. Test Modül Kontrol Kartı

Yapılan Tez çalışmasında yer alan Test modülü, TE modülünün üzerine konulmuş soğutma parçalarından oluşan deneysel prototip yapıdır. Hazırlanan prototipte, test sırasında her bir soğutucu parçanın üzerinde, ısı dağılımını fiziksel olarak işleyen Sensörlerin gönderdiği analog sinyalleri işleyen ve sayısal verilere çeviren test kontrol kartı mevcuttur.

Test kontrol kartı içerisinde yer alan Mikroişlemci, tümleşik elektronik devrelerin oluşturduğu bir bütünlüktür. Mikroişlemci aynı zamanda birden çok veri girişini işleyip programlandığı kodlara göre sonuç atayabilmesi sebebiyle tercih edilmiştir. Test modülünde iki adet sensör bağlantısı mevcuttur. Bu nedenle Mikrodenetleyici küçük yapıda olmaları ve aynı anda birden çok gelen sinyali işleyerek yetenekte olmaları, işledikleri verilerin sonuçlarını hızlı bir şekilde aktarmaları sebebiyle tercih edilmiştir.

Mikroişlemci içinde yer alan yazılımsal kodların yer aldığı hafıza birimi oldukça küçük ölçeklidir. Bu nedenle test sırasında kullanılan Mikroişlemci en küçük hafızaya sahip modülü içermektedir. Sinyal işleme hızı ve giriş verilerine göre tepkime süresi milisaniye düzeyindedir.

3. DENEYSEL ALTYAPI

Termoelektrik modül üzerindeki ısı yüzeyin hızlı ve etkili şekilde soğutulmasını sağlamaktır. TEC modülünün en hızlı ve verimli şekilde soğuması, bağlı bulunduğu sistemi de etkili şekilde soğutmasını sağlamaya çalışmaktır. Bu kapsamda tez çalışması için yapılması planlanan test ve deney için belli aşamalar belirlenmiştir. Bu aşamalar belirlenirken yapılan test için elde edilen veriler, analiz programında yapılan analiz verileri karşılaştırılacak şekilde planlanmıştır. Buna göre;

1. TEC için yüzeyi soğutulacak modülün verilen enerji altında ısı değeri sabiti belirlenir.
2. Isınan yüzeye eklenecek soğutucular için model alınan geometrik modüllerin üç boyutlu modelleri yapılır.
3. Belirlenen modüller için analiz programı kullanılarak belirlenen ısı değerlerinde, zamana göre her bir modülün ısı dağılım değerleri incelenir.
4. İncelenen ısı değerlerinin alüminyum malzeme kullanılarak örnek modeller oluşturulur.
5. Yapılan üç boyutlu çizimler için üç boyutlu yazıcıdan SLA dan modeller oluşturulur.
6. Çıkarılan modeller için alçı kalıp ve döküm işlemi yapılacak ve soğutucu modellerin alüminyum kalıpları yapılır.
7. Oluşturulan kalıplar TEC modül üzerine birleştirilir.
8. Eklenen soğutucular ısı değerleri mikroişlemci ve ısı sensörleri bağlanarak ısı değerleri takip edilir.
9. İzole bir ortamda ortam sıcaklığı ayarlanarak soğutma haznelerinin ısı dağılımları gözlemlenir.
10. Gözlemlenen veriler analiz programındaki verilerle karşılaştırması yapılır.

3.1. Teknik parametreler

3.1.1. Termoelektrik Modül Özellikleri

Termoelektrik modülleri DC akım verildiğinde, içerdiği maddelere tepkimesi ile bir yüzeyi ısı üretirken diğer yüzeyi soğumaktadır. Kullanılacak TEC standart üretim olan TEC1-12710 modülüdür.

TEC modül ile ilgili olarak termoelektrik malzemelerin performansı Denklem 3.2.1’de verilen eşitlikte ifade edilir.

$$Z_T = \frac{\alpha^2 T}{kR} \quad (3.2.1)$$

Bu ifadede;

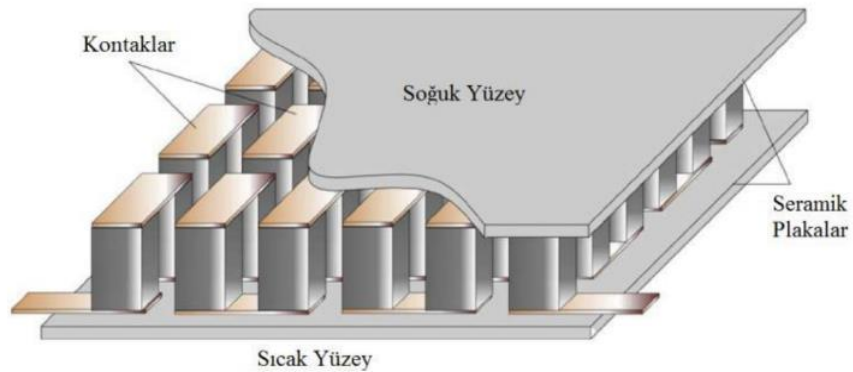
T; termoelektrik modülün yüzeylerinin ortalama sıcaklığı

K; ısı iletkenliği

R; elektrik direnci

Z_T; Yarı iletken malzemenin değer katsayısını ifade eder. (Berber, 2008)

TEC12710 TEC modül Bizmut teleryum (Bi₂TE₃) yapı içeren termoelektrik modüldür. Bu modülle ilgili görsel Şekil 14’de, performans özellik tablosu aşağıdaki Tablo 1 de verilmiştir. (Tosun, 2014)



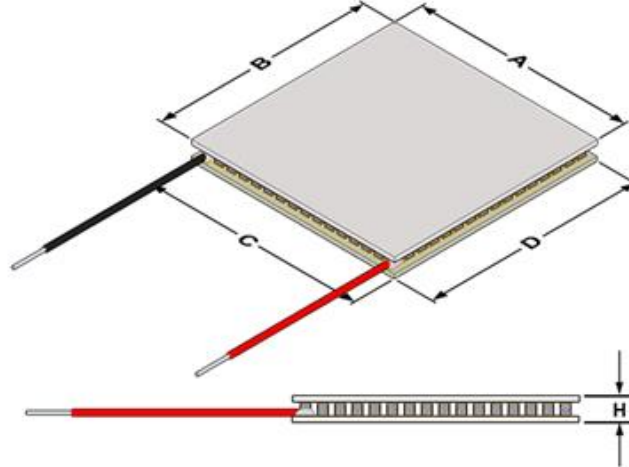
Şekil 14 TEC - 12710 Modülü (Tosun, 2014)

Tablo 1 Performans Özellik Verileri

Sıcak yüzey °C	25	50
Q_{max}	85	96
ΔT_{max}	66	75
I_{max}	10,5	10,5
V_{max}	15,2	17,4
Modül direnci Ω	1,08	1,24

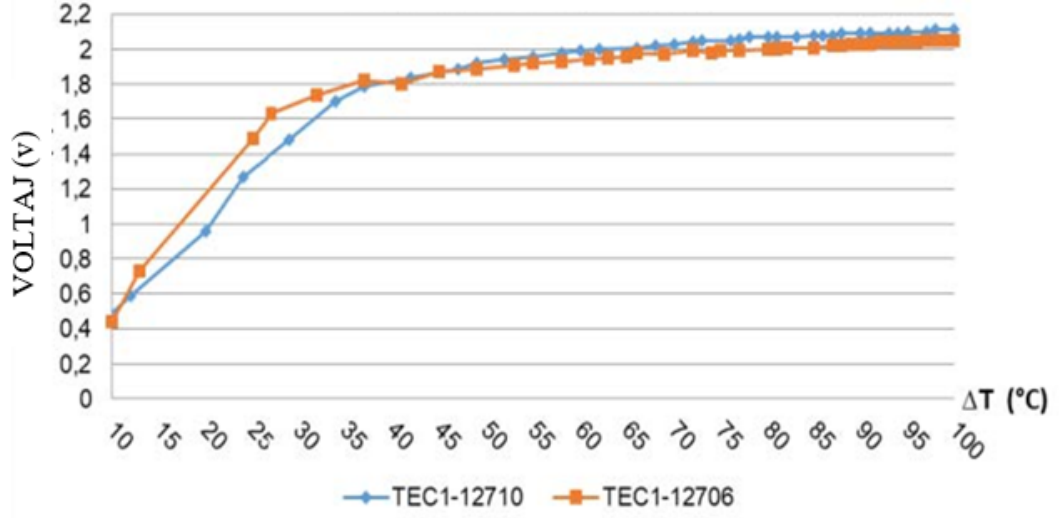
Termoelektrik modül iki taraflı seramik yüzey kaplamaya sahiptir. Bu şekilde ısı iletkenliği kolay sağladığı gibi elektriksel yalıtıklık ve mekanik mukavemette sağlanabilmektedir. TEC ile ilgili teknik detaylar Şekil 15’de verilmiştir.

A = 40 mm, B = 40mm, C=40mm, D=40mm H = 5mm Ölçülerine sahiptir.

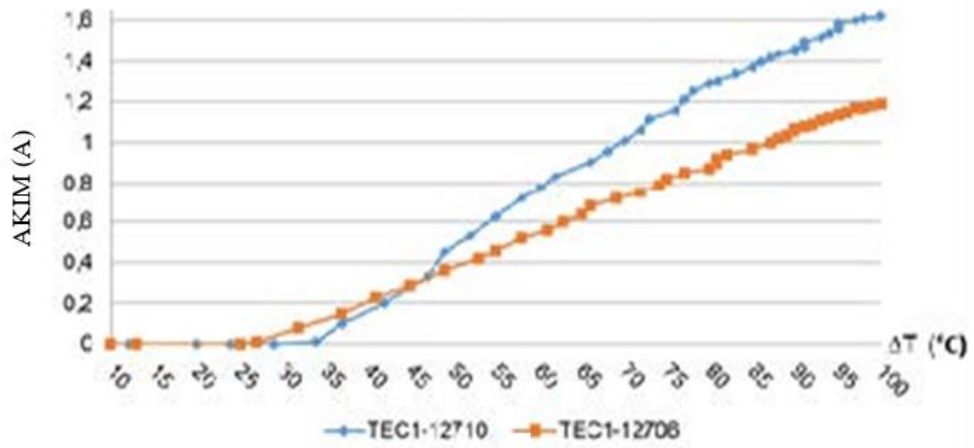


Şekil 15 TEC Modül Teknik Özellikleri (Url – 6)

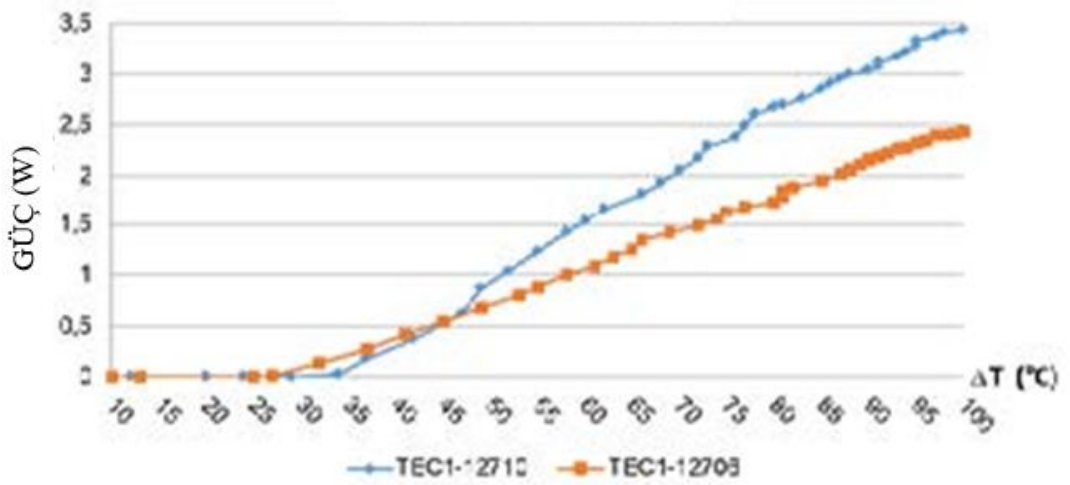
İçerdiği malzemelere göre bir te modülü çektiği akıma göre yüzey sıcaklığı içermektedir. TEC-12710 ve TEC12706 Modülünün yüzey sıcaklıkları karşılaştırma yapılarak gerilim ve akımın orantıları birlikte TEC modüllerinin güç eğrileri belirlenmiştir. Dayanım test analizinde yapılan ölçülendirmelerde elde edilen verilerle oluşturulan performans eğrileri Şekil 16 Şekil 17 ve Şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 16 TEC Modül Voltaj Analizi (Ağaçayak, Neşeli, Yalçın, & Terzioğlu, 2017)



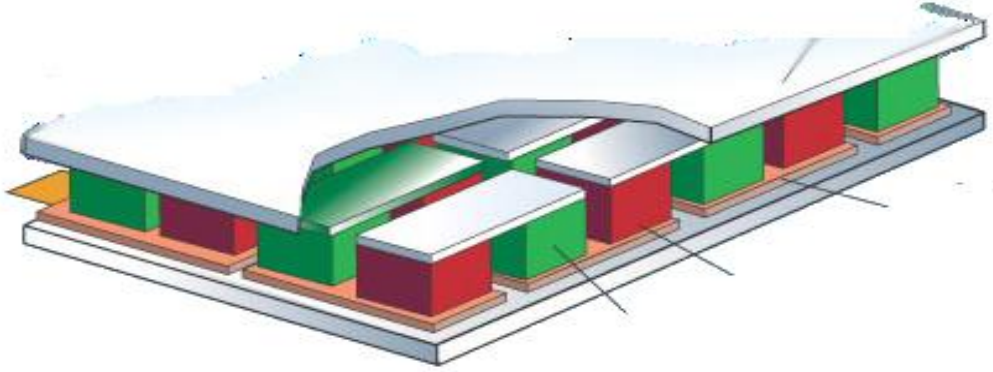
Şekil 17 TEC Modül Akım Analizi (Ağaçayak, Neşeli, Yalçın, & Terzioğlu, 2017).



Şekil 18 TEC Modül Güç Analizi (Ağaçayak, Neşeli, Yalçın, & Terzioğlu, 2017).

Verilere göre TEC – 12710 Modülünün Teknik Özellikleri Tablo – 2’de yer almaktadır.

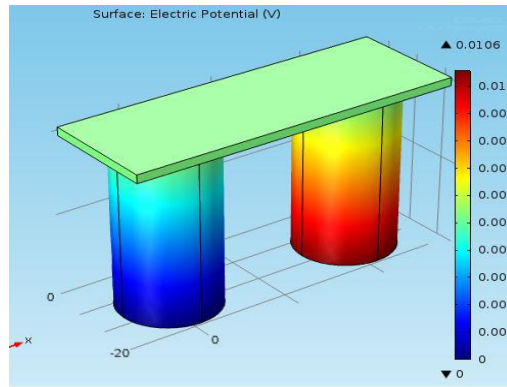
TEC modülünün Üç boyutlu model tasarım yapısı Şekil 19’da gösterilmiştir. TEC modülünün yapısında yer alan p ve n bileşiminden oluşan malzemelerinin ve üzerine kaplanan seramik kaplı yüzey malzeme görülmektedir.



Tablo 2 TEC-12710 Teknik Özellikleri

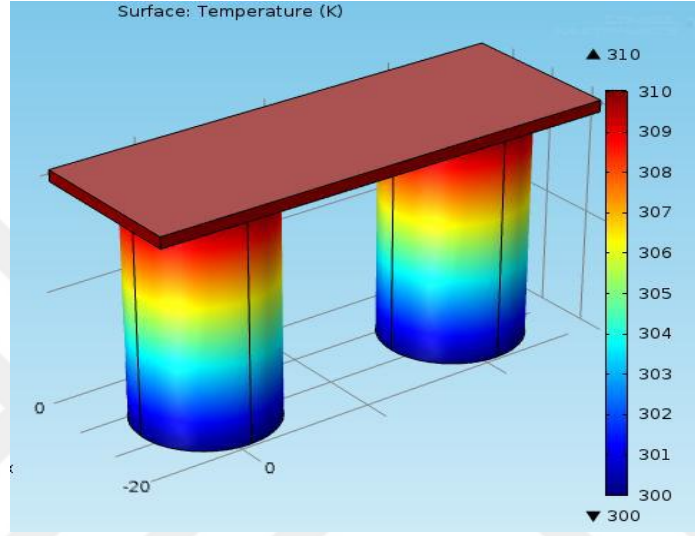
Özellikler	Minimum Değer	Maksimum Değer
Sıcak Yüzey Sıcaklığı (°C)	26	74
Soğuk Yüzey Sıcaklığı (°C)	18	-50
Q_{max} (Watt)	0	29,16
I_{max} (Amper)	0	1.8
V_{max} (Volt)	2.1	16,2
Modül İç Direnci (Ohm)	2,40	2,75
Termoelektrik Malzemesi	Bi_2Te_3	

Şekil 19 TEC Üç Boyutlu Model Yapısı (Url – 1)



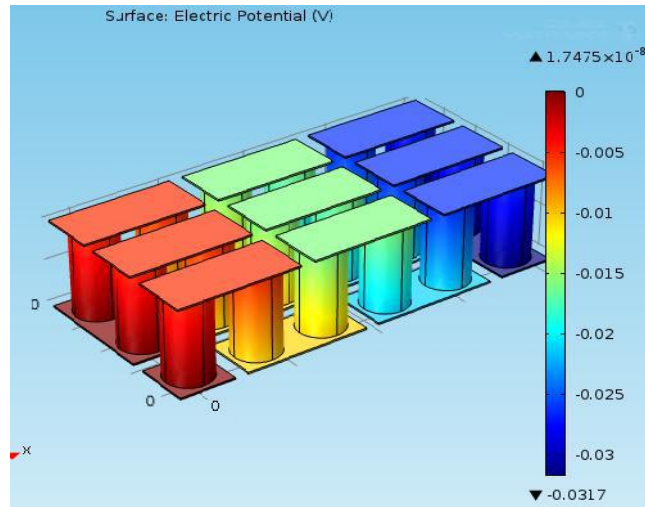
Kullanılan TEC modülünün yapısında bulunan p ve n tipi malzemelerin belirli bir akım ve gerilim altında, ısı dağılımı analizi yer almaktadır. Tek termokupul yapıya sahip TEC modülünün ısı dağılımları ile ilgili analiz Şekil 20 ve Şekil 21’de gösterilmiştir.

Şekil 20 TEC Termokupl Soğuk Yüzey Isıl Dağılım Analizi (Pheba, L., & S.Joyal, 2014).



Şekil 21 Termoelektrik Modül Sıcak yüzey ısı dağılım analizi (Pheba, L., & S.Joyal, 2014)

TEC modülün yapısındaki ısı dağılımını belirli elektrik yükü altında, dizi şeklinde sıcaklık dağılımı potansiyel olarak Şekil 22’ de gösterilmiştir.

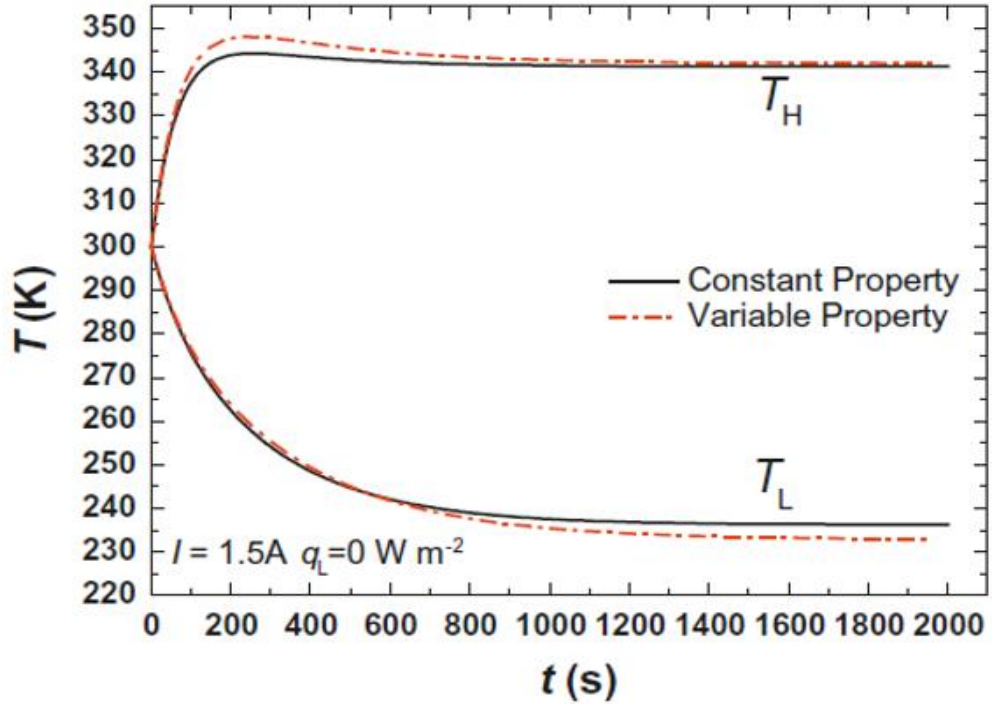


Şekil 22 TEC Modülün potansiyel dizi sıcaklık dağılımı (Pheba, L., & S.Joyal, 2014)

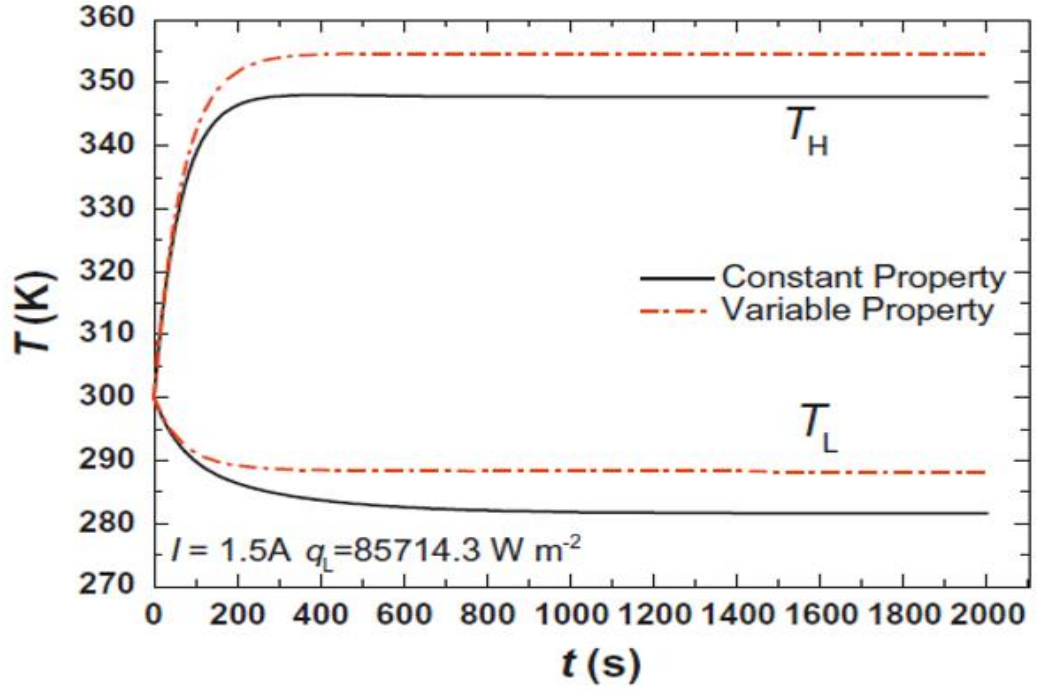
3.1.2. TEC Modül Yüzey Isı Dağılımı

Yapılan araştırmalar ve yapılan testler doğrultusunda, Termoelektrik modülün sabit yük altında ve besleme akımlarında zamana bağlı olarak ısısının arttığı ve soğuma verimliliği düştüğü görülmüştür. Herhangi bir mekanik ekleme yapılmaksızın yaptığımız test sonucunda termo elektrik modül yüzey soğuma hızı, diğer ısınma hızından fazla olduğu belirlenmiştir.

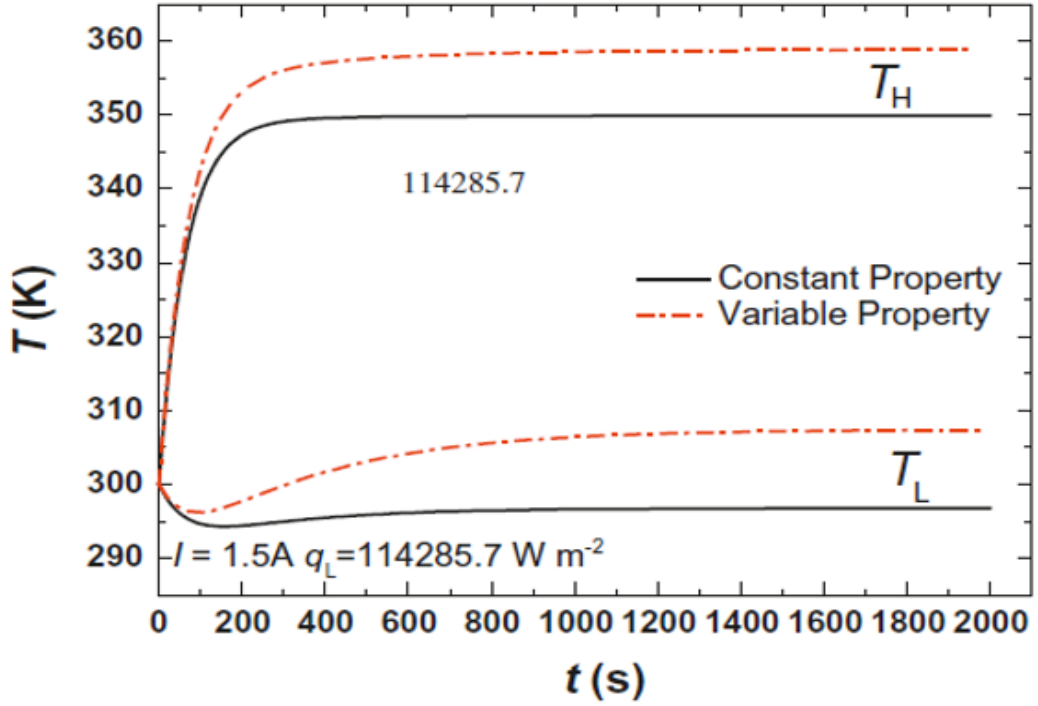
Termal iletkenliğin önemli derecede sıcaklığa bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Düşük akım değerlerinde malzeme özellikleri sabit alındığında yakın değerlerin elde edildiği fakat yüksek soğutma yüküyle beraber yüksek akım değerlerinde elde edilen sonuçların gerçek sonuçlardan farklı olabileceğini ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmadan alınan sonuçları şekil 23, şekil 24, şekil 25 ve şekil' 26'da göstermiştir. (Meng, Wangb, & Zhang, 2013)



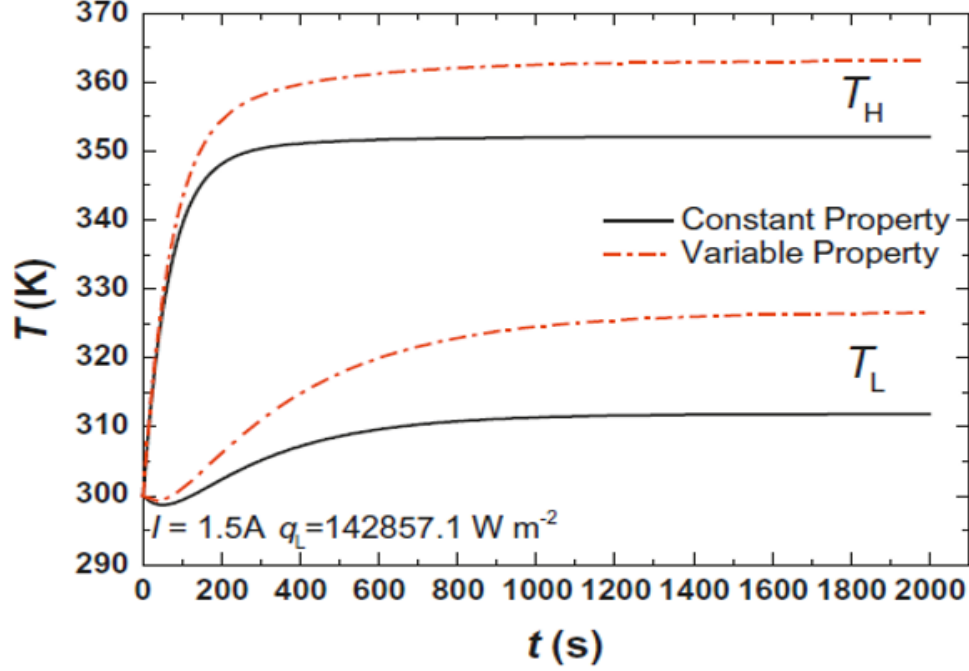
şekil 23 TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği – 1 (Meng, Wangb, & Zhang, 2013).



Şekil 24 TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği – 2 (Meng, Wangb, & Zhang, 2013).



Şekil 25 TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği – 3 (Meng, Wangb, & Zhang, 2013).

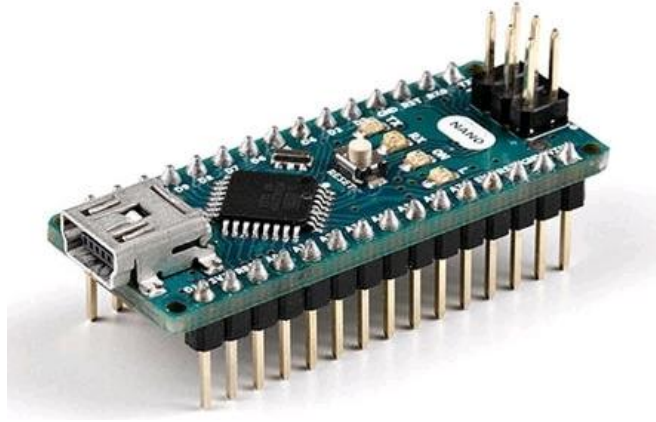


Şekil 26 TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği – 4 (Meng, Wangb, & Zhang, 2013).

3.1.3. Arduino Mikroişlemci

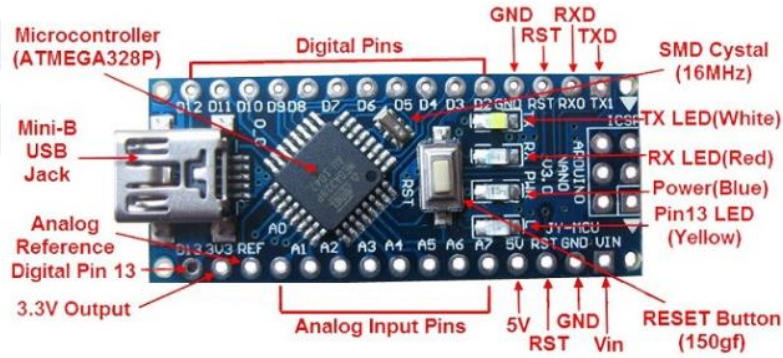
Arduino üzerindeki mikroişlemcilere göre çeşitli versiyonlara sahiptir. Bunlardan bazıları şekil gösterilmiş ve teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Arduino NANO, üzerinde ATMEL firmasının ATMEGA 328 mimarisini temel alan mikroişlemciye sahiptir. 14 adet dijital giriş / çıkış (G/Ç) pine sahiptir. Aynı anda USB girişten enerji alınarak çalıştırılabilir (İnan, 2014). Arduino NANO ile ilgili görsel Şekil 27'de gösterilmiştir.



Şekil 27 Arduino NANO Devre Kartı

Devre kartı üzerindeki bağlantı isimleri ve devre elemanları Şekil – 28’de gösterilmiştir.

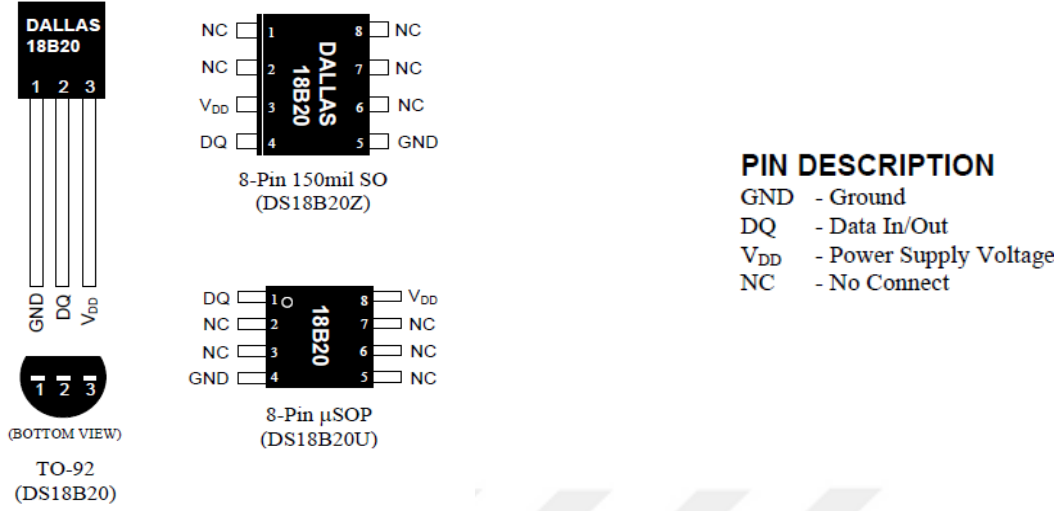


Şekil 28 Arduino UNO Devre Kartı Bağlantı Elemanları

3.1.4. Sıcaklık Ölçümü

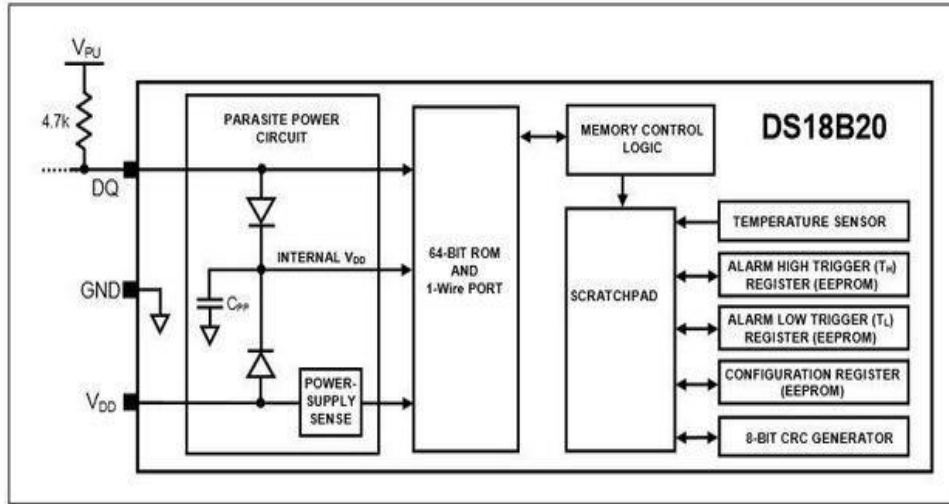
En çok kullanılan sensör çeşitlerinden biri olan sıcaklık sensörleri, birçok sektörde işlem yapılması sırasında takip edilmesi gereken önemli bir verileri sağlamaktadır. Yapılan işlemlere göre kullanılan ısı sensörleri koruyucu kılıfları içermektedir. Kullanılan kılıflar genelde metak alaşımlar içermektedir.

DS18B20 Sensörü TEC modülün ısı iletimini takip edebilmek için kullanılır. Belirlediğimiz ısı sensörü DS18B20 sıcaklık sensörüdür. Bu sensör emsallerine göre analog sinyal yerine dijital sinyal verebilmektedir. Ayrıca hassasiyeti diğer sensörlere göre daha iyidir. Sensörler ile ilgili ayak bağlantıları Şekil 29’da gösterilmiştir.



Şekil 29 DS18B20 (Url - 4)

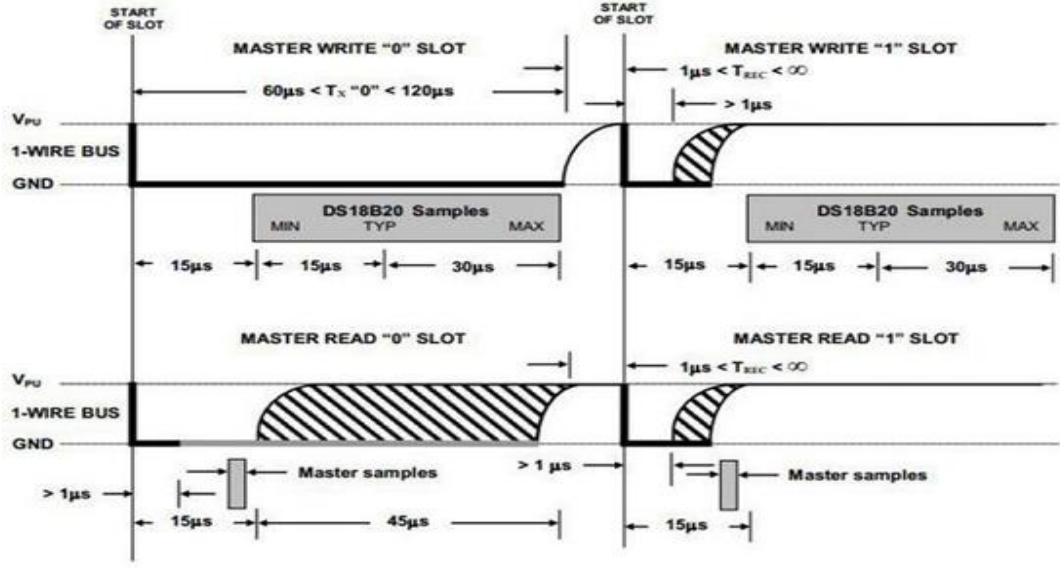
Kullanılan ısı sensörünün iç yapısını içeren blok diyagramı Şekil 30’da verilmiştir.



Şekil 30 DS18B20 Isı Sensörü (Url - 5)

Isı sensörünün ara yüzü ile haberleşme için sadece bir port pini ile bağlanabilir Data hattı üzerinden beslenebilir. TEC soğutucuların, belirlenen bir gerilim ve akım altında TEC modül ile soğutma haznesinin birleşim noktasından başlayarak, soğutma haznesinin en uç noktasındaki ısı değerini ölçmek için ısı sensörleri kullanılmıştır.

Isı sensörünün veri bilgileri için gerekli zamanlamalar, işaretlerin uygun şekilde hat üzerinden gönderme yapılır. DS18B20 ile haberleşmek için gerekli zamanlama ile ilgili görsel Şekil 31’de gösterilmiştir.



Şekil 31 S18B20 Veri Grafiği(Url - 4)

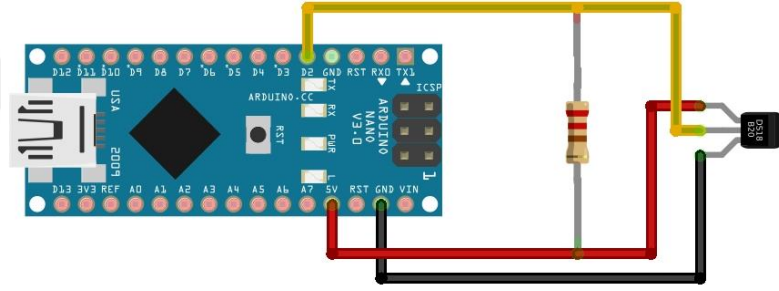
Sensörün DC enerji altında karakteristik ve Elektrik ile ilgili voltaj ısı parametreleri tablosu, Tablo 3’de belirtilmiştir.

Tablo 3 DS18B20 Sensörün Elektrik ile ilgili voltaj ısı parametreleri tablosu

Parametre	Sembol	Min.	Tip	max	Ünite
Besleme Gerilimi	V_{DD}	+3.0		+5.5	V
Yüksek voltaj besleme	V_{PU}	+3.0		+5.5	V
		+3.0		V_{DD}	
Termometre hata	t_{ERR}			± 0.5	$^{\circ}C$
				± 2	
Giriş lojik düşük	V_{IL}	-0.3		+0.8	V
Giriş lojik Yüksek	V_{IH}	+2.2		Düşük için 5.5	V
		+3.0		$V_{DD} + 0.3$	

Alçak akım	I_L	4.0			mA
Destek akım	I_{DDs}		750	1000	nA
Aktif akım	I_{DD}		1	1.5	mA
DQ giriş akım	I_{DQ}		5		μA
Sapma			± 0.2		$^{\circ}C$

Isı değeri anlık ölçme ve karşılaştırması yapılabilmesi için mikroişlemciden yararlanarak ekranda veri olarak görülmesi sağlanır. Kullanılan ısı sensörü'nün bağlı bulunduğu mikroişlemci düzeneği Şekil 32'de ısı sensörünün metal prob Şekil 33'de gösterilmiştir.



Şekil 32 DS18B20 Isı Sensörü Mikroişlemci Bağlantı Şeması



Şekil 33 DS18B20 Isı Sensörü

3.1.5. TE Modülünün Üzerindeki Soğutucuların Teknik Özellikleri

Soğutma hazneleri TEC yüzeyinde oluşan ısıyı hızlı ve etkili bir şekilde soğurması için kullanılır. Isıl iletimi katsayısı yüksek olan malzemeler tercih edilmiştir. Kullanılan her bir malzemenin soğutulacak yüzeyin uzunluğu ve genişliğine bağlı olarak, malzemenin yüksekliği ve uygun geometrik şekiller dikkate alınarak tasarlanmıştır.

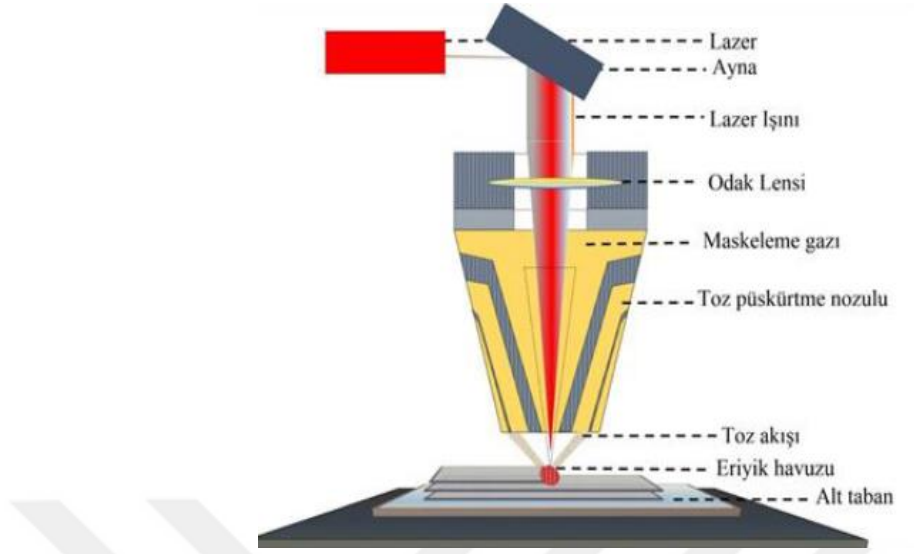
TE modülün ısı yüzeyini hızlı soğutmak için ısıl iletimi sağlayan parça eklenmiştir. Bu yöntemle soğutma haznesinin üzerindeki ısıl dağılım eklenen malzemenin ısıl transfer oranını incelemiştir. Isıl transfer sırasında, Isıl transfer oranına bağlı olarak, basınç ve ısı kaybını artırdığı bununla birlikte yüzey alan artışı ve bu artışa bağlı ısı transferindeki oranına olan etkileri gözlemlenmiştir. (Hoi, Teh, Ooi, Crew, & Foo, 2019)

3.2. Soğutucu Parça (SP) İmalat Yöntemleri

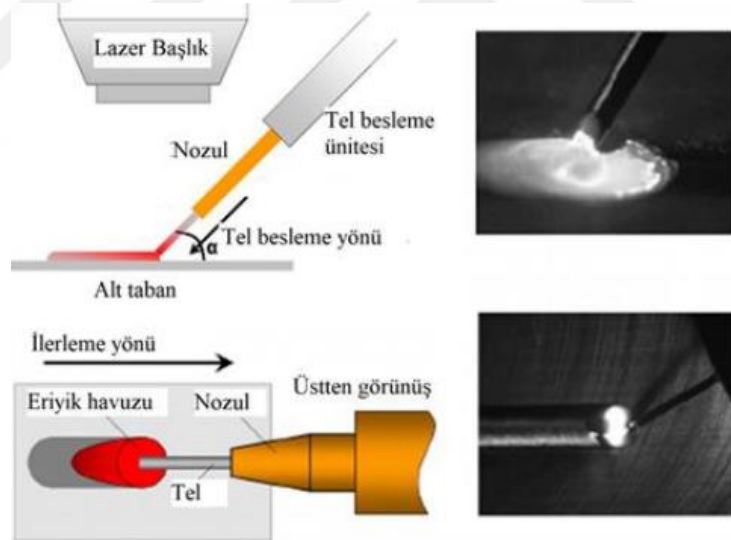
Soğutucu parçalar, ısıl iletkenliği yüksek malzemelerden yapılmaktadır. Bu malzemelerin seçilmesindeki en önemli parametreler TEC modülünde, soğutulacak yüzeyde oluşan ısının, hızlı ve verimli bir şekilde iletilebilmesini sağlamaktır. Bu parametreler göz önünde bulundurulurken üretim aşamasında kullanılan materyallerin üretim maliyetlerini minimum tutacak şekilde dikkate almak önemlidir. TEC modülünde kullanılan soğutucu parçaların ölçütleri çok küçük parametreleri içermektedir. Bu parametreler içinde, üretim gerçekleştirilmesi için çeşitli imalat yöntemleri kullanılmıştır. Bu imalat yöntemlerinde, soğutma parçalarının belirlenen teknik parametrelere uygun bir şekilde üretilebilmesi için eklemeli imalat yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Eklemeli İmalat yöntemi ile yapılan soğutucuların ısıl iletimi için çeşitli geometrik şekilleri içerir. Bu geometrik şekillerin imalatında kullanılan metal tozları, hammadde biçimi, elektron ışını lazer, gibi kaynakları içeren sınıflandırmalara sahiptir. (Yeşildağ, 2020)

Şekil 34 ile Şekil 35’de lazerli birleştirme ile tel ve lazer eklemeli imalat sisteminin yan ve üstten şematik işlem sırasındaki görüntüleri gösterilmiştir.

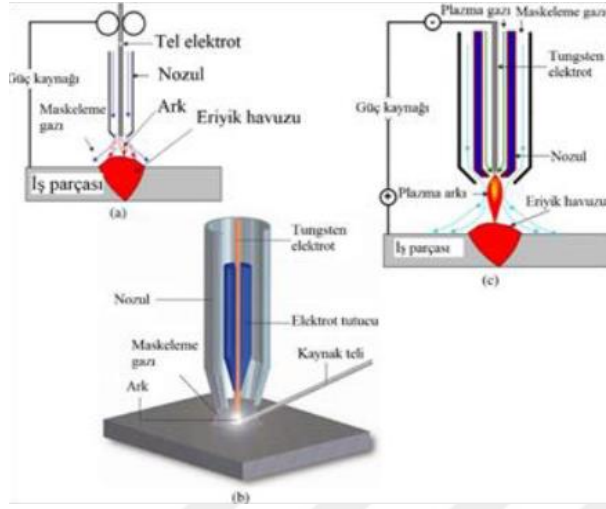


Şekil 34 Lazerli birleştirme şematik gösterimi (Yeşildağ, 2020)



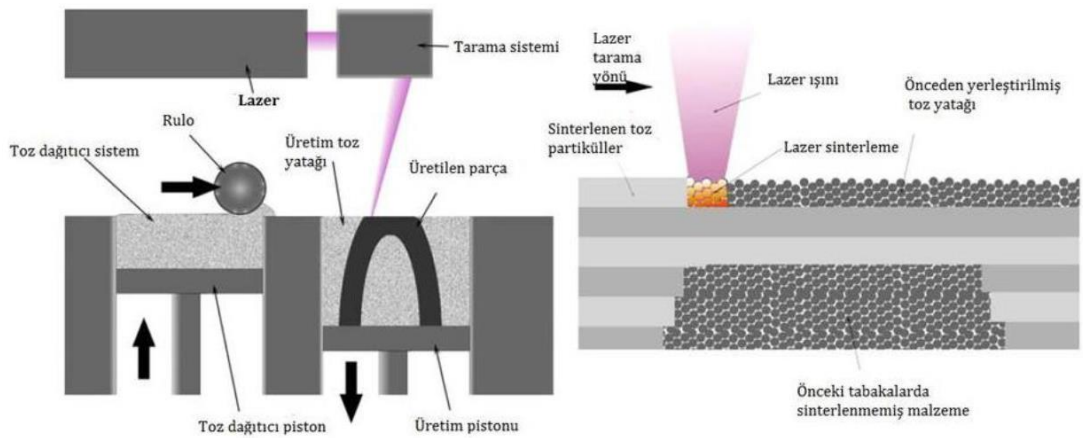
Şekil 35 Lazer ile tel beslemeli eklemeli imalat sistemi (Yeşildağ, 2020)

Tel ark eklemeli imalat yönteminde, ısı kaynağı ark sağlamaktadır, Şekil 36'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 36 Ark Kaynağı ile Eklemeli İmalat Uygulanması (Yeşildağ, 2020).

Direkt (Doğrudan) Metal lazer sinterleme eklemeli imalat yönteminde (DMLS) alüminyum toz alaşım katmanının oluşumu, lazerin gücüne bağlıdır. Belirlenen soğutucu parçaların toz halinde yer alan alüminyum alaşım malzemenin katmanlar şeklinde eğritilerek oluşturulmaktadır (Bulduk, 2020). Katmanlı üretimin bir yöntemi olan, Direkt (Doğrudan) Metal lazer sinterleme eklemeli imalat yönteminde yapılan birçok tasarımın üretim kolaylığı ve toz metal yapılardaki malzemelerden elde edilen ürünlerin üretim kolaylığı sağlaması birçok sektörde kullanımını sağlamaktadır (Bulduk, 2020). Direkt (Doğrudan) Metal lazer sinterleme eklemeli imalat yönteminin çalışma şekli ile ilgili gösterim Şekil – 37’de gösterilmiştir.



Şekil 37 Doğrudan Direk Lazer Sinterleme Eklemeli İmalat Yöntemi (Bulduk, 2020).

Başka bir imalat yönteminde, ekleme yapılan malzememin termoelektrik modülü tam olarak kaplaması için kült alüminyum blok işlenmiştir. Alüminyum alaşım, ısı iletim proses seçimi ile birçok uygulamaların taleplerine tam olarak cevap verebilecek özellikte geniş bir ürün yelpazesine sahiptir. (Buluş, 2019) Alüminyumdan yapılan soğutucular birçok elektronik cihazda kullanılır. Özellikle aşırı ısınma problemi gidermek için fan sistemli mekanizmalardan yararlanır. (Kim, Won, Kim, & Back, 2003) Soğutucular alüminyum alaşımdan imal edilmiştir. Alüminyum içerisindeki oranlara göre saflık tanımlaması yapılır. Yapılan saflık parametrelerine göre Tablo 4’de tanımlar yer almaktadır. (Buluş, 2019)

Tablo 4 Alüminyum Saflık Parametreleri Referansı (Buluş, 2019)

Alüminyum Saflığı (%)	Tanımlama
99.50 – 99.79	Ticari Nitelik
99.80 – 99.949	Yüksek Saflık
99950 – 99.9959	Süper Saflık

Termoelektrik modül yüzeyindeki termal etkinin tasarım döngüsü dikkate alınması gereken önemli husustur. Doğru ve hızlı bir sıcaklık modeli oluşması, erken aşamada termal olarak optimize tasarım akışını sağlar (Wei, Karthik, Skadron, Ribando, & Mircea, 2008). Soğutucuların uzunluğu ve genişliği TEC modülünün ölçülerinin aynısı olacak şekilde tasarlanmıştır. Yükseklikleri eşit olan soğutucular için üç farklı geometrik şekiller belirlenmiştir. Soğutucu parçalar için eklemeli imalat yönteminde kullanılan Alüminyum alaşım malzemelerin teknik özellikleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5 Soğutucu Malzemelerin Teknik Parametreleri (ALUTEAM)

Tolerans	±100 µm	
Minimum Duvar Kalınlığı	0.3-0.4 mm	
Yüzey Pürüzlülüğü		
Üretimden Sonra Temizlenmiş	Ra= 6-10 µm	Rz=30-40 µm
Shot-Peening Sonrası	Ra= 7-10 µm	Rz=50-60 µm

Soğutucu parçalar için kullanılan Alüminyum alaşım malzemelerin Mekanik özellikleri Tablo 6’de verilmiştir.

Tablo 6 Soğutucu Malzemelerin Mekanik Parametreleri (ALUTEAM)

Özellikler	Üretilen	Isıl İşlem Sonrası
Çekme mukavemeti		
Yatay (XY)	460 ± 20 MPa	345 ± 10 MPa
Dikey (Z)	460 ± 20 MPa	350 ± 10 MPa
Akma mukavemeti		
Yatay (XY)	270 ± 10 MPa	230 ± 15 MPa
Dikey (Z)	240 ± 10 MPa	230 ± 15 MPa
Elastisite Modülü		
Yatay (XY)	75 ± 10 GPa	70 ± 10 GPa
Dikey (Z)	70 ± 10 GPa	60 ± 10 GPa
Kopma Uzaması		
Yatay (XY)	% (9 ± 2)	% 12 ± 2
Dikey (Z)	% (6 ± 2)	% 11 ± 2
Yorulma Dayanımı (Dikey)	97 ± 7 MPa	
Sertlik	119 ± 5 HBW	

Soğutucu Parçalar için işlenen kült alüminyum bloklar için fiziksel, Kimyasal ve Termal özellikler Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8’de yer almaktadır.

Tablo 7 Soğutucu Malzemelerin Fiziksel Parametreleri (ALUTEAM)

Yoğunluk	2.67 g/cm ³
Göreceli Yoğunluk	99.85%

Tablo 8 Soğutucu Malzemelerin Kimyasal Özellikleri (ALUTEAM)

Element	Ağırlıkça İçerik
Silisyum	% 9 – 11
Demir	≤ %0,55
Bakır	≤ %0,05
Manganez	≤ %0,45
Magnezyum	%0,2 – 0,45
Nikel	≤ %0,05
Çinko	≤ %0,1
Kurşun	≤ %0,05
Kalay	≤ %0,05
Titanyum	≤ %0,15
Alüminyum	Ana element

Tablo 9 Soğutucu Malzemelerin Termal Özellikleri (ALUTEAM)

Özellikler	Üretim	Isıl İşlem
Isıl İletkenlik		
Yatay (XY)	103 ± 5 W/m ₀ C	173 ± 10 W/m ₀ C
Dikey (Z)	119 ± 5 W/m ₀ C	173 ± 10 W/m ₀ C
Özgül Isı		
Yatay (XY)	920 ± 50 J/kg ₀ C	890 ± 50 J/kg ₀ C
Dikey (Z)	910 ± 50 J/kg ₀ C	890 ± 50 J/kg ₀ C

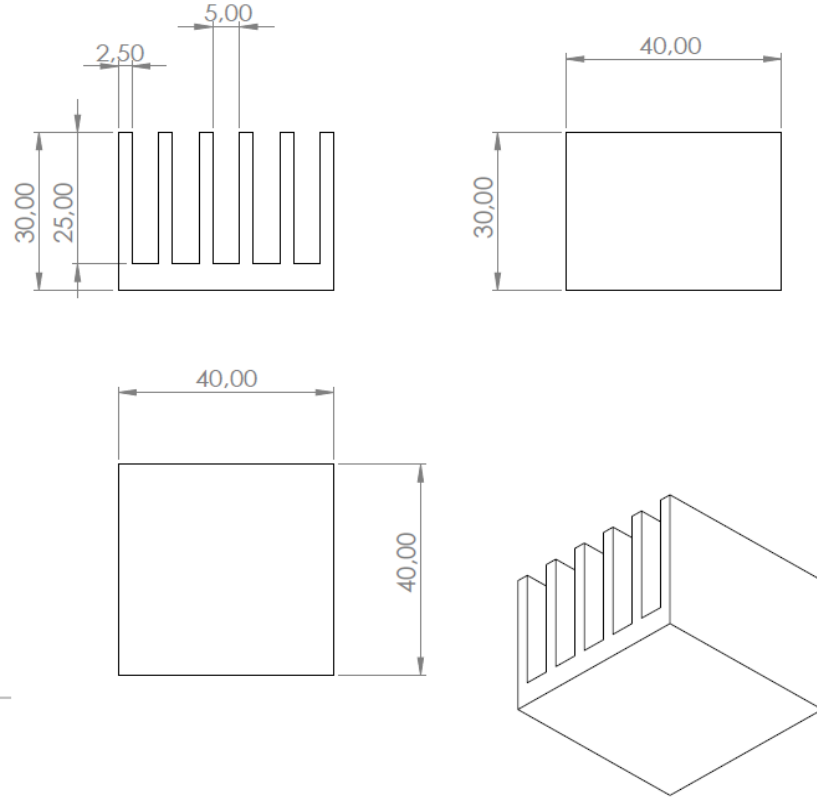
Belirlenen bu geometrik şekillerin işlenen alüminyum kült parça için belirtilen doluluk ve boşluk oranları Tablo 10, Tablo 11 ve Tablo 12’de yer almaktadır.

Belirtilen boşluk ve doluluk miktarına göre üç farklı geometrik şekil oluşturulmuştur. Bu bağlamda soğutucuların teknik özellikleri Şekil 38, Şekil 39 ve Şekil 40’da verilmiştir.

3.2.1. Isıl Soğutma Parçası – 1 için hacimsel oranlar;

Tablo 10 Soğutucu Parça hacimsel oranları – 1

Alüminyum Kült	Kaldırılan talaş	Fark	Boşlukların doluya oranı
48000mm ³	23000mm ³	25000mm ³	%52,08

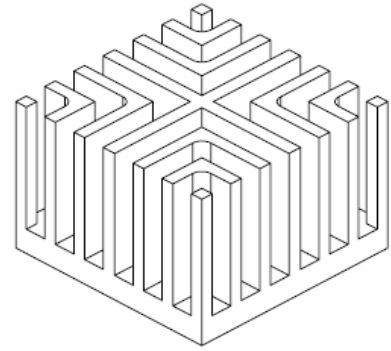
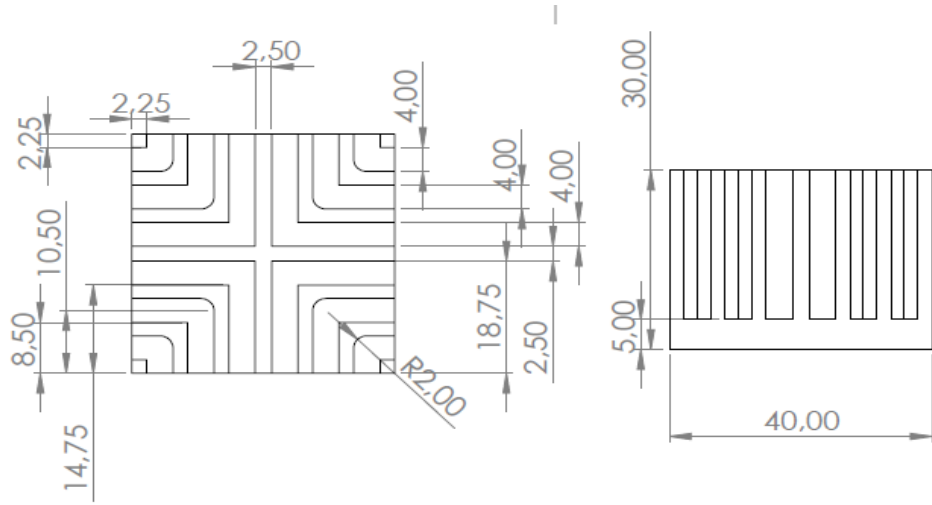


Şekil 38 Soğutucu Parça – 1 Teknik ölçüleri

3.2.2. Isıl Soğutma Parçası – 2 için hacimsel oranlar;

Tablo 11 Soğutucu Parça hacimsel oranları – 2

Alüminyum Kült	Kaldırılan Talaş	Fark	Boşlukların doluya oranı
48000 mm ³	22971mm ³	25029mm ³	%52,14

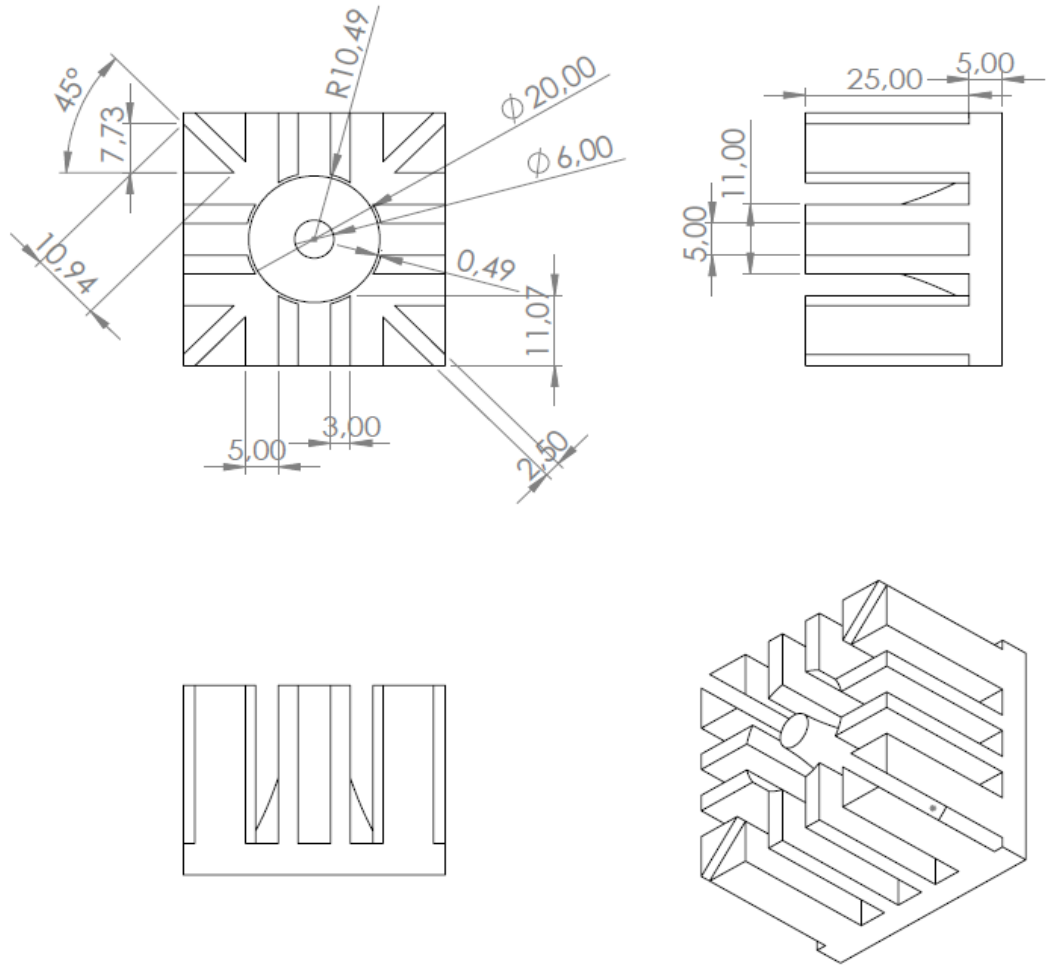


Şekil 39 Soğutucu Parça – 2 Teknik ölçüleri

3.2.3. Isıl Soğutma Parçası – 3 için hacimsel oranlar;

Tablo 12 Soğutucu Parça hacimsel oranları – 3

Alüminyum kült	Kaldırılan Talaş	Fark	Boşlukların doluya oranı
48000 mm ³	22827mm ³	25173mm ³	%52,44



Şekil 40 Soğutucu Parça – 3 Teknik Çizimleri

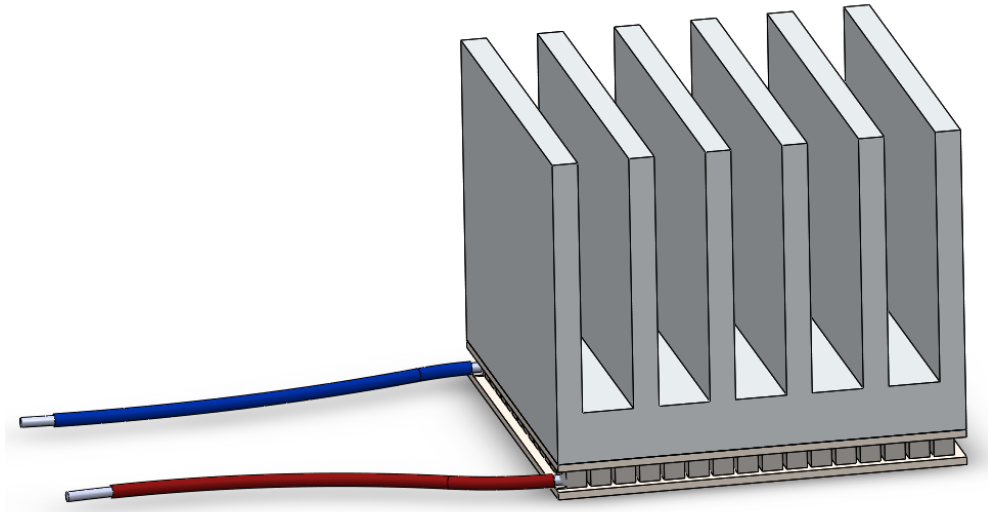
4. DENEYSEL VE SAYISAL ANALİZ METODOLOJİSİ

Soğutucuların Belirlenen geometrik şekillerinin yapılacak deneysel analize göre Oluşturulacak parçalar termoelektrik parça özellikleri kullanılarak ısı dağılımları incelenmiş, ölçümler yapılarak test edilmiştir. Sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılarak oluşturulmuş analiz verileri karşılaştırılmıştır.

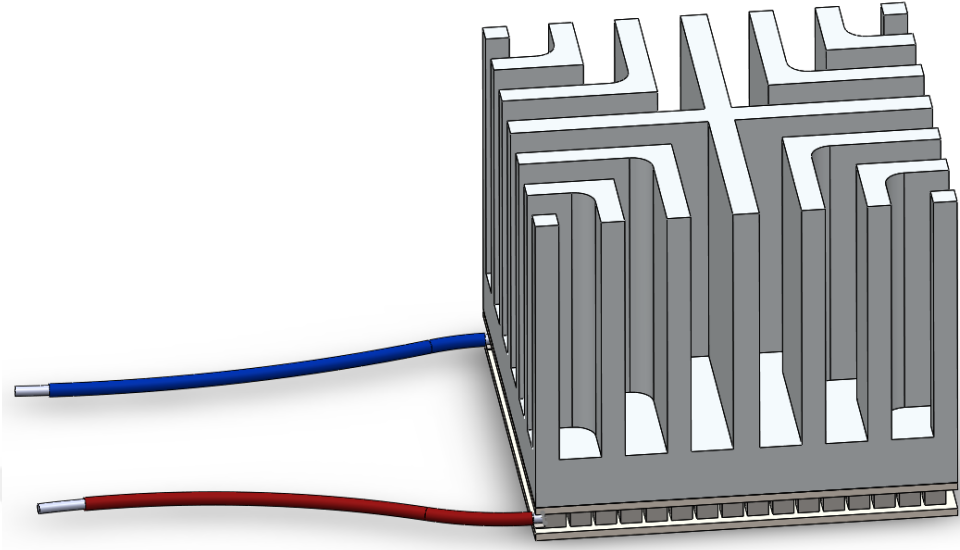
4.1. Deneysel Analiz

4.1.1. Soğutucu Parçaların Modellenmesi

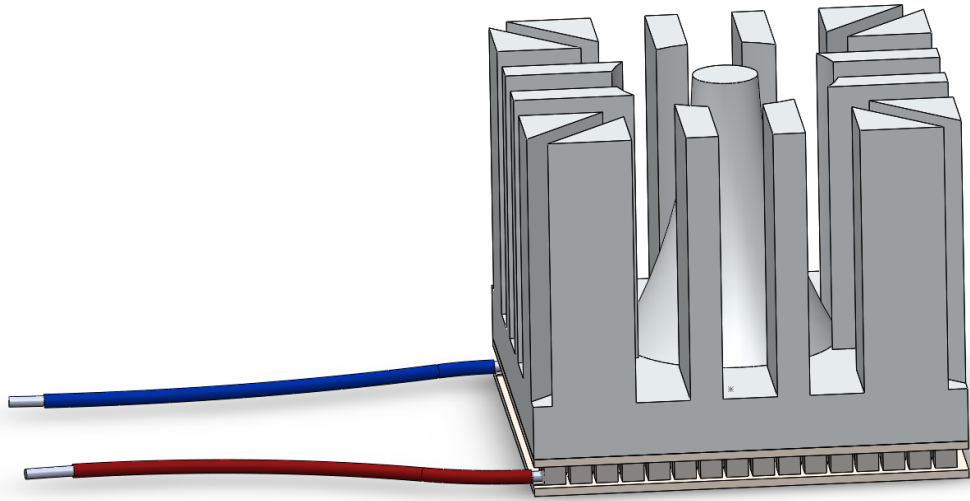
Soğutma parçalarının belirlenen geometrik şekiller dikkate alınarak çizim programında üç boyutlu olarak çizilmiştir. Çizimlerin termoelektrik modül yüzeyine tam oturacak şekilde ölçülendirilmesi ve buna bağlı olarak modellenmesi yapılmıştır. Ayrıca deney modülünün üç boyutlu çizimi ve devre bağlantı şemaları modellenerek test düzeneği geliştirilmiştir. Buna göre Şekil 41, Şekil 42 ve Şekil 43’de belirlenen geometrik şekillerin modellenmesi ve test düzeneğinin modellenmesi gösterilmiştir.



Şekil 41 Soğutucu Parça – 1’in TEC-12710 ile Modellenmesi

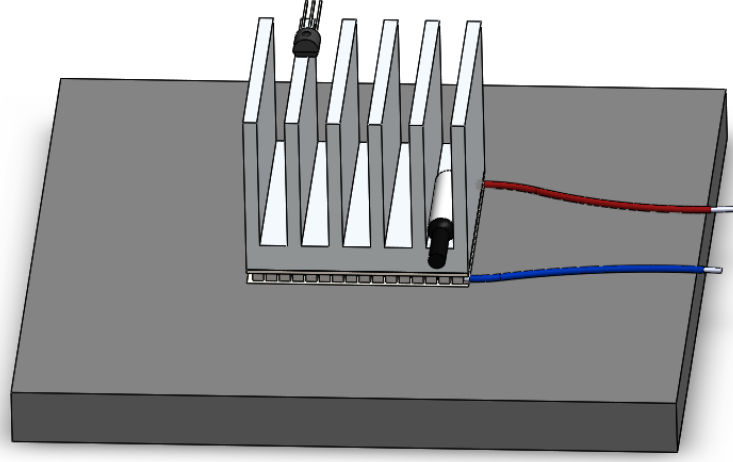


Şekil 42 Soğutucu Parça – 2'in TEC-12710 ile Modellenmesi

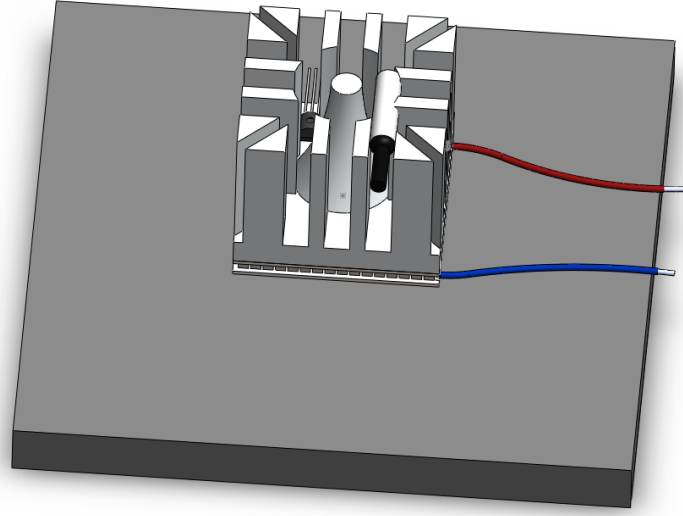


Şekil 43 Soğutucu Parça – 3'ün TEC-12710 ile Modellenmesi

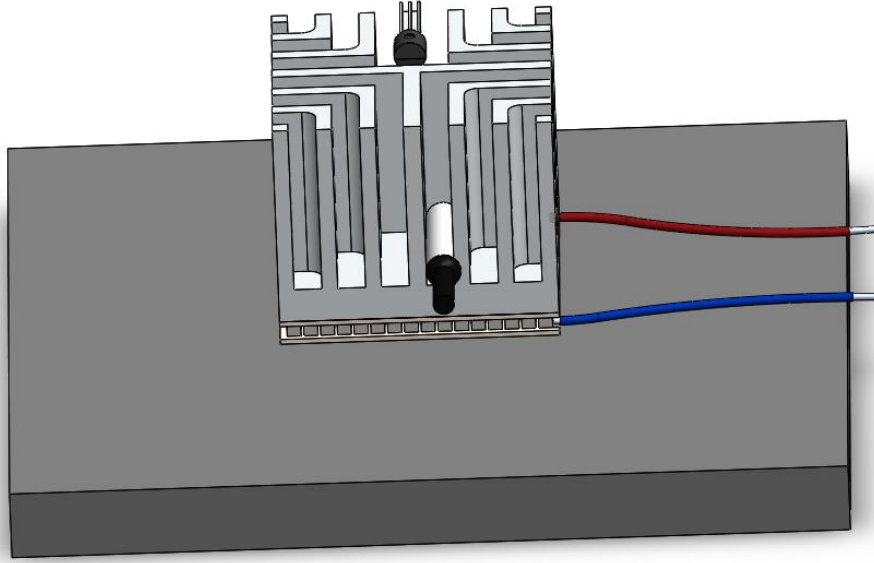
Soğutucuların test düzeneğine montajını üstlerinde bulunan ısı sensörü ve test düzeneğinin örnek modellenmesi Şekil 44, Şekil 45, Şekil 46 ve Şekil 47'de gösterilmiştir.



Şekil 44 Soğutucu Parça – 1'in Test Düzeneği Modellenmesi



Şekil 45 Soğutucu Parça – 2'in Test Düzeneği Modellenmesi



Şekil 46 Soğutucu Parça – 3'ün Test Düzeneği Modellenmesi



Şekil 47 Test Düzeneği Elektronik Tesisat Modellenmesi

4.1.2. Soğutucu parçaların işlenmesi

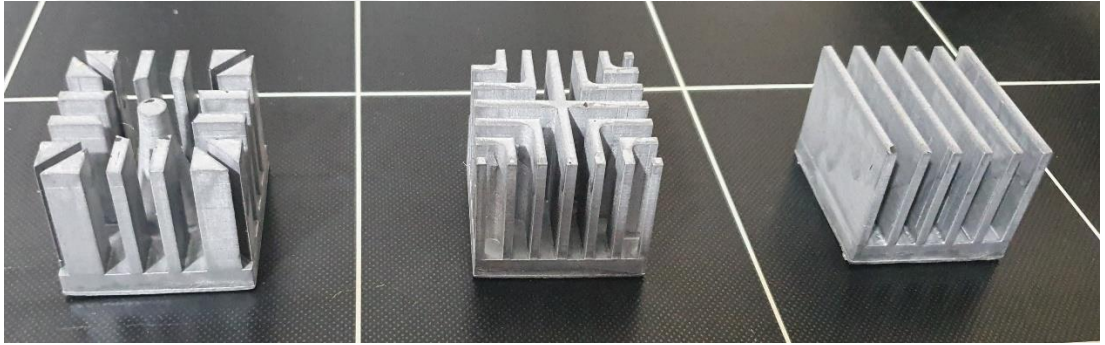
Soğutma parçalarının, çizilen geometrik parçalar içi belirtilen teknik resim boyutlarında, ısı iletkenliği yüksek olan malzemeler ile işlem yapılmıştır.

Parçalarının deneysel boyutlarının küçük olması belirli bir süreci takip ederek kalıp oluşturma ve işleme yapılmasını sağlamıştır.

Isıl iletkenliği yüksek ve kolay işleme açısından, maliyetler göz önüne alındığında soğutucu parçanın hammaddesi alüminyum olarak belirlenmiştir. Alüminyum parçanın oluşturulma İşlemi sürecinde istenilen parça modeli üç boyutlu yazıcı modeli olan EOS M290'dan yararlanılmıştır. Her bir soğutucu parçanın çizilen geometrik modellerin görünüşleri Şekil 48 ve Şekil 49'de gösterilmiştir.



Şekil 48 Geometrik şekillerin Üç boyutlu baskıları üst görünüş



Şekil 49 Geometrik şekillerin Üç boyutlu baskıları

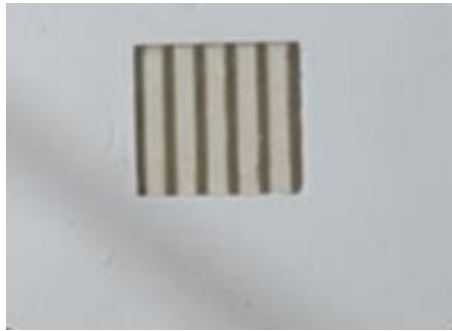
Değişik geometrik şekillerde çizilmiş soğutucu parçaların, alüminyum döküm yapılabilmesi ve dökülen alüminyumun eğrime ısısına dayanabilmesi için üç boyutlu yazıcıda basılarak alınan modellerin alçı malzemesi kullanılarak kalıp oluşturulmuştur. Üç boyutlu yazıcıdan çıkan modeller alçı kalıbından rahat ayrılabilmesi için, parça ayırıcı sıvı ve yağ karışımında bekletilmiştir. Alçı kalıbın sağlam olması için cam elyaf malzemelerle desteklenmiştir. Model kalıp ayırma ve

Elyaf malzeme ile sarım Şekil 50'de yer verilmiştir.



Şekil 50 Model kalıbın elyaf malzeme ile sarımı

Parça için oluşturulan kalıp, dökülecek malzemenin erime miktarına dayanıklı olması esas alınır. Kalıplama sürecinde her bir kalıp için ayrı ayrı haznelere oluşturularak ve içine cam elyaf malzeme karıştırılarak dayanımı artırılmış alçıdan hazırlanmıştır. Hazırlanan alçılar, üç boyutlu yazıcıdan basılan örnek modeller daldırılarak döküm için negatifler oluşturulmuştur. Negatifler sonucunda araba motor şase yapımında kullanılan alüminyum malzemeler dikkatle eritilerek parça kalıpları oluşturulmuştur. Döküm yapılan parçaların kalıplarını kırmak suretiyle soğutmada kullanılacak parçalar herhangi bir zarar olmadan çıkarılmaya çalışılmıştır. Şekil 51’de SLA ile basılan geometrik şekilleri kullanarak oluşturulmuş örnek alçı kalıbı yer almaktadır.



Şekil 51 Alçı döküm Kalıp Üst Yüzeyi

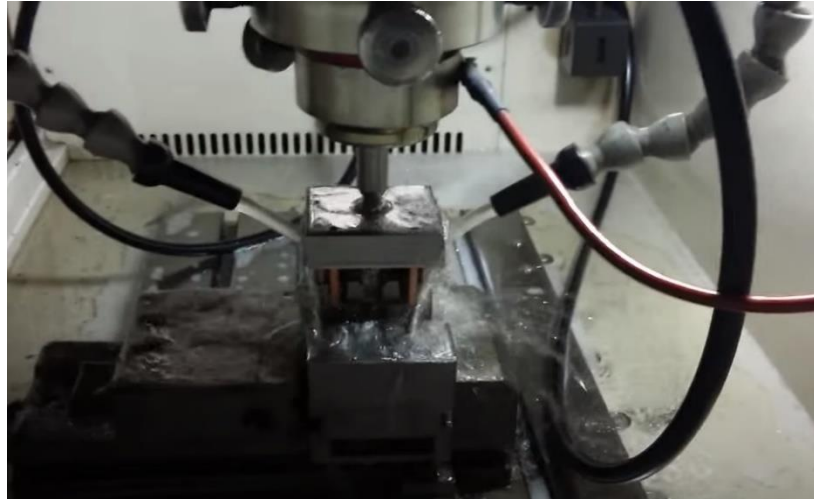
Oluşturulan kalıpların içi dikkatli bir şekilde oyularak gerekli soğutma hazneleri için boşluklar oluşturulmuştur. Oluşturulan boşluklardan atık alüminyum kutular eritilerek soğutma testi gerçekleştirilecek geometrik parçalar elde edilmeye çalışılmış

fakat alçı kalıpların ısının aşırı olması sebebiyle çatlamış ve başarısızlıkla sonuçlanmıştır.



Geometrik parçaların küçük ve hassas işleme olması sebebiyle üç farklı geometrik şeklin alüminyum alaşımı, dalma erozyon yöntemiyle işlem yapılarak soğutma parçaları oluşturulmuştur. Oluşturulan parçaların işleme aşamasını gösteren görseller Şekil 52, Şekil 53 Şekil 54 ve Şekil 55’de gösterilmiştir.

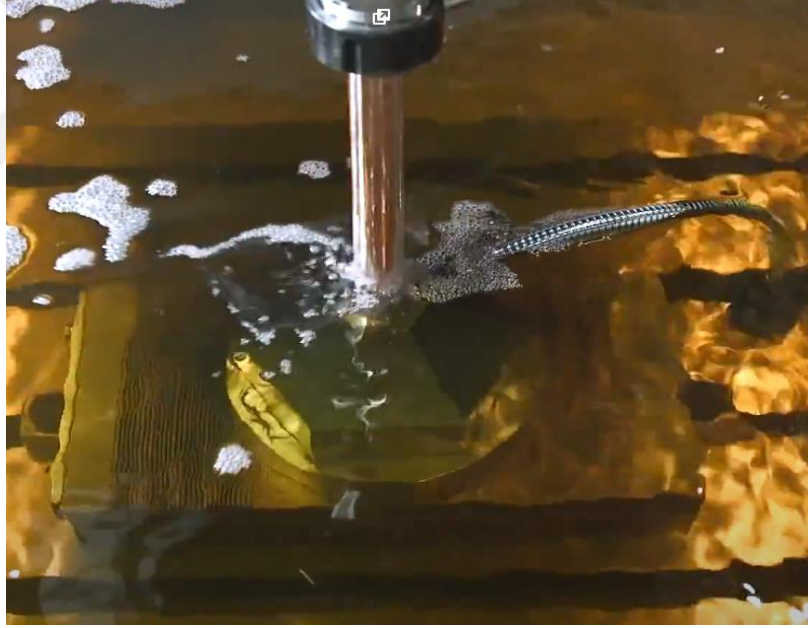
Şekil 52 Dalma Erozyonla yapılan elde edilen soğutma parçaları aşamaları-1



Şekil 53 Dalma Erozyonla yapılan elde edilen soğutma parçaları aşamaları-2



Şekil 54 Dalma Erozyonla yapılan elde edilen soğutma parçaları aşamaları-3



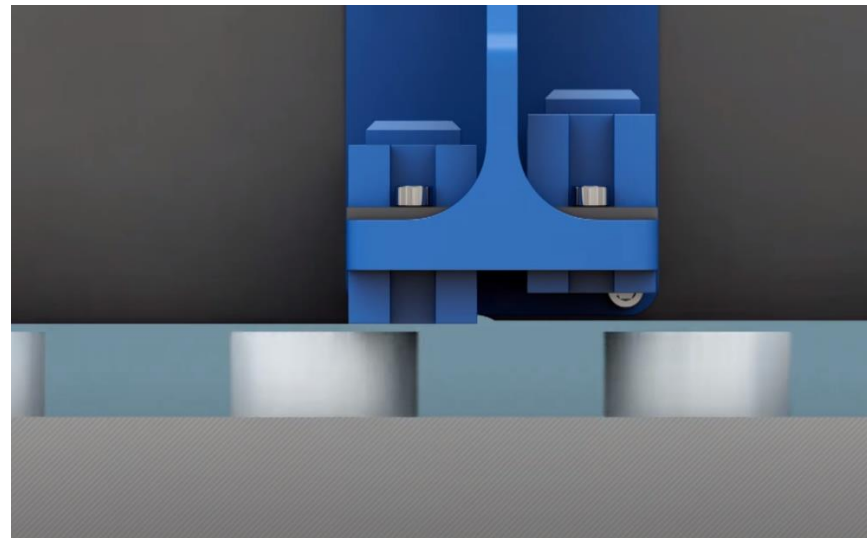
Şekil 55 Dalma Erozyonla yapılan elde edilen soğutma parçaları aşamaları-4

Dalma erozyonu ile yapılan soğutma parçaları ile birlikte, başka bir üretim metodu kullanılarak soğutucu parçaların üretimi gerçekleştirilmiştir. Doğrudan (Direkt) metal lazer sinterleme yöntemi (DMLS) kullanılarak gerçekleştirilen bu üretim yöntemi ile, üç farklı geometrik soğutucular imal edilmiştir. İmal edilen bu soğutucu parçalar eklemeli imalat yöntemi ile katmanlar şekline $AlSi_{10}Mg$ alaşım kullanılarak katmanlar şekilde yapılmıştır.

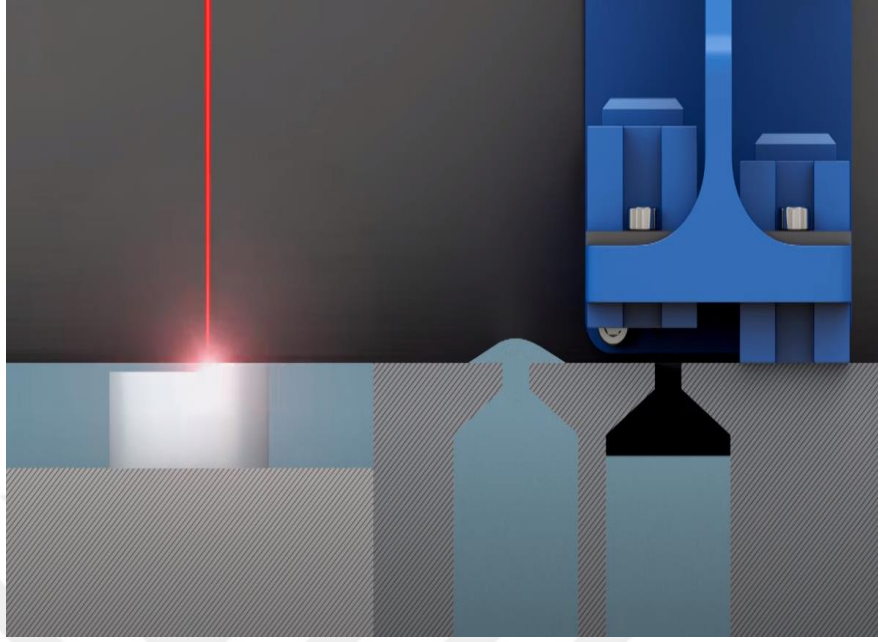
Bu alaşımdan yapılan üretimle eklememeli imalat yönteminin kullanıldığı Doğrudan (Direkt) metal lazer sinterleme yönteminde parça üretim sürecinde $AlSi_{10}Mg$ alaşımı toz halinde katman olarak tablaya serilmektedir. Serilen katmanın üzerine lazer ışını gönderilerek birleştirme yapılmaktadır. Bu şekilde katmanlar lazer ile birleştirilerek modelleme yaptığımız soğutma parçalarının imalatı gerçekleştirilmiştir. Soğutma parçalarının çalışma simülasyonu Şekil 56, Şekil 57 Şekil 58’de gösterilmiştir. Soğutucu parçaların üretim süreci, Şekil 59’de gösterilmiştir. Soğutucu parçaların üretildiği lazer sinterleme cihazının modeli ile ilgili teknik parametreler Tablo 13’ de gösterilmiştir.



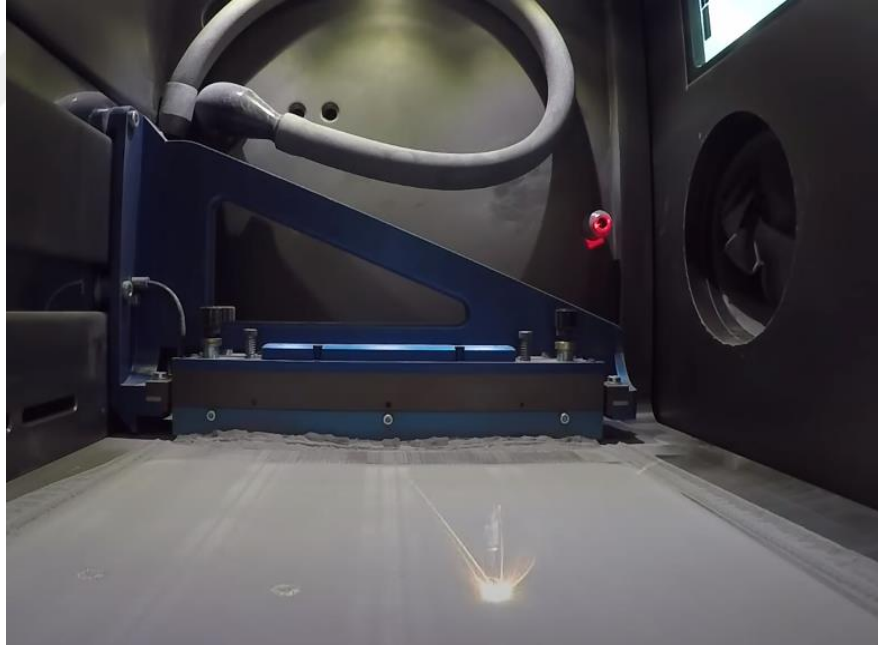
Şekil 56 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde Katmanın Serilmesi



Şekil 57 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde katmanın fazlalıklarının alınması



Şekil 58 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde Alüminyum Toz Alaşım Katmanının Oluşumu



Şekil 59 DMLS Eklemeli İmalat Yöntemi ile parçanın oluşumu

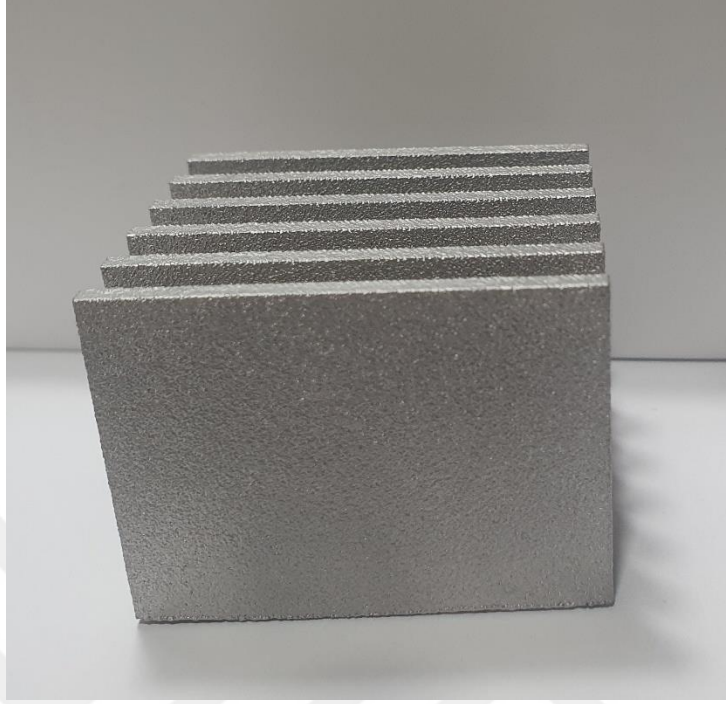
Elde edilen soğutucu parçalar katman yapısı, geometrik şekillerin ön görünüşü ve üst görünüşü yer aldığı soğutucu parça modelleri Şekil 60, Şekil 61, Şekil 62, Şekil 63, Şekil 64, Şekil 65, Şekil 66, Şekil 67, ve Şekil 68’de gösterilmiştir.



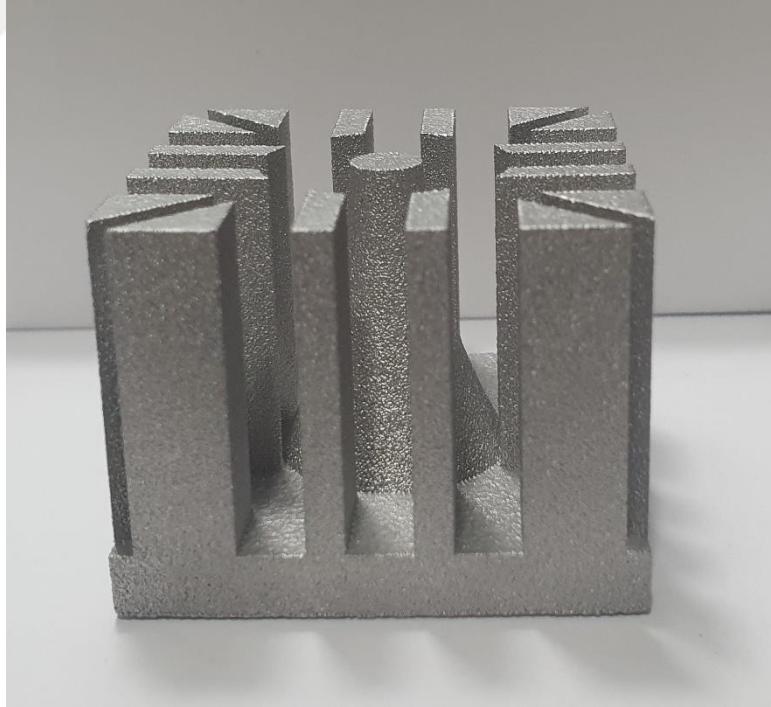
Şekil 60 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP1’in Ön Görünüşü



Şekil 61 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP1’in Üst Görünüşü



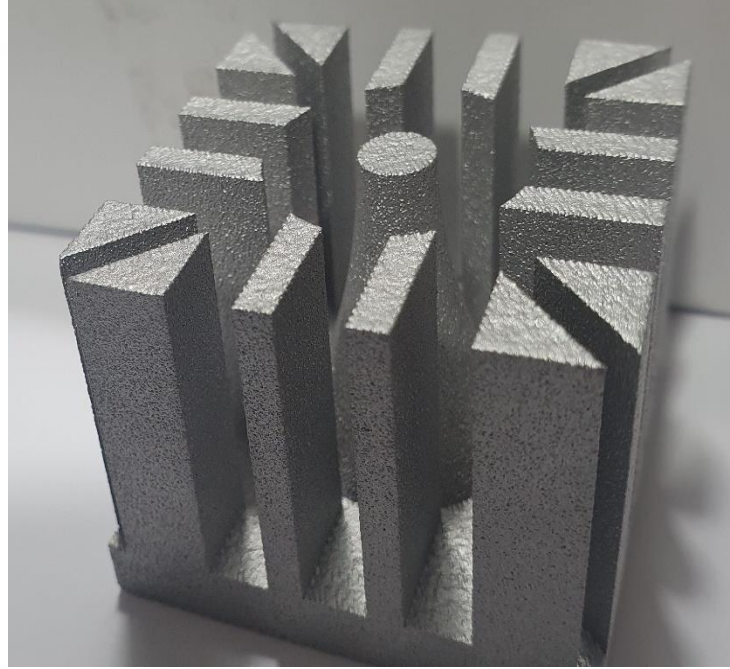
Şekil 62 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP1'in Yan Görünüşü



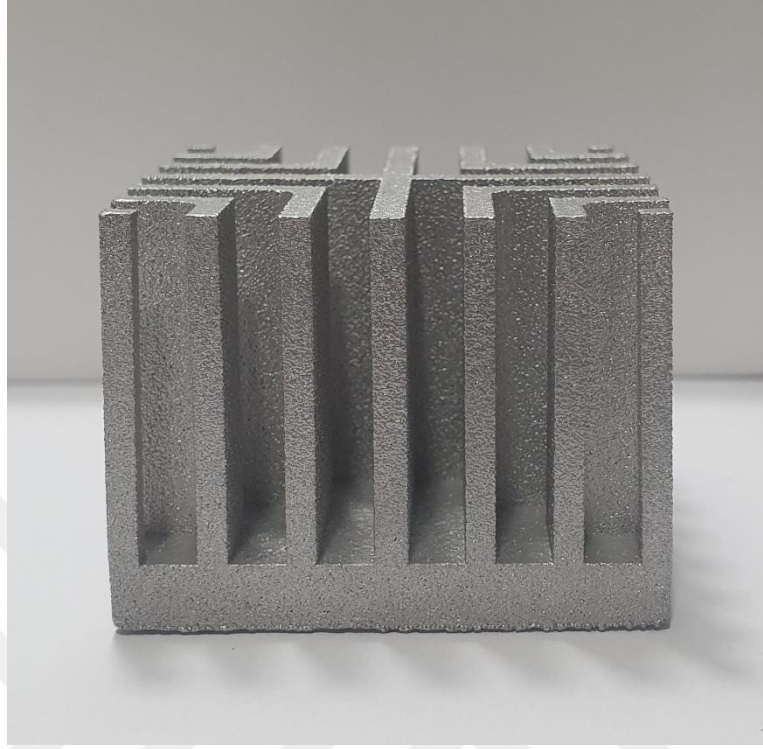
Şekil 63 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP2'in Ön Görünüşü



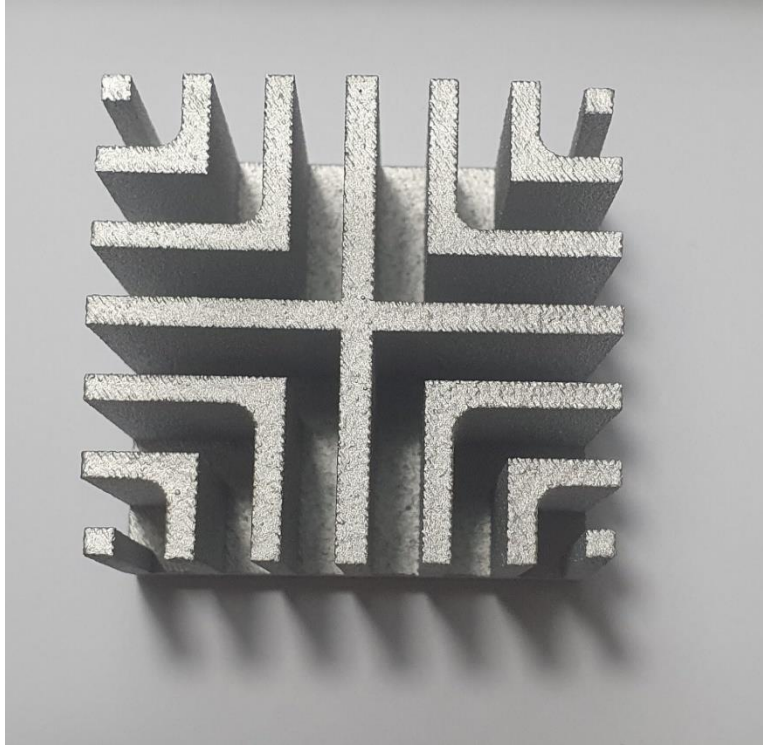
Şekil 64 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP2'in Üst Görünüşü



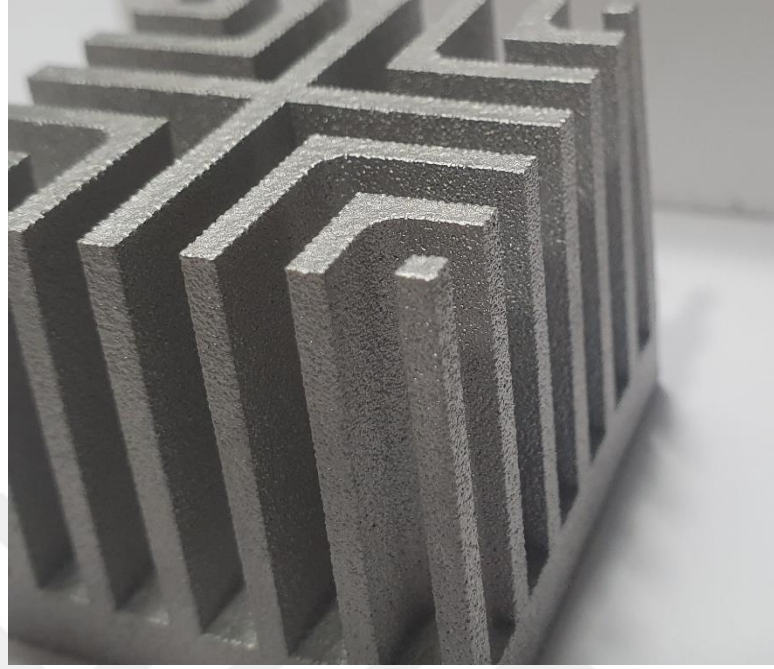
Şekil 65 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde SP2'in Yan Görünüşü



Şekil 66 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP3'ün Ön Görünüşü



Şekil 67 DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP3'ün Üst Görünüşü



Şekil 68 DMLS Eklemeli İmalat Yöntemi ile üretilen SP3'ün yan görünüşü

Soğutucu parçaların Direkt (Doğrudan) Lazer Sinterleme Eklemeli İmalat Yönteminde kullanılan makinenin markası EOS M290 modelidir. Bu model metal sinterleme ile ilgili maximum üretim boyutları $250 \times 250 \times 325 \text{ mm}^3$ 'dür. Bu yazıcı düşük ve hızlı katman işleme sebebiyle tercih edilmiştir (Bulduk, 2020).

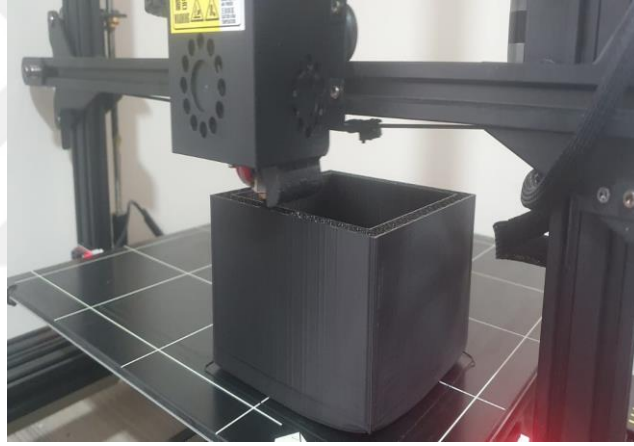
Tablo 13 EOS M290 Direkt Metal lazer sinterleme makinesi teknik parametreleri

PARAMETRE	DEĞERİ
Ön Isıtma Sıcaklığı	35 °C
Lazer Tipi	Fiber Lazer
Atmosfer	Argon
Lazer Gücü	370W
Tarama Mesafesi	0,19mm
Tarama Hızı	1300 mm/s
Katman Kalınlığı	30 micron

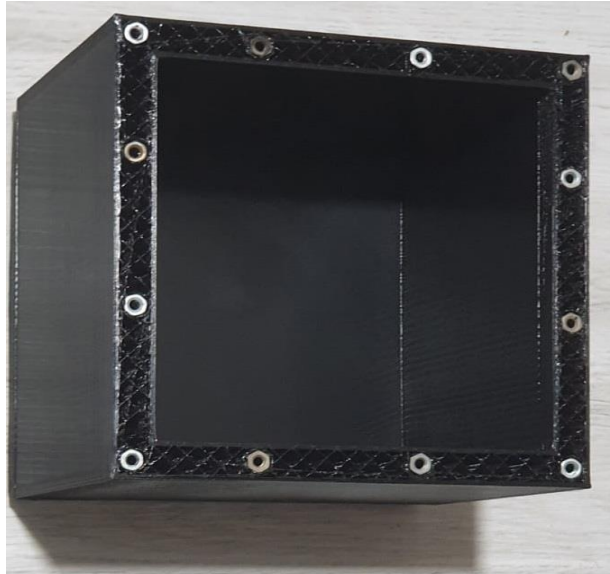
4.1.3. Ortam Şarlarının Modellenmesi

Ortam ısısının alüminyum soğutucu üzerindeki etkisini analiz sonucuna göre girilen verileri doğru şekilde yansıtabilmek için şartlar model olarak alınmıştır. Yapılan hazırlık doğrultusunda, ortam sıcaklığı 22.4 °C ile 25 °C Aralığında ortam derecesi elde ederek derece ayarlanarak test edilecektir. Ayarlamalar sonunda kutu içinde yaklaşık 22.9 °C bir ısı elde edildi. Elde edilecek veriler doğrulu ve kaybın en aza indirilmesi amacıyla ortam ısısı da yaklaşık 22 °C olarak ayarlanmıştır.

Modelin test edildiği yalıtım kutusu PLA malzemedен yapılan 120 mm genişliğinde ve uzunluğun, 100 mm genişliğinde yer alan model içinde test yapılmıştır. Şekil 69 ve Şekil 70'de PLA malzemesinden üretilen kutu ve üretim süreci gösterilmiştir.



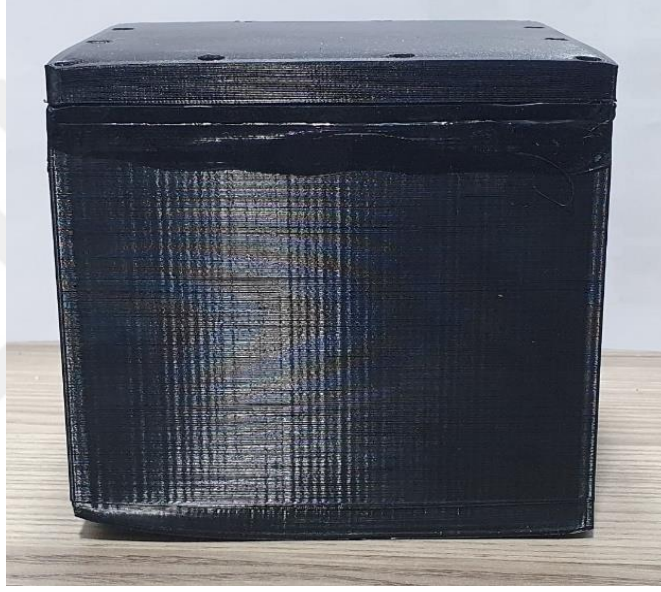
Şekil 69 Test Modeli Üretim süreci



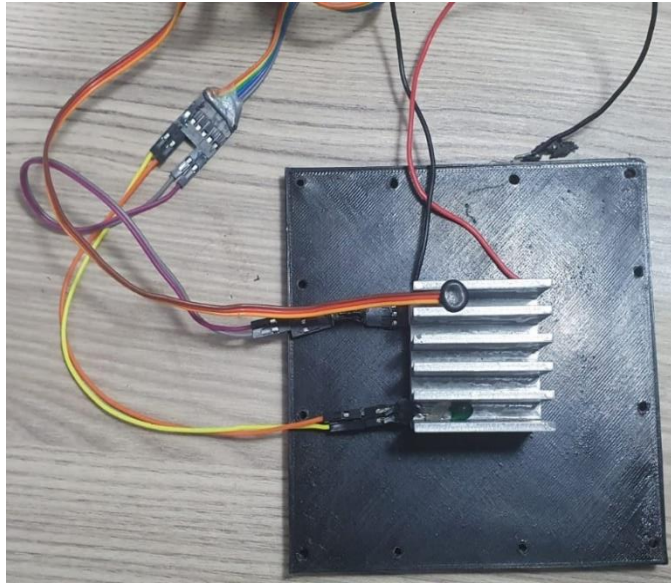
Şekil 70 Test Modeli

4.1.4. Soğutucuların ısı veri akışı izleme

Soğutma parçasının termoelektrik modül üzerine eklenmesi yapılarak kutu kapağına montajı gerçekleştirilmiştir. Yapılan montaj sonunda termoelektrik modülün yüzeye en yakın olan soğutma parçasının bir kısmı ile termoelektrik modül parça yüzeyine en uzak olan soğutma parçasının üzerine anlık veri takibi yapabilmek adına ısı sensörü yerleştirilmiştir. Şekil 71’de test edilecek modelin son hali ve Şekil 72’de test edilecek soğutucu parça yerleştirilen sensör ve kutu yüzey montajı gösterilmiştir.

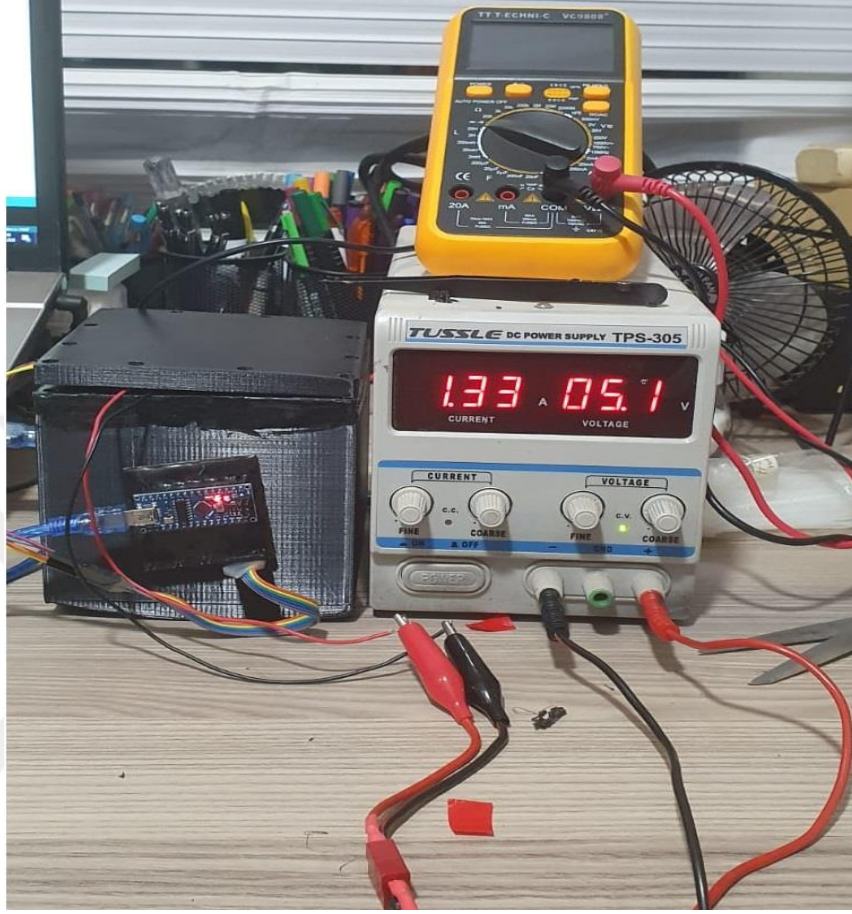


Şekil 71 Test Modeli yüzey montajı



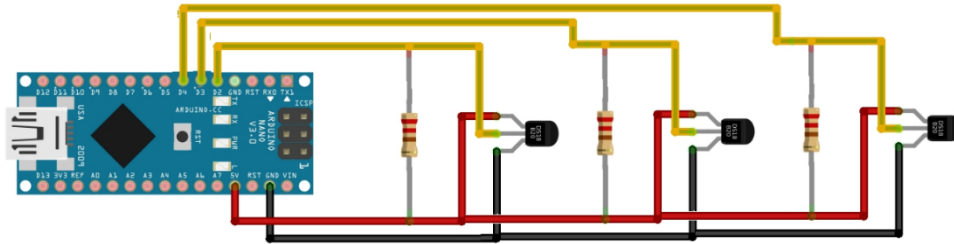
Şekil 72 Soğutma parçası Test Haznesi montajı

Test düzeneğinin bitmiş hali ve elektronik bağlantıları Şekil 73’de gösterilmiştir.



Şekil 73 Soğutma Parçası Test Düzeneği

Yerleştirilen test kitinden verileri doğru okumak ve anlık olarak veri akışını sağlamak için Mikrodenetleyici ’ye bağlı ısı sensörleri kullanılmıştır. Bu sensörler soğutma haznesine birden çok farklı noktalardan bağlantı sağlanıp veri olarak yansıtacağı uygun bir kodlama yapılmıştır. Birden çok sensör bağlantısının yer aldığı bağlantı şemasını Şekil 74’de gösterilmiştir.



Şekil 74 Birden çok sensör bağlantı şeması

4.1.5. Sensör için ilgili kodlar

```
#include <OneWire.h> // OneWire kütüphane dosyası çağrıldı
#include <DallasTemperature.h> // DallasTemperature kütüphane dosyası çağrıldı
OneWire oneWire(2);
DallasTemperature DS18B20(&oneWire);
DeviceAddress DS18B20adres0, DS18B20adres1;
// santigrat ve fahrenheit sicaklik bilgileri için değişkenler tanımlanıyor
// 0 ile bitenler birinci sensör için 1 ile bitenler ikinci sensör için
float santigrat0, fahrenheit0, santigrat1, fahrenheit1;
void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  // DS18B20 iletişime hazır hale getirilir
  DS18B20.begin();
  DS18B20.getAddress(DS18B20adres0, 0);
  DS18B20.getAddress(DS18B20adres1, 1);
  DS18B20.setResolution(DS18B20adres0, 12);
  DS18B20.setResolution(DS18B20adres1, 12); }
void loop(void)
{DS18B20.requestTemperatures();
santigrat0 = DS18B20.getTempC(DS18B20adres0);
// birinci sensörden alınan sicaklik santigrat cinsinden
// fahrenheit cinsine dönüştürülüyor
fahrenheit0 = DS18B20.toFahrenheit(santigrat0);
// ikinci sensörden sicaklik santigrat cinsinden okunuyor
santigrat1 = DS18B20.getTempC(DS18B20adres1);
fahrenheit1 = DS18B20.toFahrenheit(santigrat1);
// sicaklik hem santigrat hemde fahrenheit cinsinden Serial monitöre gönderiliyor
Serial.print("SENSOR No 0: ");
Serial.print(santigrat0);
Serial.print(" C -- ");
Serial.print(fahrenheit0);
Serial.print(" F /// SENSOR No 1: ");
Serial.print(santigrat1);
Serial.print(" C -- ");
Serial.print(fahrenheit1);
Serial.println(" F");
```

4.1.6. Deneş Test Düzeneği Ölçüm Verileri

Yapılan çalışmalarda farklı geometrik şekillere sahip olan soğutucuların ısı dağılım hızları incelenmesi için hazırlanmıştır. Benzer literatürde yer alan çalışmalar dikkatlice incelenerek tasarlanan düzende. Soğutucunun yer aldığı kutuda hazırlanan soğutucuların ölçüm verileri mikroişlemcide bağlı sensörler ile kontrol edilerek bilgisayarda takip edilmiştir. Soğutucu parçaların bulunduğu kabın içinde yer alan verilerin dış ortamın sıcaklıklarını tespit etmek için ayrıca infrared lazer termometre kullanılmıştır. Kullanılan termometre ile ilgili görsel Şekil 75’de ve ölçü aleti ile ilgili teknik parametrelerin yer aldığı bilgiler Tablo 13’de yer almaktadır.



Şekil 75 Lazer Termometre

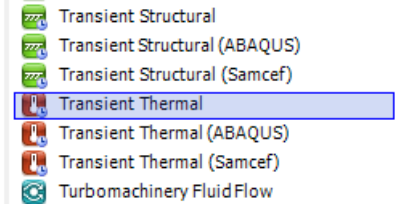
Tablo 14 Soğutma Parçası – 1 ile ilgili Teknik veriler (Url – 5)

Sıcaklık Ölçüm Aralığı	-50°C +380°C
Sıcaklık Çözünürlük	0.1°C
Sıcaklık Ölçüm Hassasiyeti	±1.5°C
Görüş Alanı	12:1
Lazer	Tek
Emissivity	0.95
Tepki Süresi	500 ms
Pil	2x 1.5V AAA
Ebatlar	147 x 77 x 38 mm
Ağırlık	101 gr.

4.2. Sayısal Analiz

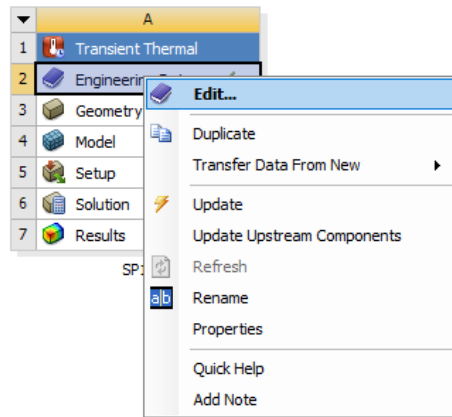
Eklemeli imalat yöntemi ile yapılmış soğutucuların, TE modülünün üzerinde, belirlenmiş üç değişik geometrik şeklin soğutucular, belirlenen geometrik şekil ölçüleri dikkate alınarak soğutma parçalarının ısı dağılımları ANSYS programı kullanılarak ısı dağılım simülasyonu yapılmıştır. Yapılan simülasyon modelinde termoelektrik parçanın ısı yüzeyi 100 °C olarak belirlendi. Soğutma mekanizmasının en üst yüzeyi ise 25 °C olacak şekilde sınır değerleri verilmiştir. Ortam ısı referans değeri 22 °C olarak belirlenmiştir. Girilen değerler dikkate alınarak her bir geometrik parçanın ısı modeli ve ısı dağılım analizi hazırlanmıştır. Soğutucu parçalar için hazırlanan analiz modelleri ilgili süreç adım adım belirtilmiştir. Buna göre,

- 1. Adım:** Soğutucu Parçalar için hazırlanan analiz modelleri, analiz programında hızlı termal iletken, (Transient Thermal) özelliği kullanılarak oluşturulmuştur. Analiz programında yer alan toolbox menüsünden geçici termal transfer (Transient Thermal) menüsü seçilmiştir. Seçim ile ilgili görsel Şekil 76’de gösterilmiştir.



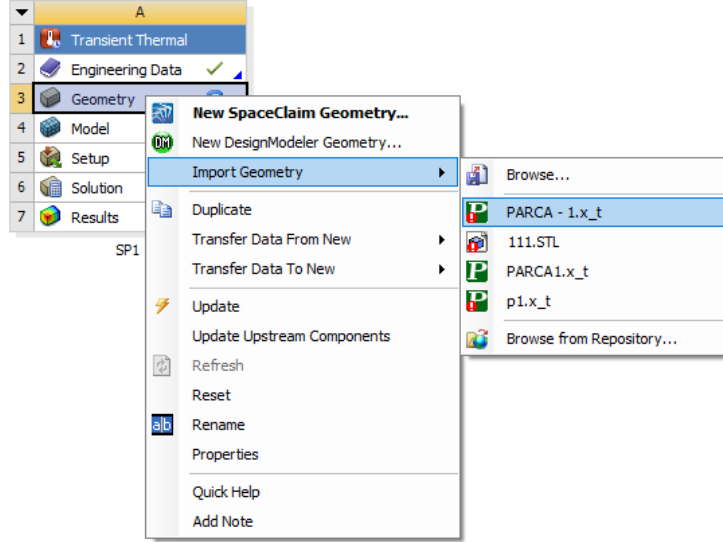
Şekil 76 Transient Thermal seçimi

- 2. Adım:** Analiz programında, soğutucu parçaların malzeme bilgisi, edit menüsünden Alüminyum Alaşım (Aluminum Alloy) olarak tanımlanmıştır. Seçim ile ilgili görsel şekil 77’de gösterilmiştir.



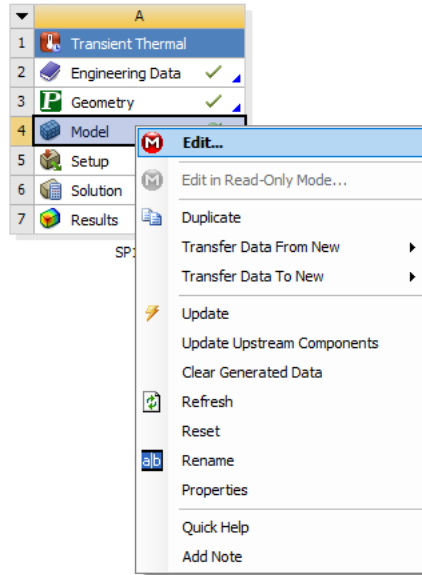
Şekil 77 Malzeme data bilgisi seçimi

3. Adım: Analiz yapılacak Soğutucu Parçalar ile ilgili belirlenen geometrik modeller parasolid olarak kaydedilmiştir. Kaydedilen parça daha sonra analiz programında model kısmına tanımlanmıştır. Seçim ile ilgili görsel Şekil 78’de gösterilmiştir.



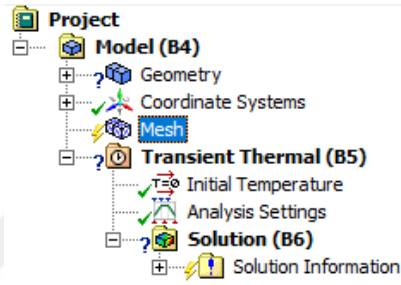
Şekil 78 Soğutucu Parça Tanımlanması

4. Adım; Analiz programında tanımlanan geometrik soğutucu parçanın model kısmında edit kısmı seçilerek, parça program içinde açılması sağlanır. Seçim ile ilgili görsel Şekil 79’de gösterilmiştir.



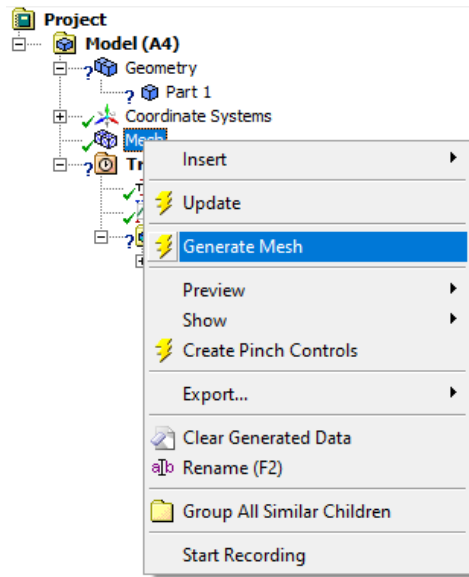
Şekil 79 Soğutucu Parça Tanımlanması

5. **Adım:** Tanımlanan geometrik soğutucu parçalar, soğutucu parçalarda bir bütün olarak aktarılır. Termal analiz için doğru yapılabilmesi için her bir geometrik parçanın ağ yapısı olarak programa tanıtılması gerekmektedir. Her bir geometrik soğutucu parça (SP) için ayrı ayrı ağ yapmak gereklidir. Soğutucu parçalar ilk açıldığında ağ (mesh) yanında sarı renkte simge olacaktır. Bununla ilgili görsel Şekil 80’de gösterilmiştir.

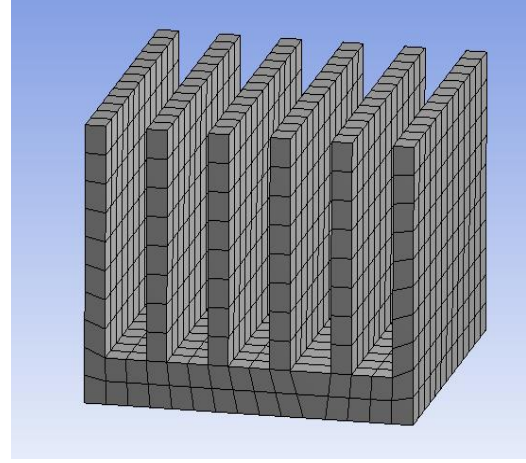
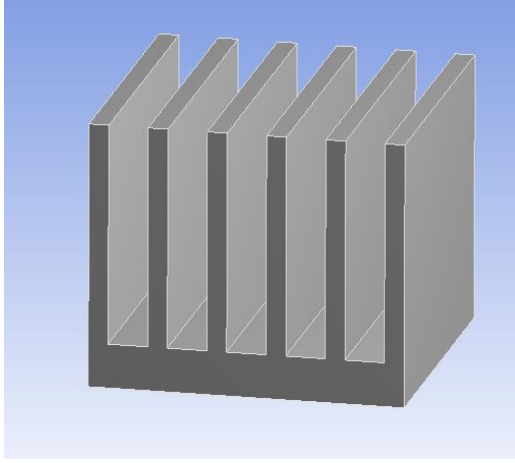


Şekil 80 Soğutucu Parçalar için ağ yapısı yapma

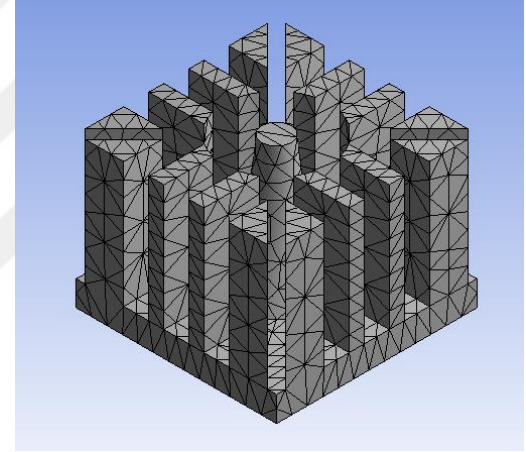
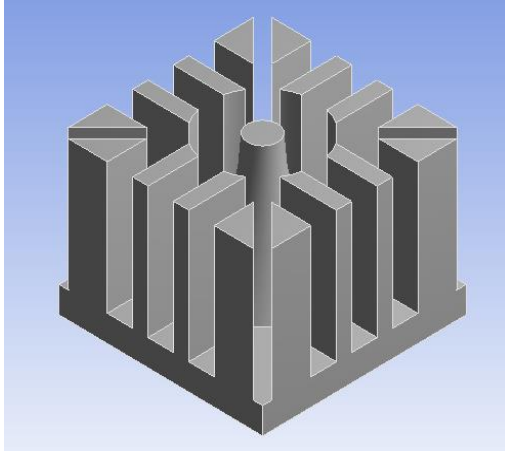
Soğutucu Parçalarda ağ yapabilmek için ağ (mesh) kısmına bilgisayar (Mouse) faresi ile sağ seçim yapılarak ağ oluşturma, “Generate Mesh” yapılmıştır. Ağ yapısı oluşturulduktan sonra sarı renkte olan simge yeşile dönüşecektir. Programda her bir geometrik soğutucunun aktarıldıktan sonraki görüntüsü ve ağ (mesh) yapıldıktan sonraki ilgili görsel Şekil 82, Şekil 83, ve Şekil 84,’da gösterilmiştir.



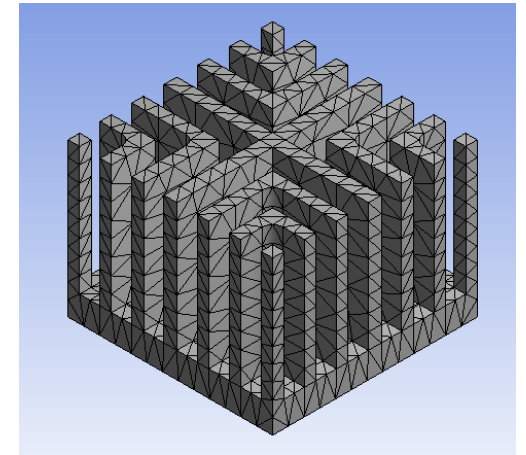
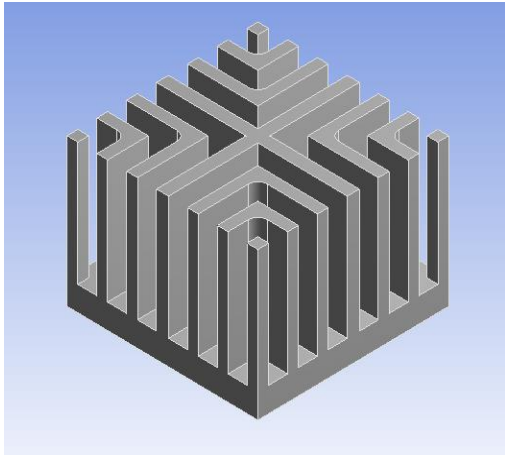
Şekil 81 Soğutucu Parçalar için Ağ yapısı geliştirme



Şekil 82 Soğutma Parçası-1 (SP1) analiz programındaki görünüş ve ağ yapısı



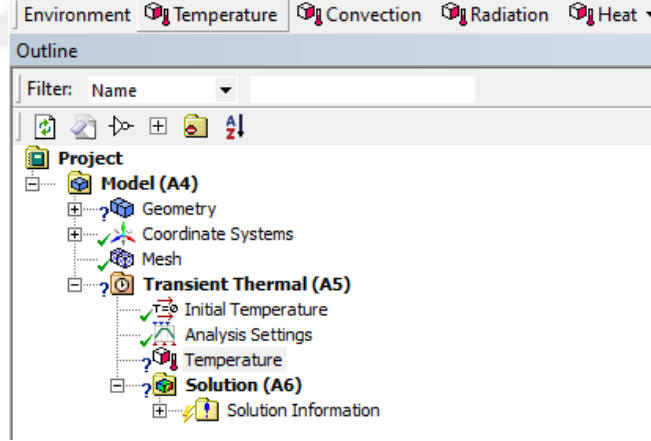
Şekil 83 Soğutma Parçası-2 (SP2) analiz programındaki görünüş ve ağ yapısı



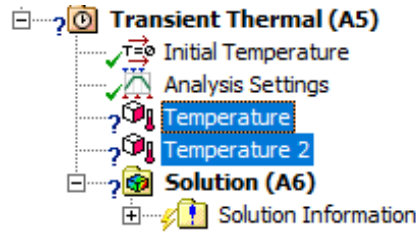
Şekil 84 Soğutma Parçası-3 (SP3) analiz programındaki görünüş ve ağ yapısı

Soğutucu parçaları için belirlenen üç farklı geometrik şekil, analiz programında, teknik parametreler dikkate alınarak oluşturulmuştur. Oluşturulma esnasında analiz programında modellenecek soğutucu parçalar için kullanılan malzeme parametreleri ortak belirlenmiştir. Isıl değerleri maksimum seviye ile minimum seviyede girilmiş olup, girilen ısı değerine göre oluşan ısıl dağılımları ve ısıl iletim tabloları her bir parçada belirtilen periyotlarda verilmiştir. Soğutma parçaları için girilen teknik parametreler ortak olup, analiz değerleri ayrı ayrı alınmıştır. Girilen parametreler yapılarak veriler elde edilmiştir. Buna göre;

Analiz programında ısıl iletim analizi yapılabilmesi için, programda her bir soğutucu parça için iki ayrı derece tanımlaması yapılmıştır. Yapılan tanımlama analiz programında yer alan çevre (environment) seçeneğinden derece (temperature) kısmı seçilerek yapılmıştır. Bu seçim iki defa yapılarak Transient Thermal kısımda iki defa görünecek şekilde tanımlama yapılmıştır. Seçilen kısımdan eklenen Yapılan tanımlama ile ilgili görsel Şekil 85 ve Şekil 86’de verilmiştir.



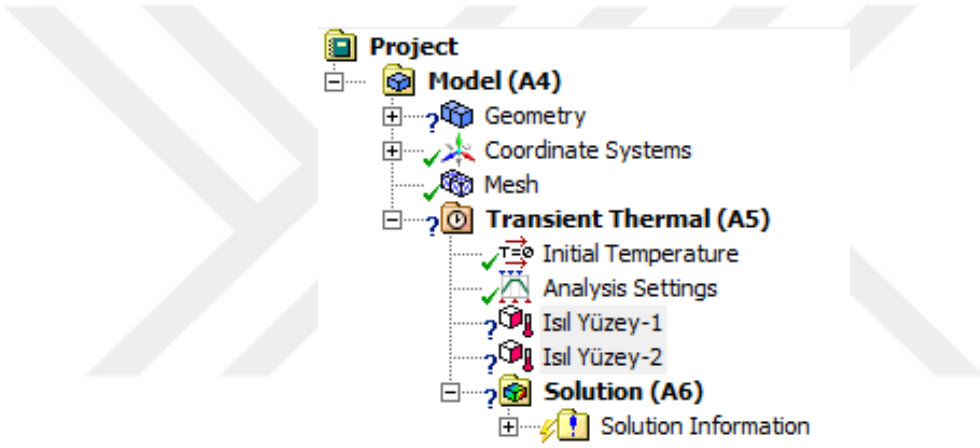
Şekil 85 Soğutma Parçası İçin (Environment) Kısmından Temperature Atama



Şekil 86 Soğutma Parçası İçin İki Farklı Temperature Görünüş

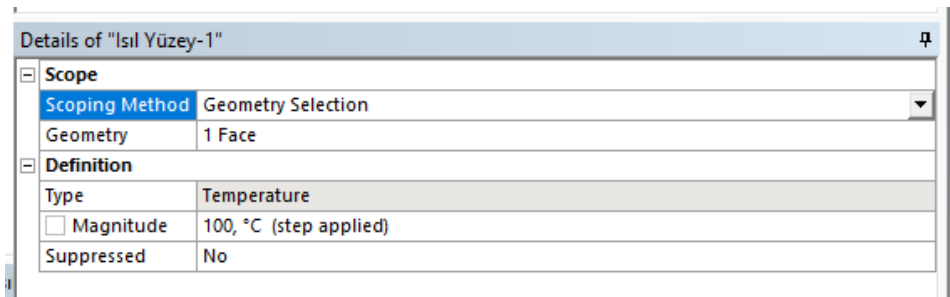
Analiz yapılacak her bir soğutucu parçaların atanan temperature kısmı için maksimum ve minimum ısı değerlerinin yer alacağı yüzeyler belirlenmiştir. Geometrik yüzeyler programda yapılacak çizimi ile ilgili yapılan tanımlamalar, her bir soğutucu parça için ayrı ayrı belirlenmiştir.

Temperature ve temperature2 isimleri için F2 tuşunu kullanarak ya da sağ tık seçeneği kullanarak Rename kısmı seçiler yapılmıştır. Programda ısı yüzey-1 ve ısı yüzey-2 şeklinde isimlendirilmiştir. İsimlendirme ile ilgili ve girilen ısı parametrelerle ilgili bilgi girişinin yer aldığı program menüsü Şekil 87'de gösterilmiştir.

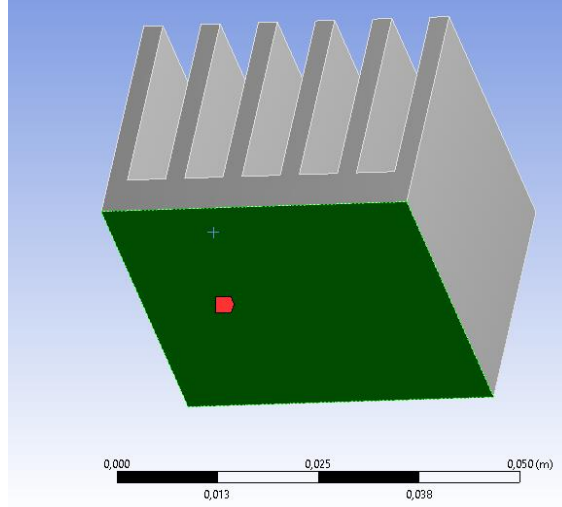


Şekil 87 Soğutma Parçaları İçin Temperature Kısımların İsimlendirilmesi

Soğutma parçası – 1 için Isıl yüzey-1'e bir yüz (face) seçilmiştir. Girilen sıcaklık değeri 100 °C 'dir. Isıl yüzey-1 için belirlenen parametrelerle ilgili bilgi girişinin yer aldığı program menüsü Şekil 88 'de, seçilen yüzde, Şekil 89'da gösterilmiştir.



Şekil 88 SP1 için Isıl yüzey-1'in Isıl Parametrelerin Belirlenmesi

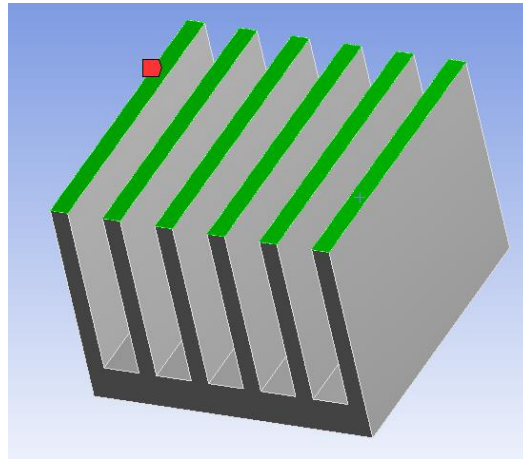


Şekil 89 SP1 için Isıl Yüzey-1 Alt Yüzey Geometrik Tanımlanması

Isıl Yüzey-2 ise Soğutucu parçanın üst tarafı belirtilmiştir. Belirtilen yüzey için ise altı yüz (face) seçilmiştir. Belirlenen sıcaklık değeri 25 °C 'dir. Isıl yüzey-1 için belirlenen parametrelerle ilgili bilgi girişlerinin yer aldığı program menüsü Şekil 90, seçilen yüzle ilgili görsel Şekil 91'de gösterilmiştir.

Details of "Isıl Yüzey-2"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	6 Faces
Definition	
Type	Temperature
<input checked="" type="checkbox"/> Magnitude	25, °C (step applied)
Suppressed	No

Şekil 90 SP1 için Isıl yüzey-2'in Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi

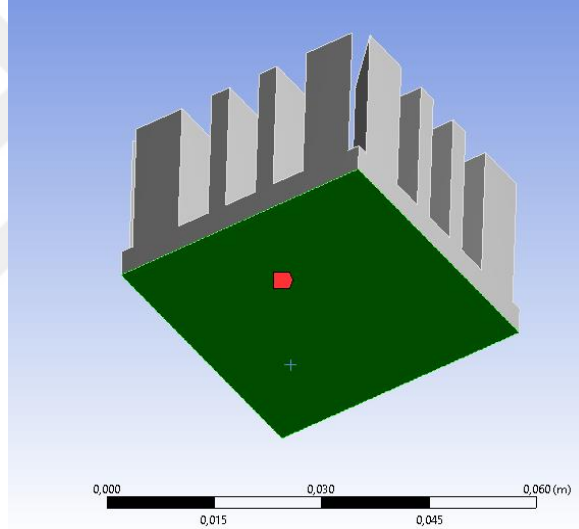


Şekil 91 SP1 için Isıl yüzey-2'nin Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması

Soğutma parçası – 2 için Isıl yüzey-1'in alt kısım, bir yüz (face) seçilmiştir. Girilen sıcaklık değeri 100 °C 'dir. Isıl yüzey-1 için belirlenen parametrelerle ilgili bilgi girişlerinin yer aldığı program menüsü Şekil 92 'de, seçilen yüzde, Şekil 93'de gösterilmiştir.

Details of "Isıl Yüzey-1"	
☐ Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
☐ Definition	
Type	Temperature
Magnitude	100, °C (step applied)
Suppressed	No

Şekil 92 SP2 için Isıl yüzey-1'in Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi

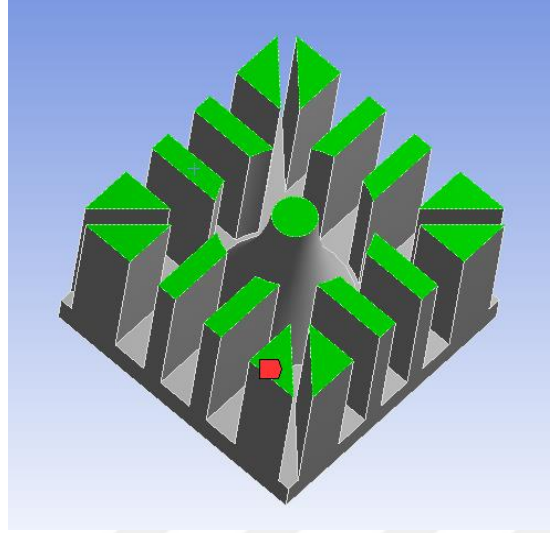


Şekil 93 SP2 için Isıl yüzey-1'in Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması

Isıl Yüzey-2 ise Soğutucu parçanın üst tarafı belirtilmiştir. Belirtilen yüzey için on yedi yüz (face) seçilmiştir. Belirlenen sıcaklık değeri 25 °C 'dir. Isıl yüzey-1 için belirlenen parametrelerle ilgili bilgi girişlerinin yer aldığı program menüsü Şekil 94, seçilen yüzle ilgili görsel Şekil 95'de gösterilmiştir.

Details of "Isıl Yüzey-2"	
☐ Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	17 Faces
☐ Definition	
Type	Temperature
Magnitude	25, °C (step applied)
Suppressed	No

Şekil 94 SP2 için Isıl yüzey-2'nin Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi

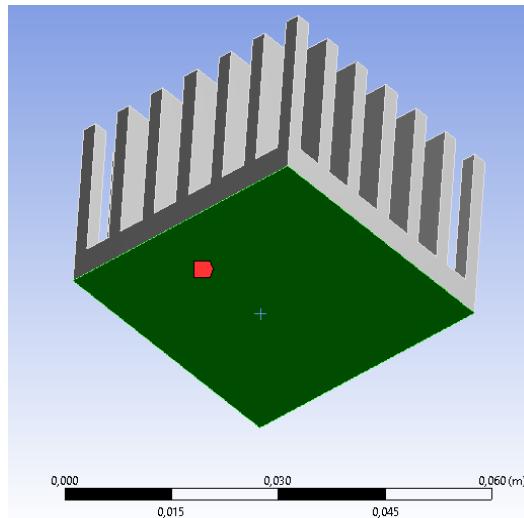


Şekil 95 SP2 için Isıl yüzey-2'nin Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması

Soğutma parçası – 3 için Isıl yüzey-1'in alt kısım, bir yüz (face) seçilmiştir. Girilen sıcaklık değeri 100 °C 'dir. Isıl yüzey-1 için belirlenen parametreler ve girişlerinin yer aldığı program menüsü Şekil 96 'de, seçilen yüzde, Şekil 97'da gösterilmiştir.

Details of "Temperature"	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
[-] Definition	
Type	Temperature
<input checked="" type="checkbox"/> Magnitude	100, °C (step applied)
Suppressed	No

Şekil 96 SP3 için Isıl yüzey-1'in Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi

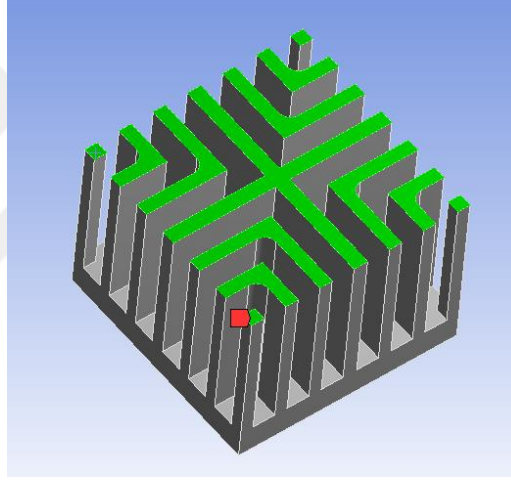


Şekil 97 SP3 için Isıl yüzey-1'in Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması

Isıl Yüzey-2 ise Soğutucu parçanın üst tarafı belirtilmiştir. Belirtilen yüzey için on üç yüz (face) seçilmiştir. Belirlenen sıcaklık değeri 25 °C 'dir. Isıl yüzey-2 için belirlenen parametrelerle ilgili bilgi girişlerinin yer aldığı program menüsü Şekil 98, seçilen yüzle ilgili görsel Şekil 99'da gösterilmiştir.

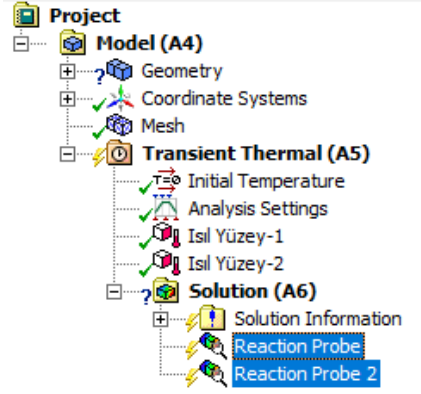
Details of "Isıl Yüzey-2"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	13 Faces
Definition	
Type	Temperature
Magnitude	25, °C (step applied)
Suppressed	No

Şekil 98 SP3 için Isıl yüzey-2'nin Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi



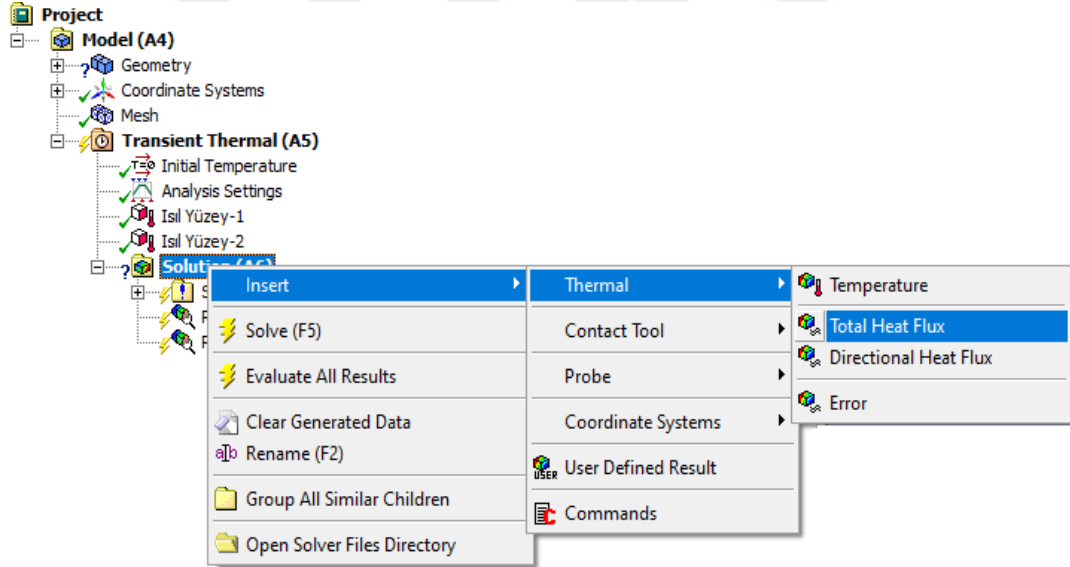
Şekil 99 SP3 için Isıl yüzey-2'nin Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması

Parametrelerin belirlenmesi ile birlikte her bir farklı geometri içeren soğutucu parçalar için ayrı ayrı analiz programı içerisinde çözümlenmesi yapılmıştır. Çözümleme (solution) yapılmadan önce soğutucu parçalar içerisindeki ısı dağılımları görebilmek için analiz programındaki tanımladığımız ısı yüzey-1 ve ısı yüzey-2 kısımlarını çözümleme (solution) kısmına eklenmiştir. Ekleme yapılırken (solution) çözümleme kısmında reaksiyon algılayıcı (Reaction Probe) ve reaksiyon algılayıcı 2 (Reaction Probe 2) şeklinde otomatik olarak program tarafından isimlendirilir. Belirttiğimiz çözümlenmeler ile ilgili girişlerinin yer aldığı görsel Şekil 100'de gösterilmiştir.



Şekil 100 Isıl Yüzey-1 ve Isıl Yüzey-2'nin Çözümleme Tanımı

Soğutma Parçaları için kesitlerde yapılan ısı taşınım miktarını görebilmek için çözümleme (solution) kısmında Total Heat Flux kısmı seçilerek gösterilmiştir. Bununla ilgili görsel Şekil 101'de gösterilmiştir.



Şekil 101 Isıl Taşınım hesaplanması için Total Heat Flux tanımı

Soğutucu parçalar için yapılan tüm bu düzenlemeler ile programda yapılan çözümleme sonrasında her bir soğutucu parça üzerindeki ısı dağılımları, ısı iletimi gücü ve parça yüzeylerindeki sıcaklık dağılımlarını içeren veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler her bir parça için ayrı ayrı incelenmiştir. Buna göre;

5. SAYISAL ANALİZ SONUÇLARI

5.1. Soğutma parçası – 1 (SP1) Analiz Sonuçları

Soğutucu malzemenin yapısal özelliği analiz programında Alüminyum alaşım olarak tanımlanmıştır. Tanımlama ile ilgili veriler soğutucu parçaların analiz sonuçları ve Soğutucu parçanın yapısal özellikleri ilgili veriler Tablo 15’de Soğutucu Parça ile ilgili teknik ölçülerin yer aldığı veriler Tablo 16’da belirtilmiştir.

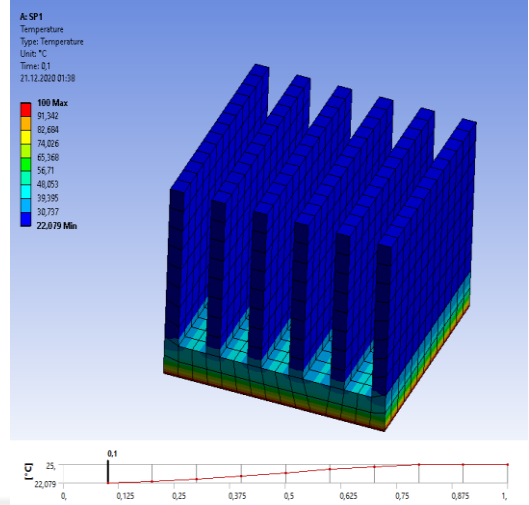
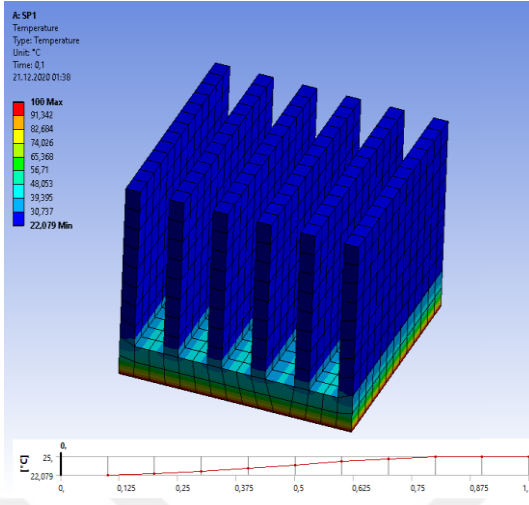
Tablo 15 Soğutma Parçası – 1 ile ilgili Teknik veriler

Grafik Özellikleri	
Şeffaflık	1
Tanım	
Bastırılmış	Hayır
Sertlik Davranışı	Esnek
Koordinat Sistem	Varsayılan Koordinat Sistemi
Atanan Malzeme	Alüminyum Alaşım
Termal Gerilme Etkileri	Evet

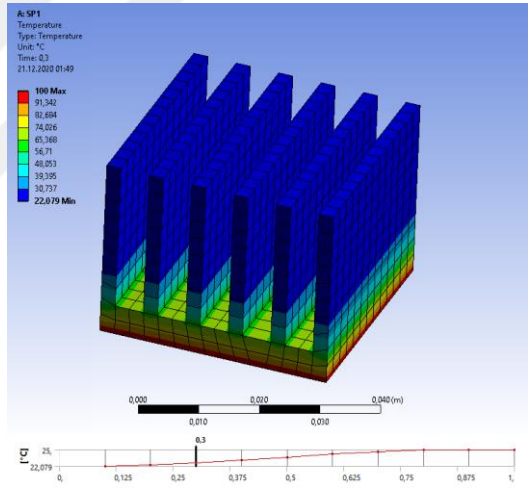
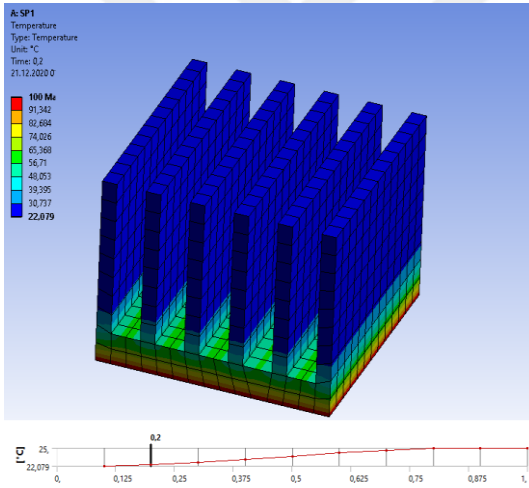
Tablo 16 Soğutma Parçası – 2’nin Şekil özellikleri verisi

Düğümler	6982
Elementler	1014
Kitle Metrik	Kapalı
Part Tolerance:	0,00000001

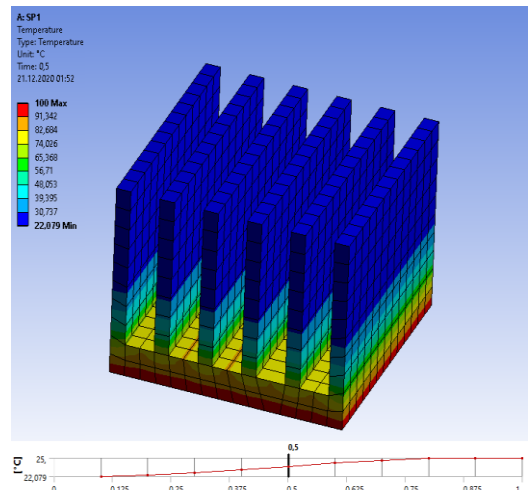
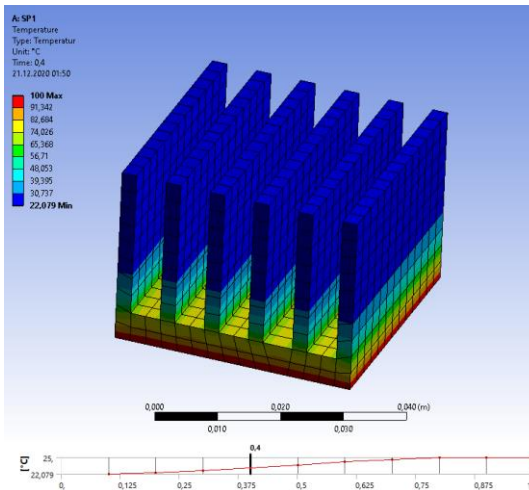
Soğutma parçası – 1 için ısı dağılımının zaman periyodu sıfır ile bir saniye zaman aralığında belirtilmiştir. Bu süre aralığında geçen ısı iletim zaman silimi 0,1 sn aralıklarla değerlendirilen sıcaklık değişimleri ve değişimleri gösteren zaman periyotları Şekil 102, Şekil 103, Şekil 104, Şekil 105, ve Şekil 106’da gösterilmiştir.



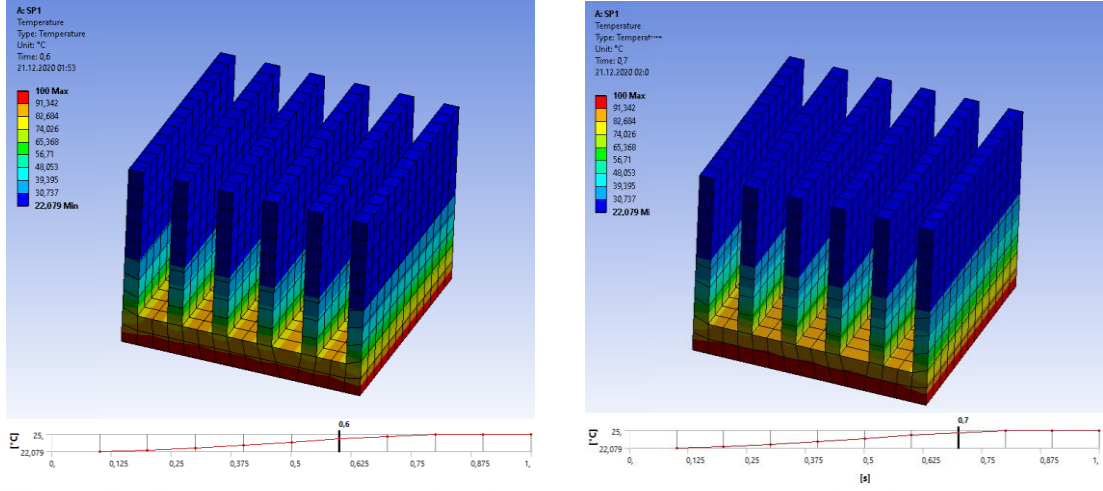
Şekil 102 SP1'in 0 Saniye ve 0.1 Saniyedeki Isıl Dağılımı



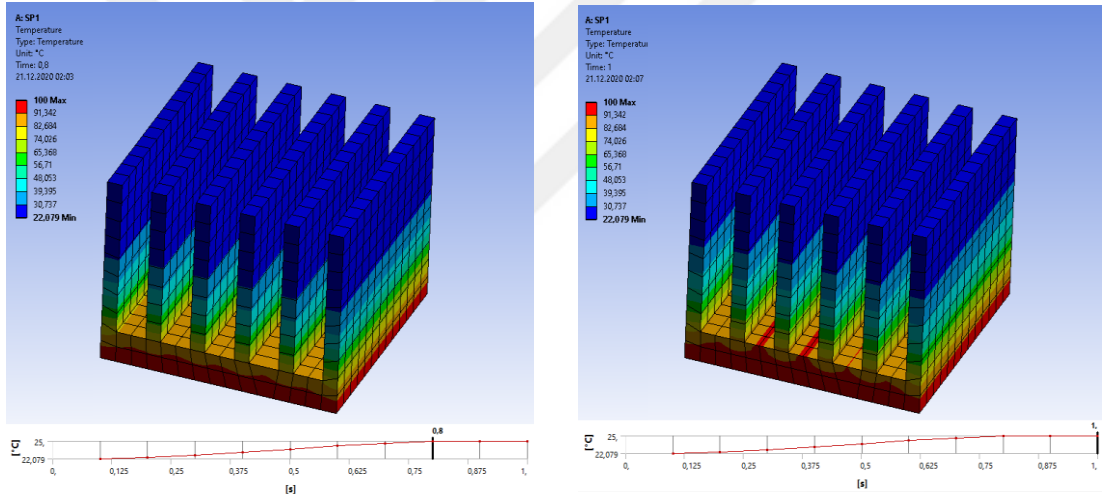
Şekil 103 SP1'in 0.2 ve 0.3 Saniyedeki Isıl Dağılımı



Şekil 104 SP1'in 0.4 ve 0.5 Saniyedeki Isıl Dağılımı



Şekil 105 SP1'in 0.6 ve 0.7 Saniyedeki Isıl Dağılımı



Şekil 106 SP1'in 0.8 ve 1 Saniyedeki Isıl Dağılımı

Soğutucu hazne – 1 (SP1) ile ilgili Katı Hal Termal verilerinin yer aldığı ısıl iletim gücü Tablo 16'de, zamana göre sıcaklık değişimlerinin yer aldığı veriler Tablo 17'de ve bu verilerle ilgili soğurma grafik eğrisi Şekil 107'de gösterilmiştir.

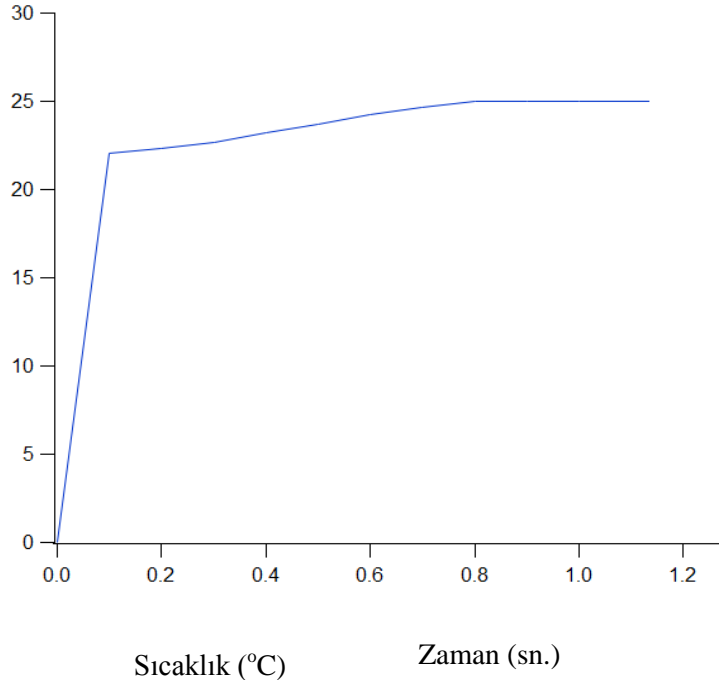
Tablo 16 Soğutucu parça – 1'in ısıl iletim tablosu

Ayarlar		
Display Time	End Time	
Sonuçlar		
Sıcaklık	257,57 W	-257,57 W
Maksimum Değer Zamandaki Sonuç		
Sıcaklık	257,57 W	-257,57 W

Minimum Değer Zamandaki Sonuç		
Sıcaklık	257,57 W	-257,57 W
Bilgi		
Zaman Ölçütü	1, s	
Referans Değer	22 °C	

Tablo 17 Soğutucu parça – 1(SP1)'in zamana göre ısı veri tablosu

Zaman	Minimum derece	Maksimum derece
0,1	22,079	100,
0,2	22,312	100,
0,3	22,691	100,
0,4	23,185	100,
0,5	23,721	100,
0,6	24,225	100,
0,7	24,664	100,
0,8	24,966	100,
0,9	25,	100,
1,	25,	100,

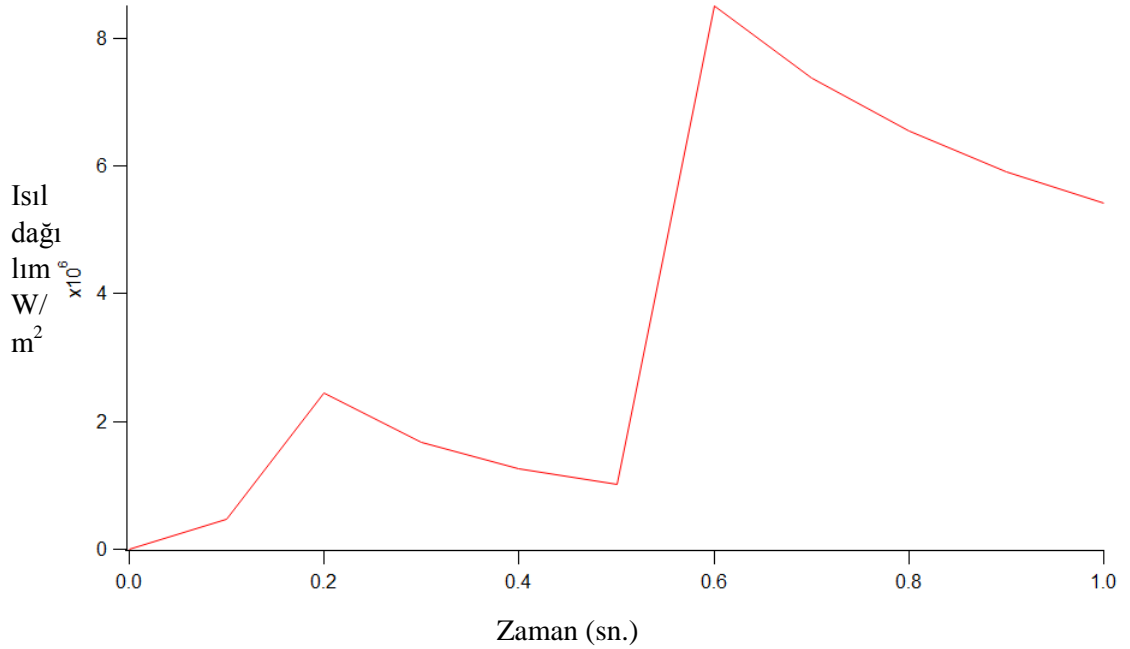


Şekil 107 Soğutma Parçası – 1'in (SP1) Isı Grafiği

Soğutma parçası – 1(SP1)'in yapılan analizinde her bir kesit ölçüsünde yapılan ısı iletim zamana bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. ısı iletim zamana bağlı olarak verileri Tablo 18’de, bu verilere ait olan grafik de Şekil 116’de gösterilmiştir.

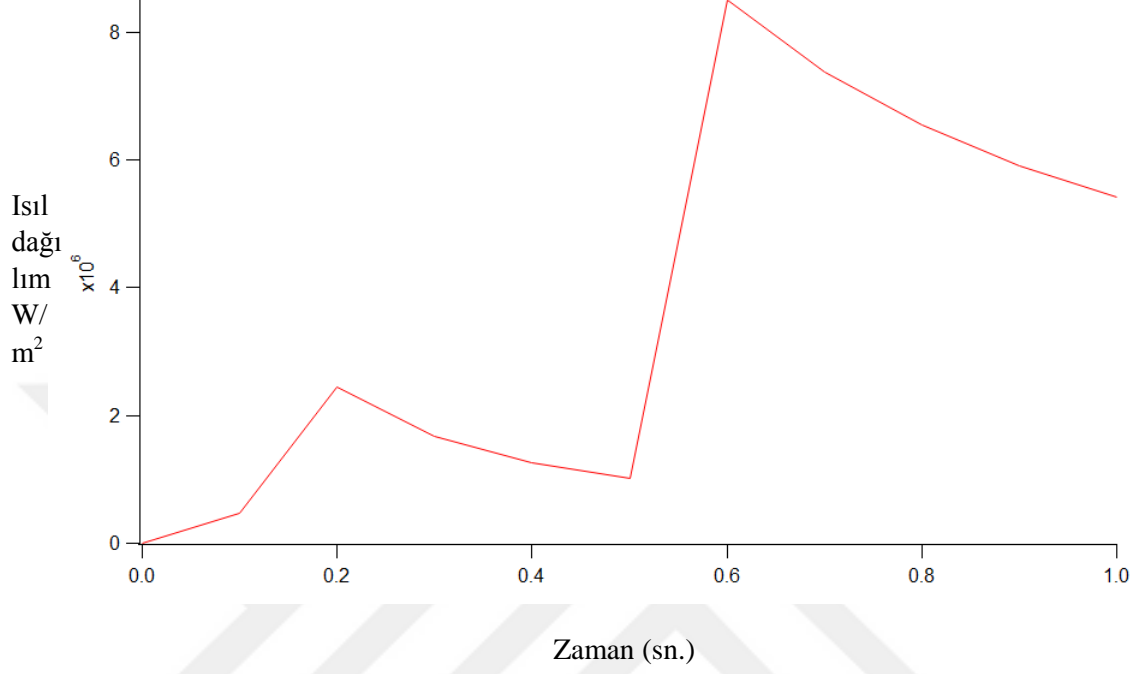
Tablo 18 Soğutucu parça – 1(SP1)'in zamana göre ısı iletim tablosu

Zaman	Minimum W/m ²	Maksimum W/m ²
0,1 sn.	4,5443.10 ⁶	4,628.10 ⁶
0,2 sn.	2,3284.10 ⁶	2,4417.10 ⁶
0,3 sn.	1,5087.10 ⁶	1,6656.10 ⁶
0,4 sn.	1,0833.10 ⁶	1,2619.10 ⁶
0,5 sn.	8,278.10 ⁶	1,0148.10 ⁶
0,6 sn.	6,6345.10 ⁶	8,5064.10 ⁶
0,7 sn.	5,541.10 ⁶	7,3722.10 ⁶
0,8 sn.	4,7738.10 ⁶	6,5413.10 ⁶
0,9 sn.	4,2141.10 ⁶	5,9084.10 ⁶
1, sn.	3,7931.10 ⁶	5,4136.10 ⁶

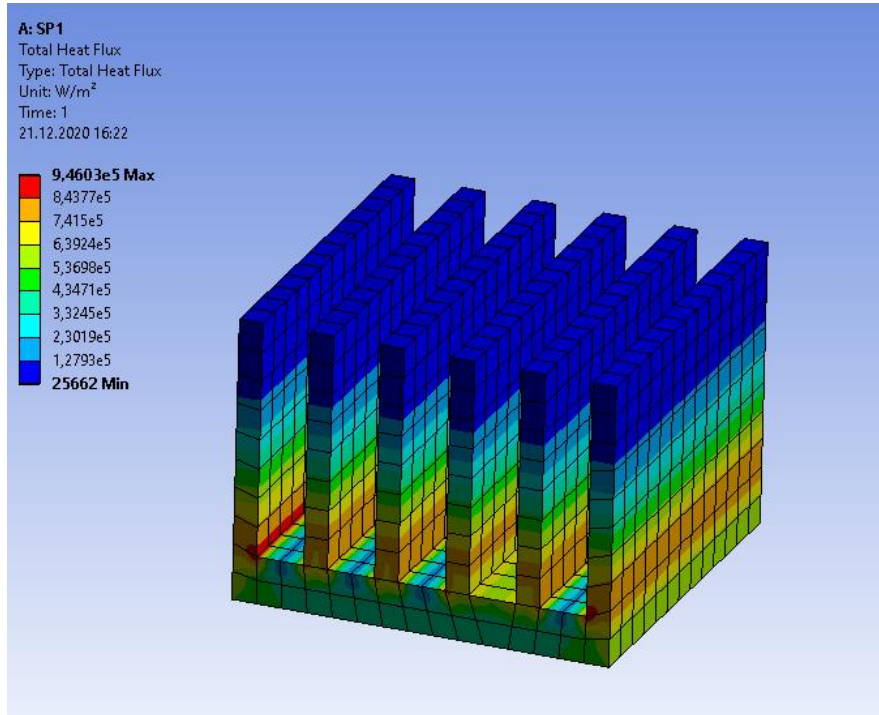


Şekil 108 Soğutma Parçası – 1'in (SP1) maksimum W/m² ısı iletim analizi

Soğutma Parçası – 1 ile ilgili ısı iletim grafiği Şekil – 109 ısı dağılımı ile ilgili analiz Şekil – 110’da gösterilmiştir.



Şekil 109 Soğutma Parçası – 1’in (SP) minimum W/m^2 ısı dağılım analizi



Şekil 110 Soğutma Parçası – 1 (SP1)’nin Isıl İletimi

5.2. Soğutma Parçası – 2 Analiz Verileri

Soğutucu malzemenin yapısal özelliği analiz programında Alüminyum alaşım olarak tanımlanmıştır. Tanımlama ile ilgili veriler soğutucu parçaların analiz sonuçları ve Soğutucu parçanın yapısal özellikleri ilgili veriler Tablo 19’da Soğutucu Parça ile ilgili teknik ölçülerin yer aldığı veriler Tablo 20’de belirtilmiştir.

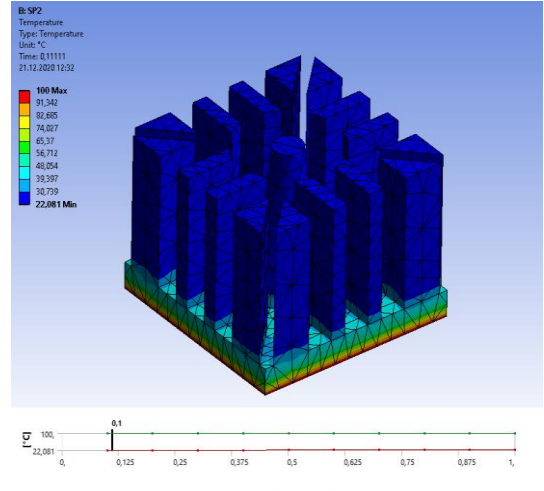
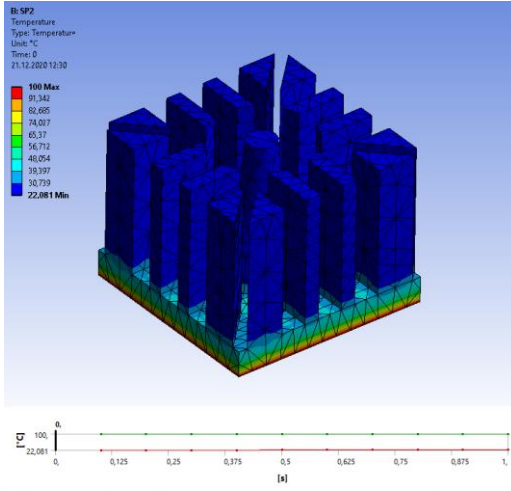
Tablo 19 Soğutma Parçası – 2 (SP2)ile ilgili Teknik veriler

Grafik Özellikleri	
Şeffaflık	1
Tanım	
Bastırılmış	Hayır
Sertlik Davranışı	Esnek
Koordinat Sistem	Varsayılan Koordinat Sistemi
Atanan Malzeme	Alüminyum Alaşım
Termal Gerilme Etkileri	Evet

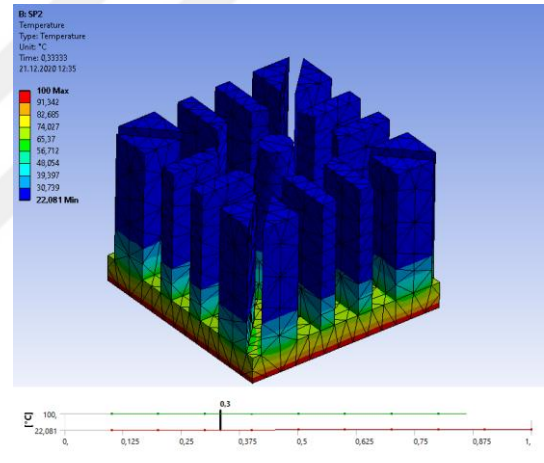
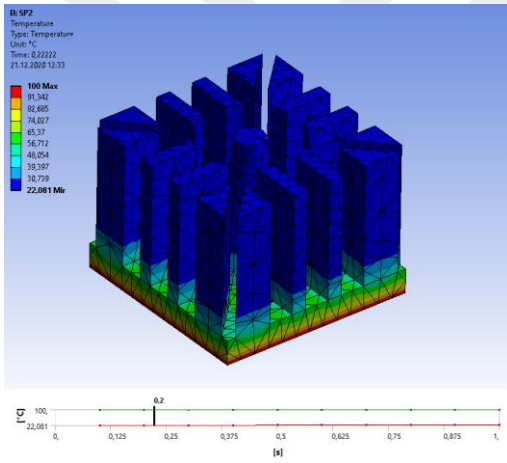
Tablo 20 Soğutma Parçası – 2’nin (SP2) Şekil özellikleri verisi

Düğümler	7977
Elementler	3744
Kitle Metrik	Kapalı
Part Tolerance:	0,00000001

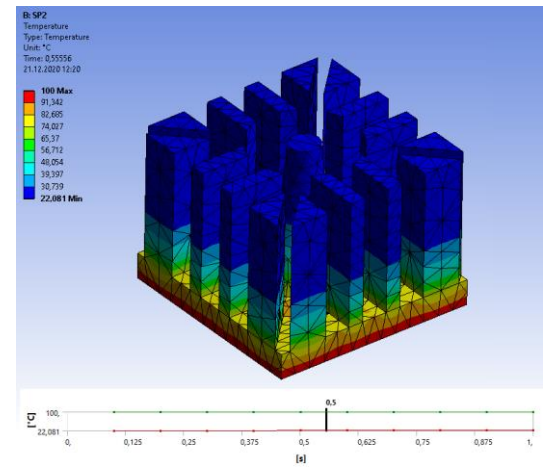
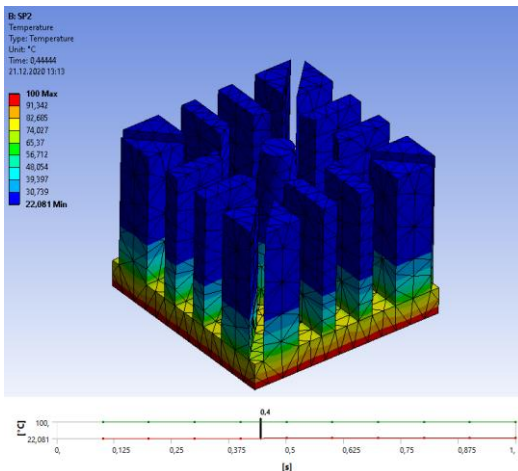
Soğutma parçası – 1 için ısıl dağılımının zaman periyodu sıfır ile bir saniye zaman aralığında belirtilmiştir. Bu süre aralığında geçen ısıl iletim zaman silimi 0,1 sn. aralıklarla değerlendirilen sıcaklık değişimleri ve değişimleri gösteren zaman periyotları Şekil 111, Şekil 112, Şekil 113, Şekil 114, ve Şekil 115’de gösterilmiştir.



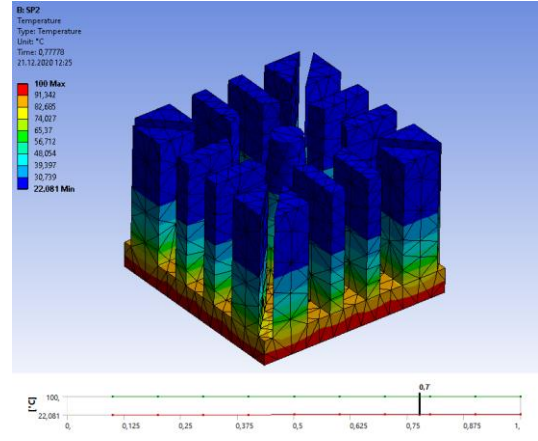
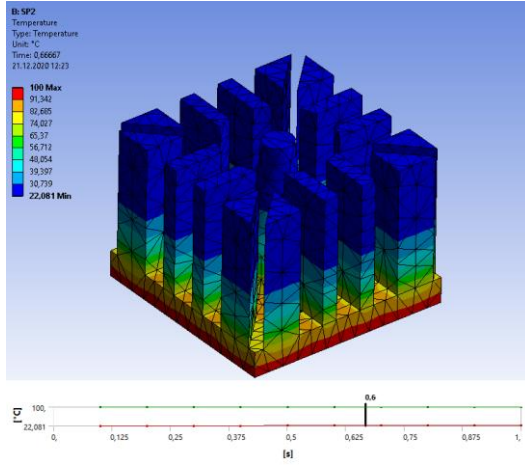
Şekil 111 SP2'in 0 ve 0.1 Saniyedeki Isıl Dağılımı



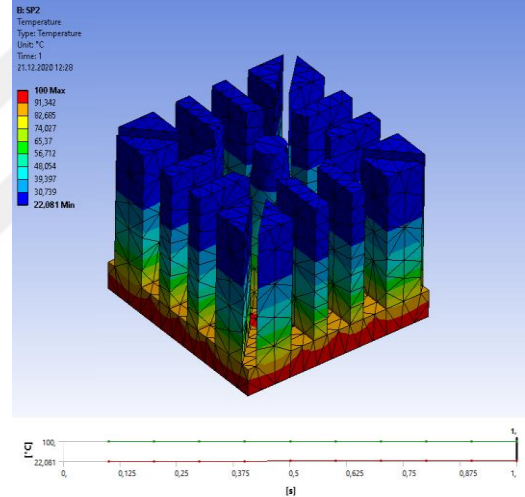
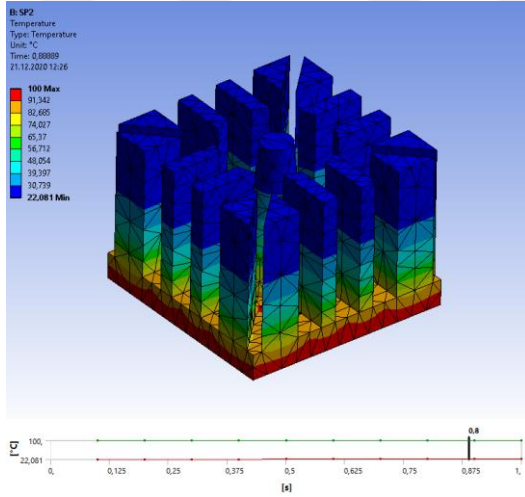
Şekil 112 SP2'in 0.2 ve 0.3 Saniyedeki Isıl Dağılımı



Şekil 113 SP2'in 0.4 ve 0.5 Saniyedeki Isıl Dağılımı



Şekil 114 SP2'in 0.6 ve 0.7 Saniyedeki Isıl Dağılımı



Şekil 115 SP2'in 0.8 ve 1 Saniyedeki Isıl Dağılımı

Soğutucu hazne – 2 (SP2) ile ilgili Katı Hal Termal verilerinin yer aldığı ısıl iletim gücü Tablo 21’de, zamana göre sıcaklık değişimlerinin yer aldığı veriler Tablo 22’de ve bu verilerle ilgili soğurma grafik eğrisi Şekil 129’de gösterilmiştir.

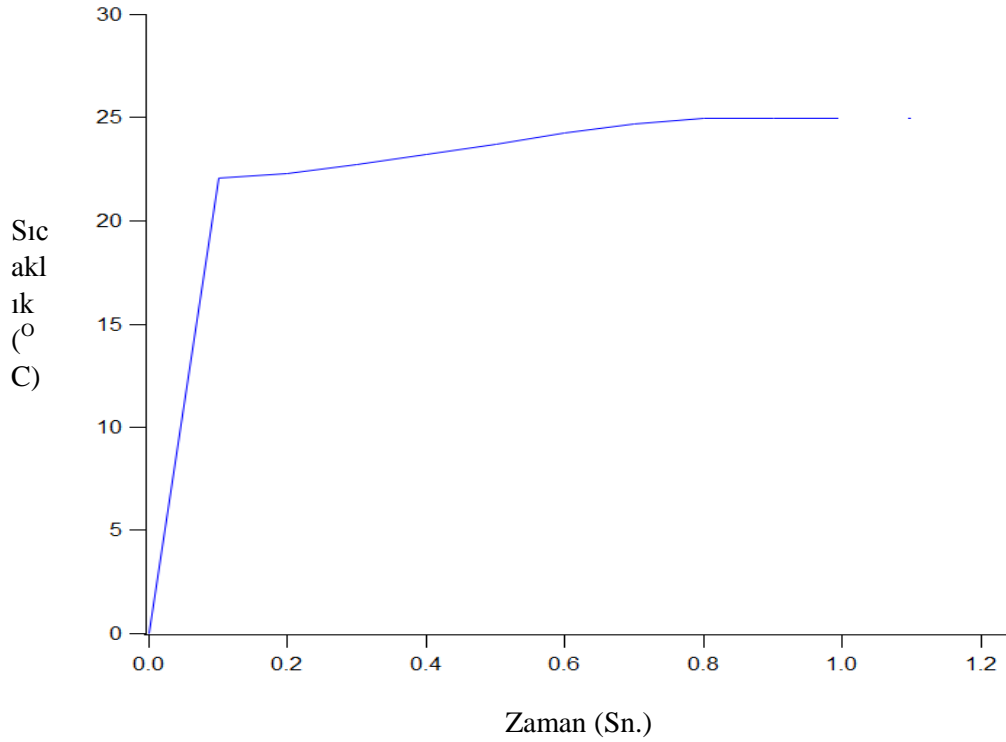
Tablo 21 Soğutma Parçası – 2’nin (SP2) haznesi özellikleri

Ayarlar		
Display Time	End Time	
Sonuçlar		
Sıcaklık	-99,846 W	-99,846 W
Maksimum Değerdeki Zamandaki Sonuç		
Sıcaklık	-99,846 W	-99,846 W

Minimum Değerdeki Zamandaki Sonuç		
Sıcaklık	99,846 W	-99,846 W
Bilgi		
Zaman Ölçütü	1 sn	
Referans değer	22 °C	

Tablo 22 Soğutucu parça – 2 (SP2)'in zamana göre ısı veri tablosu

Zaman	Minimum derece	Maksimum derece
0,1	22,081	100
0,2	22,316	100
0,3	22,706	100
0,4	23,2	100
0,5	23,734	100
0,6	24,25	100
0,7	24,693	100
0,8	24,953	100
0,9	25,	10
1,	25,	100,

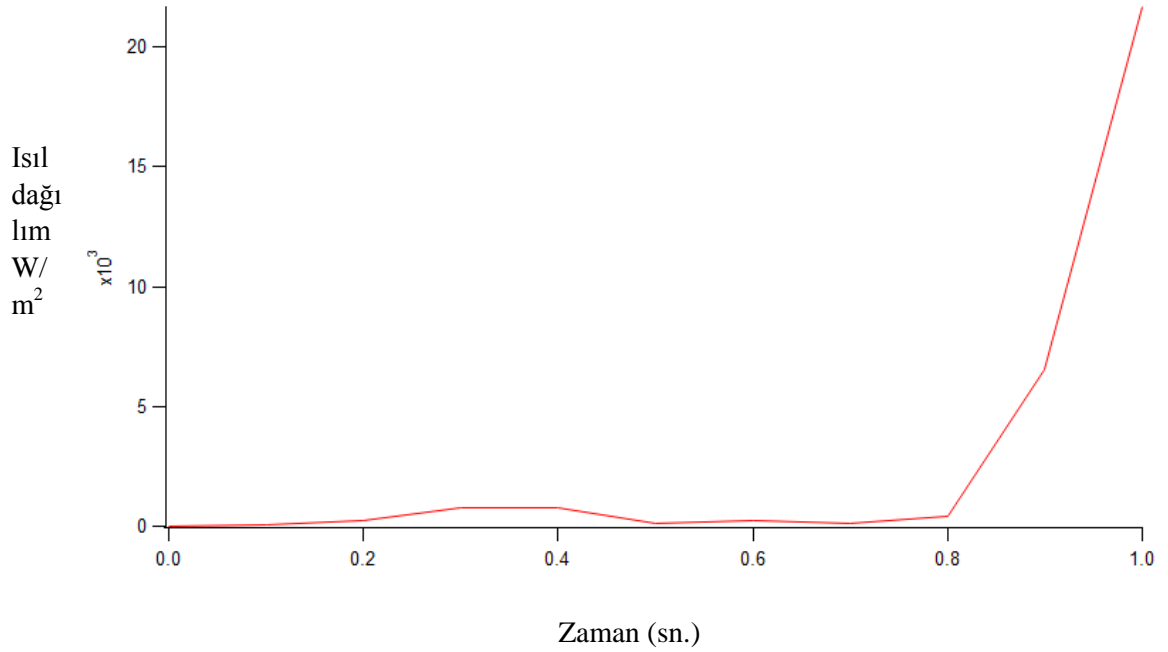


Şekil 116 Soğutma Parçası – 2 (SP2)'nin Isıl Grafiği

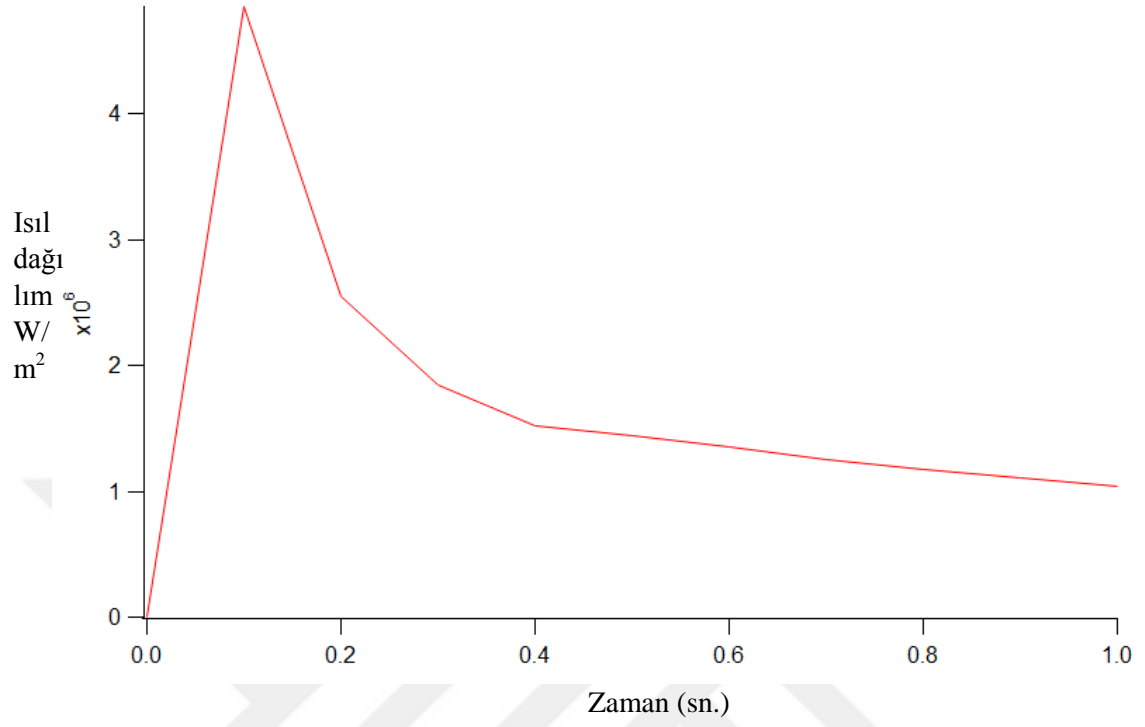
Soğutma parçası – 2(SP2)'nin yapılan analizinde her bir kesit ölçüsünde yapılan ısı iletim zamana bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. ısı iletim zamana bağlı olarak verileri Tablo 23’de, bu verilere ait olan grafik de Şekil 117, Şekil 118, ısı iletimi Şekil 119’de gösterilmiştir.

Tablo 23 Soğutucu parça – 2’in (SP2) zamana göre ısı iletim tablosu

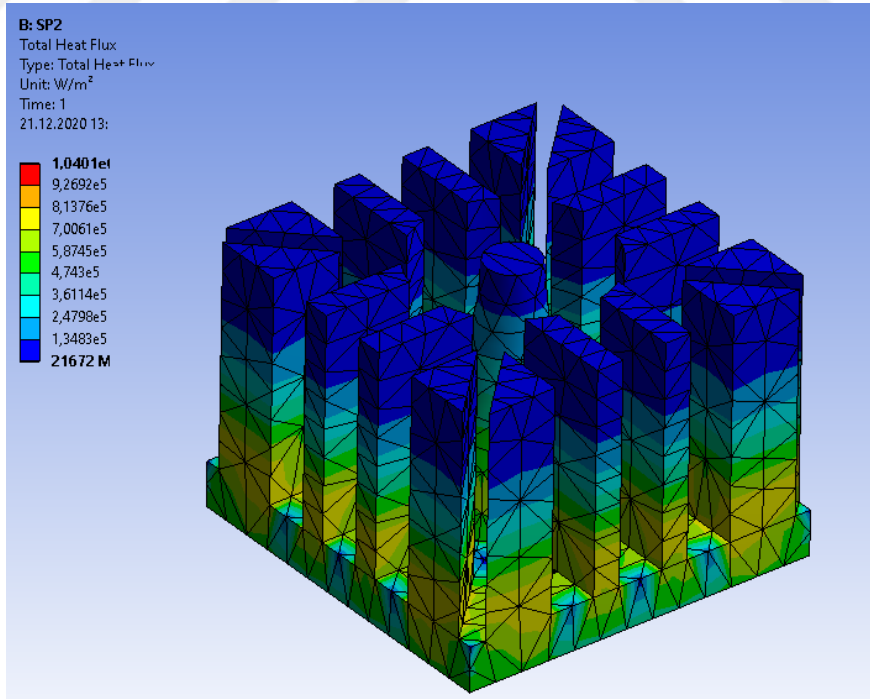
Zaman	Minimum W/m ²	Maksimum W/m ²
0,1 sn.	58,729	4,8517. 10 ⁶
0,2 sn.	239,92	2,5493. 10 ⁶
0,3 sn.	787,23	1,8471. 10 ⁶
0,4 sn.	756,86	1,5184. 10 ⁶
0,5 sn.	101,13	1,4428. 10 ⁶
0,6 sn.	229,03	1,3479. 10 ⁶
0,7 sn.	128,33	1,2568. 10 ⁶
0,8 sn.	415,32	1,175. 10 ⁶
0,9 sn.	6541,3	1,1031. 10 ⁶
1, sn.	21672	1,0401. 10 ⁶



Şekil 117 Soğutma Parçası – 2’nin (SP2) minimum W/m² ısı dağılım analizi



Şekil 118 Soğutma Parçası – 2'nin (SP2) maximum W/m² ısıl dağılım analizi



Şekil 119 Soğutma Parçası – 2'nin (SP2) Isıl İletimi

5.3. Soğutma Parçası – 3 (SP3) Analiz Sonuçları

Soğutucu parça – 3’ün yapısal özelliği analiz programında Alüminyum alaşım olarak tanımlanmıştır. Tanımlama ile ilgili veriler soğutucu parçaların analiz sonuçları ve Soğutucu parçanın yapısal özellikleri ilgili veriler Tablo 24’de Soğutucu Parça ile ilgili teknik ölçülerin yer aldığı veriler Tablo 25’de belirtilmiştir.

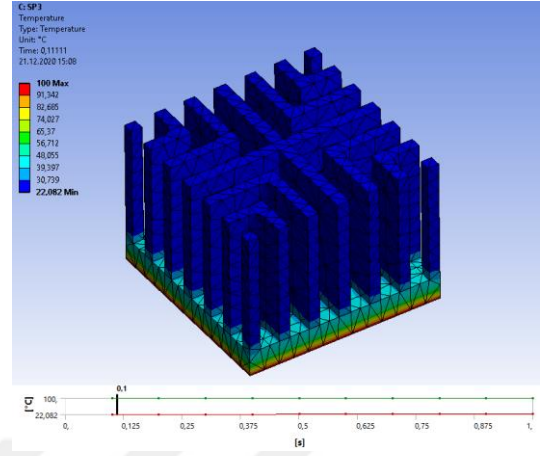
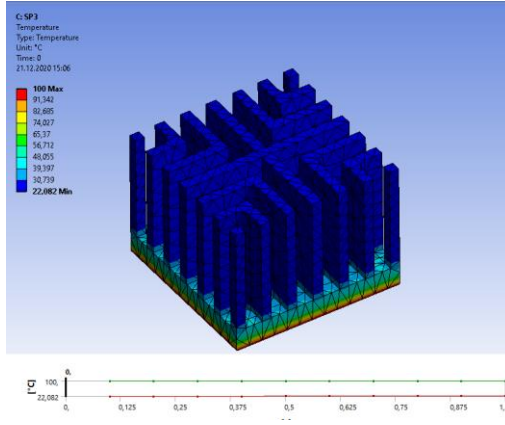
Tablo 24 Soğutma Parçası – 3 (SP3) ile ilgili Teknik veriler

Grafik Özellikleri	
Şeffaflık	1
Tanım	
Bastırılmış	Hayır
Sertlik Davranışı	Esnek
Koordinat Sistem	Varsayılan Koordinat Sistemi
Atanan Malzeme	Alüminyum Alaşım
Termal Gerilme Etkileri	Evet

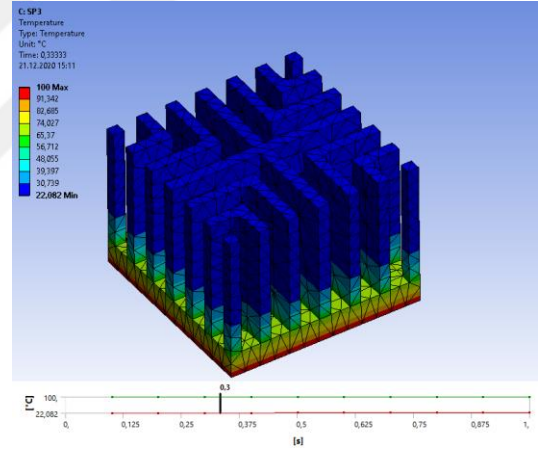
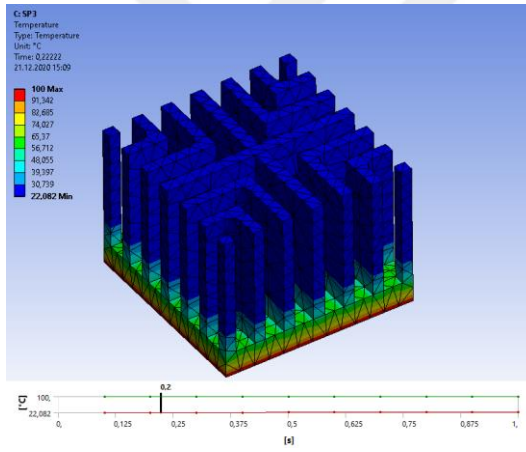
Tablo 25 Soğutma Parçası – 3’ün Şekil özellikleri

Düğümler	7970
Elementler	3740
Kitle Metrik	Kapalı
Part Tolerance:	0,00000001

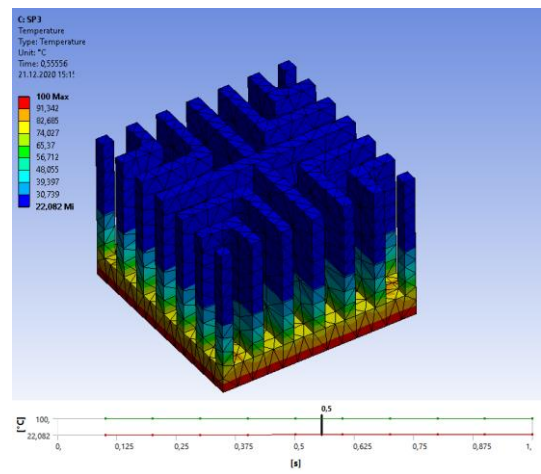
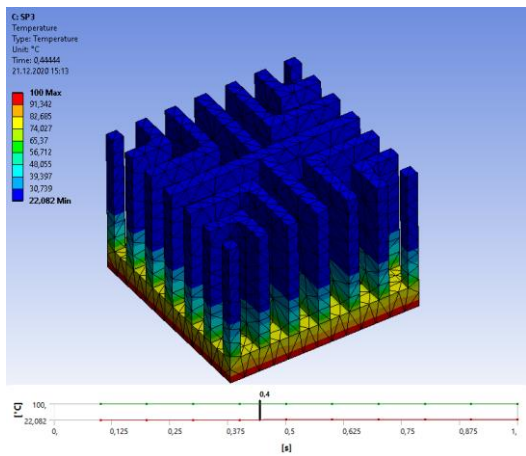
Soğutma parçası – 3 için ısı dağılımının zaman periyodu sıfır ile bir saniye zaman aralığında belirtilmiştir. Bu süre aralığında geçen ısı iletim zaman silimi 0,1 sn. aralıklarla değerlendirilen sıcaklık değişimleri ve değişimleri gösteren zaman periyotları Şekil 120, Şekil 121, Şekil 122, Şekil 123, ve Şekil 124’de gösterilmiştir.



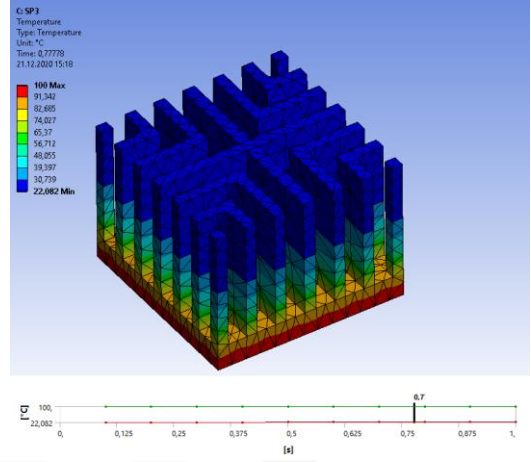
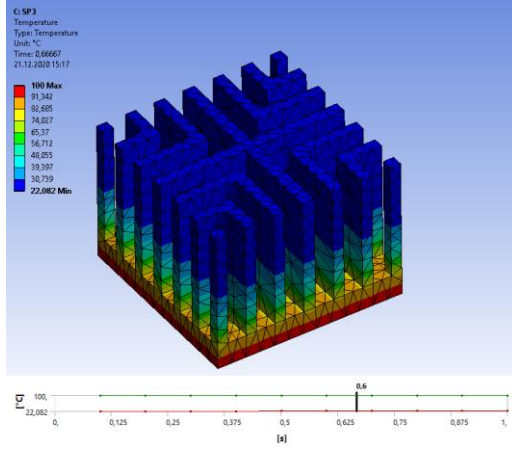
Şekil 120 SP3'ün 0 ve 0.1 Saniyedeki Isıl Dağılımı



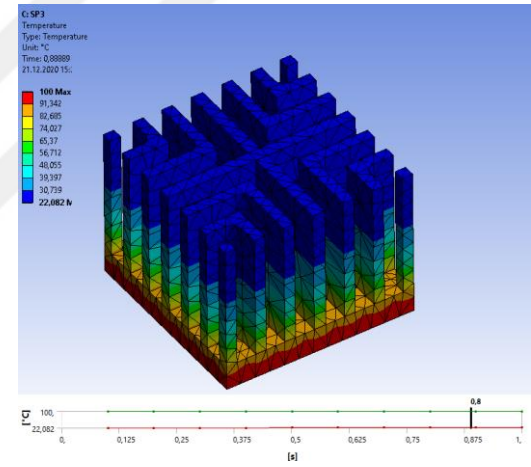
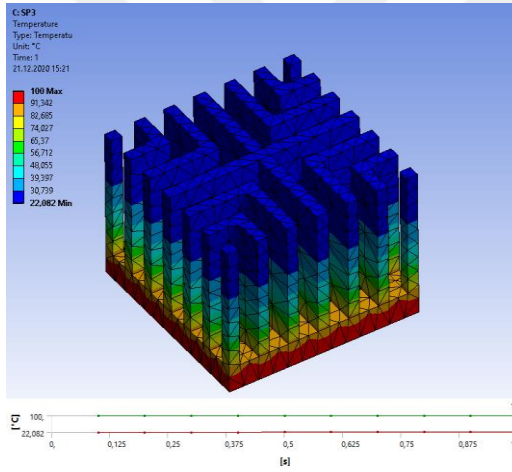
Şekil 121 SP3'ün 0.2 ve 0.3 Saniyedeki Isıl Dağılımı



Şekil 122 SP3'ün 0.4 ve 0.5 Saniyedeki Isıl Dağılımı



Şekil 123 SP3'ün 0.6 ve 0.7 Saniyedeki Isıl Dağılımı



Şekil 124 SP3'ün 0.8 ve 1 Saniyedeki Isıl Dağılımı

Soğutucu hazne – 3 (SP3) ile ilgili Katı Hal Termal verilerinin yer aldığı ısıl iletim gücü Tablo 26'de, zamana göre sıcaklık değişimlerinin yer aldığı veriler Tablo 27'de ve bu verilerle ilgili soğurma grafik eğrisi Şekil 125'de gösterilmiştir.

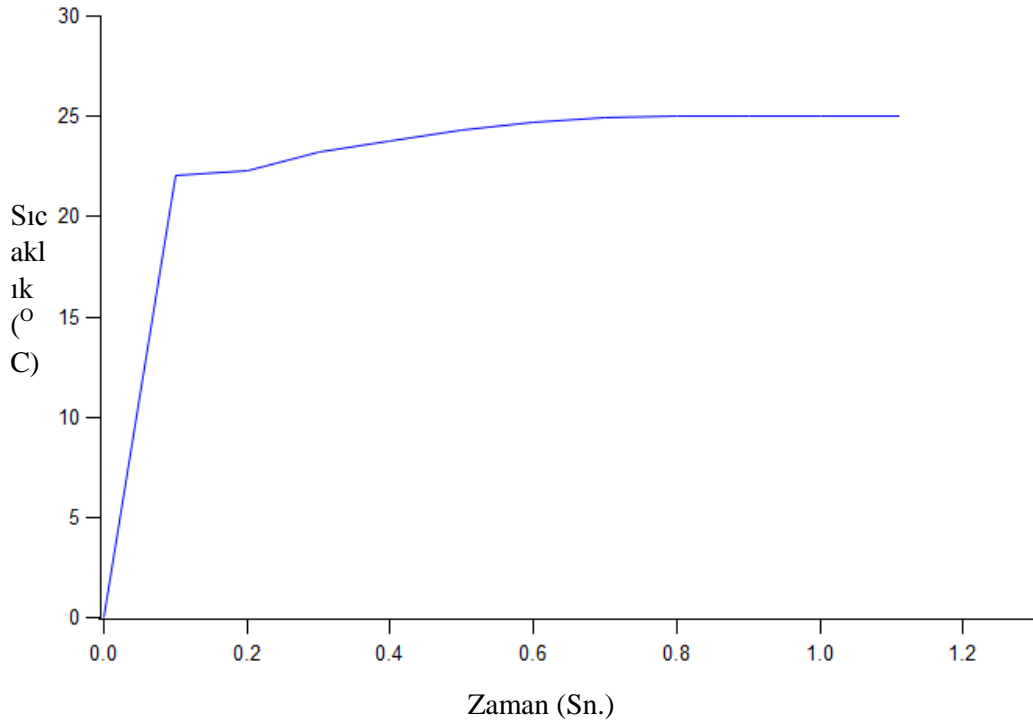
Tablo 26 Soğutucu parça – 3'ün (SP3) ısıl iletim tablosu

Ayarlar		
Display Time	End Time	
Sonuçlar		
Sıcaklık	237,1 W	-237,1 W
Maksimum Değer Zamandaki Sonuç		
Sıcaklık	257,57 W	-237,1 W

Minimum Değer Zamandaki Sonuç		
Sıcaklık	237,1 W	-237,1 W
Bilgi		
Referans Değer	22 °C	

Tablo 27 Soğutucu parça – 3'ün (SP3) Zamana Göre Isı Veri Tablosu

Zaman	Minimum derece	Maksimum derece
0,1	22,082	100,
0,2	22,322	100,
0,3	22,722	100,
0,4	23,227	100,
0,5	23,779	100,
0,6	24,294	100,
0,7	24,728	100,
0,8	24,973	100,
0,9	25,	100,
1,	25,	100,

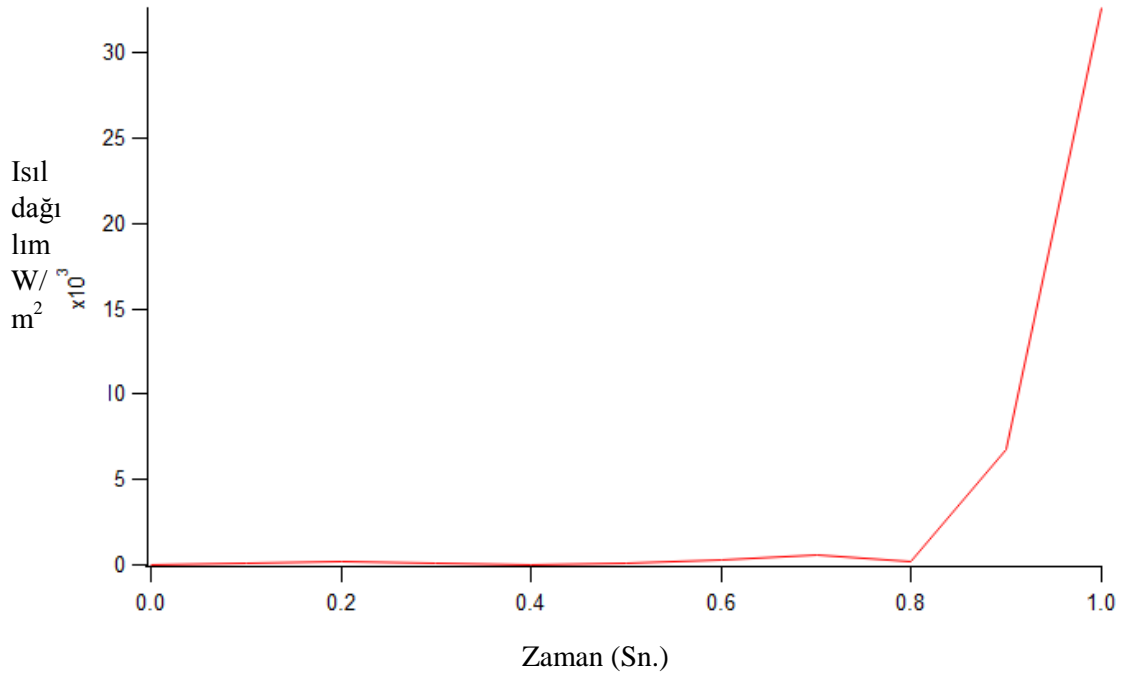


Şekil 125 Soğutma Parçası – 3'ün Isı Grafiği

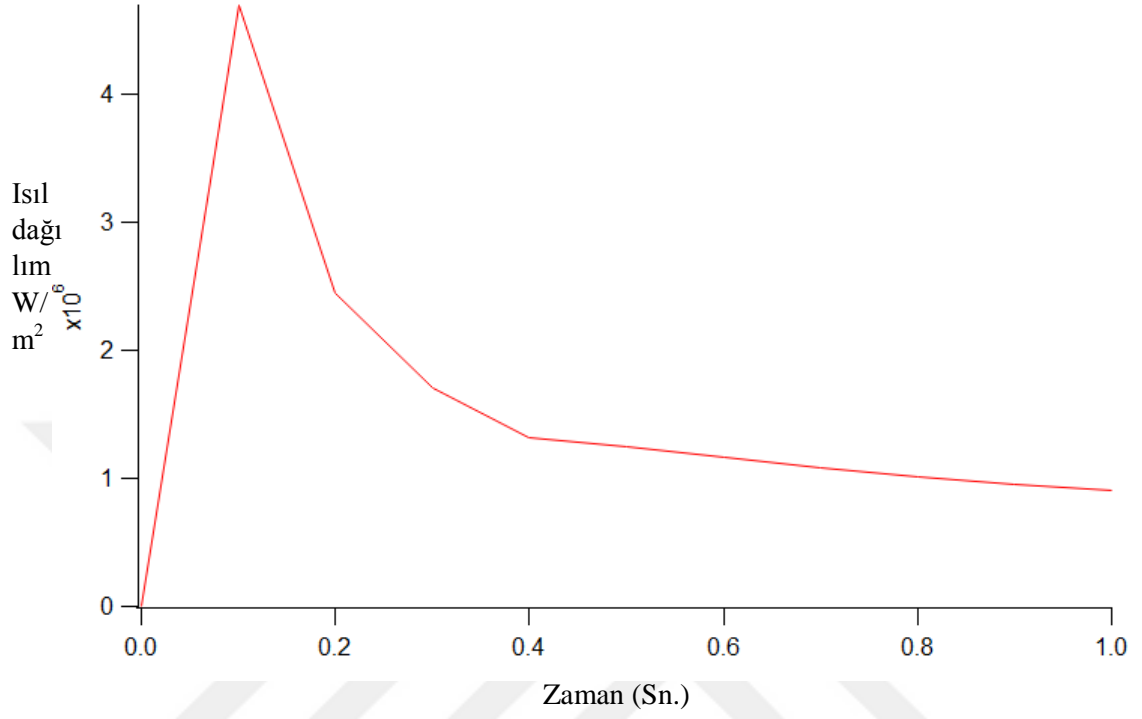
Soğutma parçası – 1(SP1)'in yapılan analizinde her bir kesit ölçüsünde yapılan ısı iletim zamana bağı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. ısı iletim zamana bağı olarak verileri Tablo 28'de, bu verilere ait olan grafik de Şekil 126'da ve Şekil 128'de gösterilmiştir. Soğutucu parça – 3'ün ısı iletim grafiği Şekil 146'de verilmiştir.

Tablo 28 Soğutucu parça – 3'in (SP3) zamana göre ısı iletimi

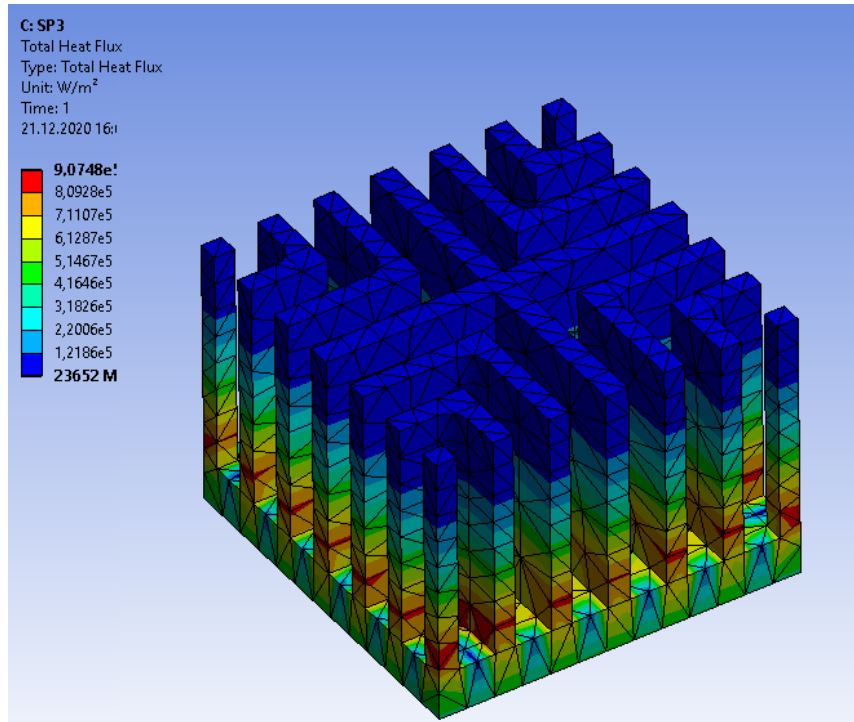
Zaman	Minimum W/m ²	Maksimum W/m ²
0,1 sn.	52,045	4,6939.10 ⁶
0,2 sn.	154,03	2,4527.10 ⁶
0,3 sn.	74,605	1,7028.10 ⁶
0,4 sn.	40,424	1,32.10 ⁶
0,5 sn.	52,118	1,2496.10 ⁶
0,6 sn.	336,32	1,1636.10 ⁶
0,7 sn.	620,89	1,0829.10 ⁶
0,8 sn.	178,96	1,0108.10 ⁶
0,9 sn.	6746,1	9,528.10 ⁵
1, sn.	23652	9,0748.10 ⁵



Şekil 126 Soğutma Parçası – 3'ün (SP3) Minimum W/m² ısı iletim analizi



Şekil 127 Soğutma Parçası – 3'ün (SP3) maksimum W/m² ısı dağılım analizi



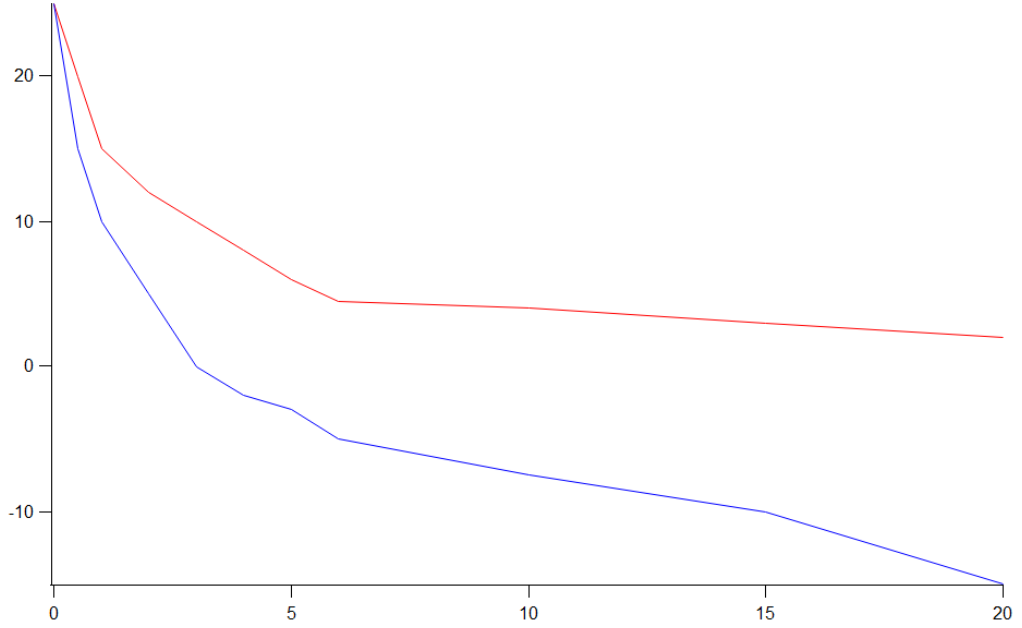
Şekil 128 Soğutma Parçası – 3 (SP3)'ün Isıl İletimi

6. DENEYSEL ANALİZ SONUÇLARI

6.1. TEC Modül Yüzey Isı Dağılımı

Sabit yük ve akım altında çalışan termoelektrik modülün yapılan incelemeler ve deneylerde, ısınan yüzeyin belli bir zaman periyotundan sonra soğuyan yüzeyini etkilediği ve soğuma verimliliğini ciddi şekilde etkilediği görülmüştür. Bu etkileri değişik yük ve akımda termoelektrik modül yüzeyinde aynı etkiyi yaptığı gözlemlenmiştir.

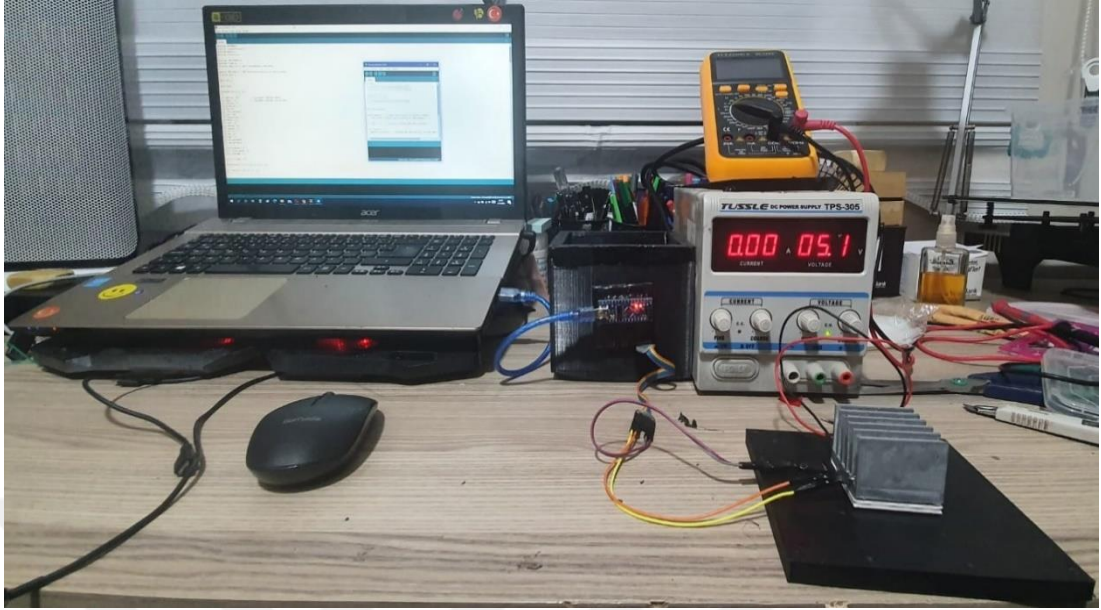
Soğutma haznesinde, soğutma tekniğini etkili kullanmak adına TEC için çeşitli voltajlarda eklemeler yapılarak geometrik şekildeki alüminyum soğutucuların değerlerini ölçerek gözlemlenmiştir. Buna göre termoelektrik modüle verdiğimiz yük ve buna bağlı çekilen akım değerlere karşılık elde ettiğimiz ısı değerleri birer dakikalık aralıklarla gözlemlenmiş olup Şekil 129'da gösterilmiştir.



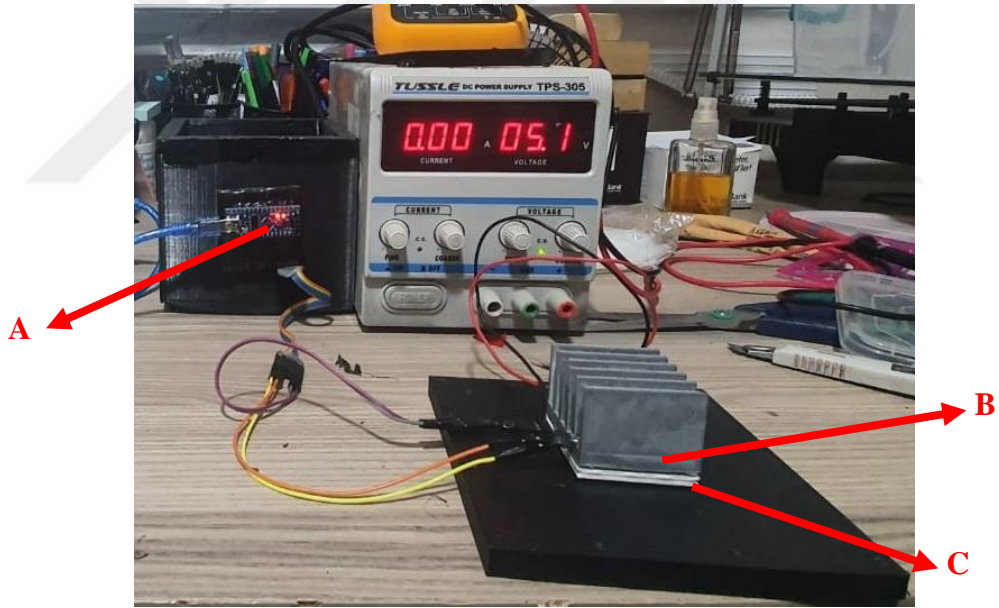
Şekil 129 Zamana Göre ısı parametreleri

6.2. Soğutucuların Isı Dağılımı

Termoelektrik modülün ısınan yüzeyine eklenen, alüminyumdan yapılmış çeşitli geometrik şekillerdeki parçalar, yapılan test sonucunda kapladığı yüzey alanına göre değişiklikler gösterebilmektedir. Ölçüm yapılan soğutucu parçanın yer aldığı görsel Şekil 130'de ve Şekil 131'de yer almaktadır.



Şekil 130 Test Düzenegi



Şekil 131 Test Bağlantıları

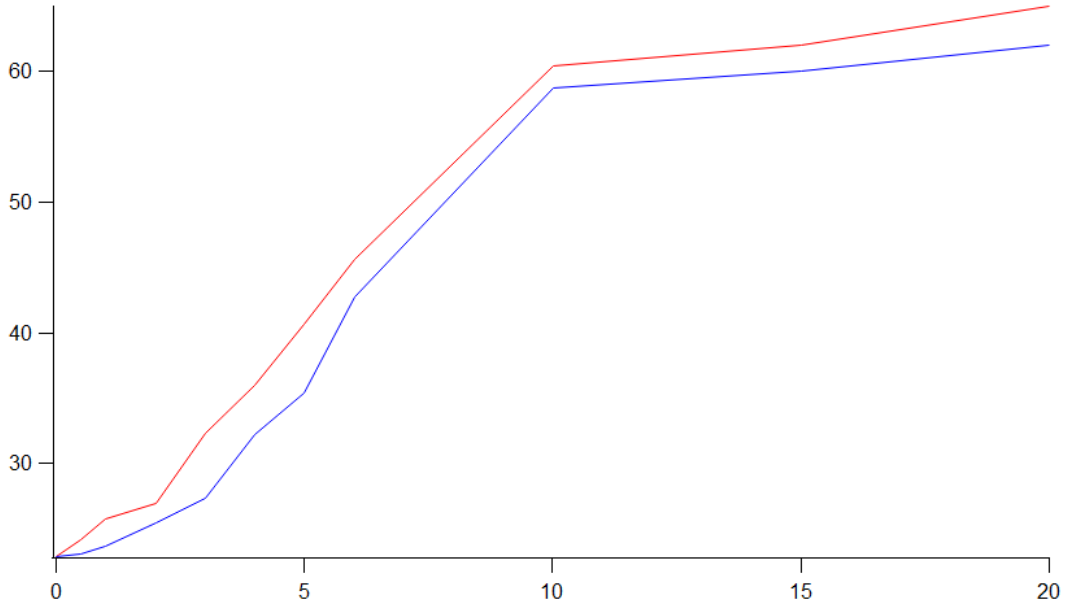
A. Arduino nano kart B. TE modül C. Soğutucu

6.2.1. Soğutma Parçası – 1 Isı Dağılım Verileri

Termoelektrik modül yüzeyine bağlanmış olan birinci ısıl soğutma parçasının zamana göre ölçümleri sonucu elde edilen veriler tablo 29’da gösterilmiştir. Buna göre yer alan veriler Şekil 132’da gösterilmiştir.

Tablo 29 Soğutma Parçası – 1 Isı Dağılım Verileri

ZAMAN	Alt Yüzey ısısı	Üst Yüzey ısısı
Başlangıç	22,9	22,9
30 sn	24,2	23,1
1 dk	25,8	23,7
2 dk	27	25,5
3 dk	32,3	27,4
4 dk	36	32,2
5 dk	40,7	35,4
6 dk	45,6	42,8
10 dk	60,4	58,7



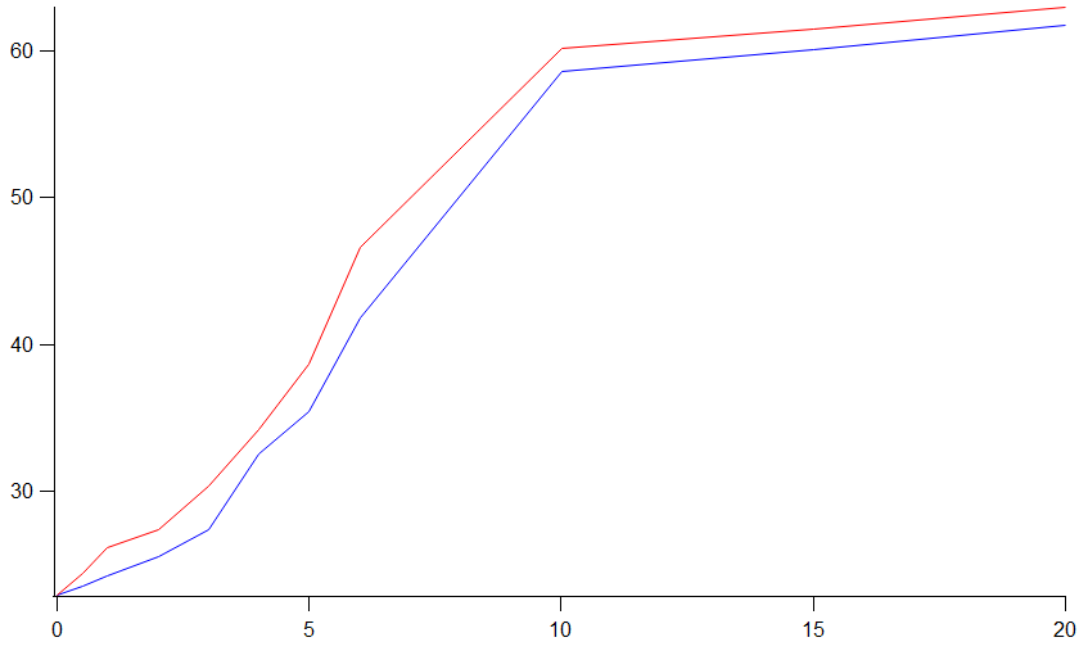
Şekil 132 Soğutma Parçası – 1 (SP1) Isı Dağılım Grafiği

6.2.2. Soğutma Parçası – 2 Isı Dağılım Verileri

Termoelektrik modül yüzeyine bağlanmış olan birinci ısıl soğutma parçasının zamana göre ölçümleri sonucu elde edilen veriler Tablo 30'da gösterilmiştir. Buna göre yer alan veriler Şekil 133'de gösterilmiştir.

Tablo 30 Soğutma Parçası – 2 Isı Dağılım Verileri

ZAMAN	Alt Yüzey ısısı	Üst Yüzey ısısı
Başlangıç	22,9	22,9
30 sn	24,4	23,5
1 dk	26,1	24,2
2 dk	27,4	25,5
3 dk	30,3	27,4
4 dk	34,2	32,5
5 dk	38,7	35,4
6 dk	46,6	41,8
10 dk	60,2	58,6



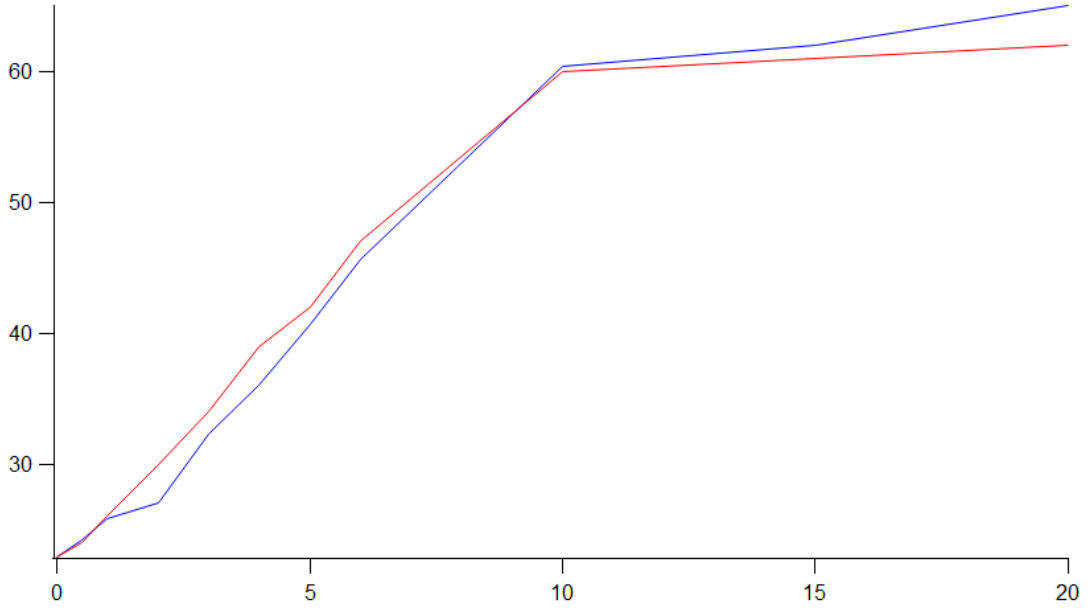
Şekil 133 Soğutma Parçası – 2 (SP2) Isı Dağılım Grafiği

6.2.3. Soğutma Parçası – 3 Isı Dağılım Verileri

Termoelektrik modül yüzeyine bağlanmış olan birinci ısıl soğutma parçasının zamana göre ölçümleri sonucu elde edilen veriler Tablo 31’de gösterilmiştir. Buna göre yer alan veriler Şekil 134’de gösterilmiştir.

Tablo 31 Soğutma Parçası – 3 ısı dağılım verileri

ZAMAN	Alt Yüzey ısısı	Üst Yüzey ısısı
Başlangıç	22,9	22,9
30 sn	24,6	23,5
1 dk	26,1	25,2
2 dk	30,4	27,5
3 dk	34,3	30,4
4 dk	39,2	35,5
5 dk	42,7	39,4
6 dk	47,6	44,8
10 dk	60,5	59,6



Şekil 134 Soğutma Parçası – 3 (SP3) Isı Dağılım Grafiği

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Termoelektrik modül katı hal yapısı ile dikkatleri üzerine çekerek, gelişimini sürdürmektedir. Belirli enerji altında ısı performansları artıkça, birçok farklı alanda kullanımını da artmaktadır.

TEC modüllerinin en önemli sorunu sabit enerji altında, ısınan yüzeyin soğuyan yüzeye, belirli bir süreden sonra etki etmesi ve TEC modülünün verimliliğini etkilemesidir. Verimliliğini artırmaya yönelik yapısında birçok termoelektrik özellikli malzeme ile birleşik bulundurmasına rağmen, verimlilik hala en büyük problem teşkil etmektedir.

Isınan yüzeyin, doğru geometrik şekil ile yüksek ısı iletimi sağlayan malzemelerden elde edilen soğutucu parçaların çalışma prensibi, termoelektrik parça yüzeyinde oluşan ısının en hızlı şekilde ve malzemeye zarar vermeyecek şekilde soğutmasını sağlamaktır. TEC yüzey modülünde oluşan ısının düzenli bir şekilde uzaklaştırılması, TEC modülünün soğuma verimliliğini etkileyen en önemli unsurdur. Bu nedenle bugüne kadar yapılan çalışmalar soğutma verimliliğini artırmaya yöneliktir. Yapılan tasarımlar ve bu tasarımlara bağlı olarak gerçekleştirilen modelleme ile üretilen örnek soğutucularda, her bir geometrik şekil içeren soğutucu parçanın, geometrik şekillere göre ısı iletimini etkilediği, etkilediği alana göre ısı iletim direncini malzeme yapısına göre etkilediği görülmüştür. Yapılan sayısal analiz ve test çalışmalarında. Kullanılan geometrik şekillerin ısı dağılımları hemen hemen aynı tepkiler vermektedir. Belirlenen geometrik şekillerdeki ısı iletim farkı, ısı iletim sırasında şekil içinde oluşan ısının bulunduğu havaya bağlı olarak kendi iç ısı dağılımına çarpmasından kaynaklı bir direnç oluşturmaktadır.

Bu bağlamda yapılan analiz çalışmasında, sıfır ile bir saniye aralığında gerçekleştirilen ısı iletim verileri göz önüne alındığında TEC modül yüzeyinde oluşan ısıya karşı malzemenin yapısından kaynaklı anlık bir direnç meydana gelmesine rağmen, bu direncin hızlıca kırıldığı ve malzemenin ısı iletimi gerçekleştirdiği görülmüştür. TEC modül yüzeyinde oluşan ısı, hızlı ve etkili bir şekilde iletilmesinin birçok yöntemi mevcuttur. Yöntemlerin büyük bir çoğunluğu ısıyı en yüksek hızda iletimini sağlamaya odaklanmıştır. Isı iletimi en hızlı şekilde

kaynağından başka bir ortama aktaran maddeler genelde metal elementlerinin yer aldığı bileşiklerden oluşan soğutma haznelerdir. Metal alaşımlardan yapılan bu soğutucular test için prototip üretimleri aşamasında üretim maliyetlerinin fazla olması ve küçük çaplardaki işleme zorluğu sebebiyle test çalışmalarında büyük engel oluşturmaktadır.

Üst üste katmanlar şeklinde birleştirme yöntemi olan eklemeli imalat, üretim teknikleri ve çeşitliliği ile test ve deney maliyet oranlarını önemli ölçüde düşürmektedir. Yapılan çalışmada eklemeli imalat yöntemlerinden, lazer sinterleme yöntemi kullanılarak imal edilen soğutma parçaları (SP1, SP2, SP3), metal alaşım yapıdaki soğutucu malzemeler lazer sinterleme teknolojisi kullanılarak diğer yöntemlere göre ilk aşamada daha ucuza mâl edilmektedir. Ayrıca diğer üretim yöntemleri zaman açısından lazer sinterleme yöntemine göre dezavantaja sahiptir. Katmanlı imalat yöntemlerinden biri olan lazer sinterleme ile toz halindeki alüminyum alaşım malzemelerin, lazer ile mikron hassasiyetinde eritilerek katman katman modellenen geometrik soğutucu şekiller üretilmiştir. Üretilen bu geometrik şekillerin TEC modül yüzeyini birebir kapsayacak şekilde eşit ölçülerden modellenerek üretilmiş, TEC modül yüzeyinde oluşan ısının, soğutucu parçalar üstündeki ısı iletim davranışları ve bu davranışların geometrik şekillerin ısı iletimde etkisi incelenmiştir.

Yapılan analiz çalışmalarındaki geometrik şekillerin davranışları simülasyonda aşamalı şekilde karşılaştırılmıştır. Simülasyonda TEC modül yüzeyinden gelen ısının eklemeli imalat yöntemiyle yapılan soğutucu parçalar üzerindeki dağılımı analiz edilerek, ısı grafiği soğutucu parça üzerinde dağılımı ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda, test modülü geliştirilerek model olarak alınan parçalar termoelektrik modüle bağlanmış, gerçek ısı dağılımı ölçülendirmeleri yapılmıştır. Alınan soğutma parçaları TEC modülüne termal macun ile yapıştırılarak, analiz programında girilen sayısal verilere eşit veya çok yakın oranda ortam oluşturulmuştur. TEC modül soğutucu parçaların üzerinde oluşan ısı, elektronik sensör ile ölçülendirmeler sonunda veri olarak bilgisayarda işlenmiş ve grafiklerle soğutma parçalarının ısı iletimi karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, birer dakikalık periyotlara göre değerler alınmıştır. Son ölçülendirme bir önceki ölçülendirmeden

yaklaşık 5 dakika sonra alınmış ve tablolara eklenmiştir. Elde edilen veriler TEC yüzeyine yakın olan soğutma parçasının hızla ısıyı çektiği ve parçanın belli zaman aralıklarında homojen olarak dağılım yaptığı tespit edilmiştir. Parça ilk ısıya maruz kaldığında yüksek oranda soğurma yaparken soğutma parçasının zamana bağlı olarak ısınmasıyla soğuma hızı da zamana göre azalmaktadır.

TEC alana eklenen soğutma haznelerinin et kalınlık yoğunluğu, yüzey alana doğru fazla olması, o soğutucu parçanın termoelektrik modülünün yüzeyinde oluşan ısının iletimini daha iyi yapacağı ve bağlı bulunduğu ortam ısı sirkülasyonuna imkân verecek şekilde tasarımın yapılması, TEC modül yüzeyindeki ısıyı daha iyi bir şekilde soğumasını ve TEC modülünün verimliliğini artıracığı sonucuna varılmıştır. Artan verimlilikle birlikte, hızlı soğutma gereksinimi olan medikal sektörlerde ve elektronik devre kartlarında etkili bir şekilde kullanılmasının önü açılacaktır.

KAYNAKLAR

- Adhikari, K. (2017). Thermocouple: Facts and Theories. *The Himalayan Physics*, 6(7), 10-14.
<https://pdfs.semanticscholar.org/8379/68e275860a02a0e7c57c5edbfd799fb3226c.pdf> adresinden alındı
- Ağaçayak, A. C., Neşeli, S., Yalçın, G., & Terzioğlu, H. (2017). *The Impact of Different Electric Connection Types in Thermoelectric Generator Modules on Power*. Konya: Selçuk Üniversitesi.
- ALUTEAM. (tarih yok). *Alüminyum Metal Malzeme Sinterleme Özellikleri AlSi10Mg*. İstanbul: Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi.
- Berber, F. S. (2008). *Kendinden termal elektrik kaynaklı mikroişlemci soğutma sistemi*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Bozkurt, B. (2020). *Termoelektrik Modül İçi İleri Mühendislik Malzemelerin Termoelektrik Modülün Termal Davranışına Etkisinin Deneysel Ve Sayısal Analizi*. İstanbul: Gedik Üniversitesi.
- Bubnova, O. K. (2011). Optimization of the thermoelectric figure of merit in the conducting polymer poly(3,4-ethylenedioxythiophene). *Nature Materials*, 10(6), 429–433.
- Bulduk, M. (2020). *Doğrudan Metal Lazer Sinterleme Yöntemi İle Üretilen Latis Yapıların Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi*. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi.
- Buluş, O. (2019). *Finli Alüminyum Soğutucuların Sonlu Hacimler*. Kocaeli: Gebze Teknik Üniversitesi.
- Chen, J. Y. (1996). The influence of Thomson effect on the maximum power output and maximum efficiency of a thermoelectric generator. *Journal of Applied Physics*, 79(11), 8823–8828.
- Çakmaz, E. S. (2019). *Soğuk Zincir Kutularında Peltier İle Soğutma Tasarımı Ve Analizi*. İstanbul: Marmara Üniversitesi.
- Dongliang, Z., & Gang, T. (2014). A review of thermoelectric cooling: Materials, modeling and applications. *Applied Thermal Engineering*, 15 - 24.
- Elsheikh, M. H. (2014). A review on thermoelectric renewable energy: Principle parameters that affect their performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(30), 337-355.
- Engin, D. (2014). *Sensörler ve Dönüştürücüler*. İzmir: Ege Üniversitesi.
- Fadıloğlu, I. A. (2013). *Sensör Çeşitleri Robotik Alanda Kullanılan Sensörler ve FSR Sensör Uygulamaları*. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi.
- Gao, M. R. (2006). Experimental evaluation of prototype thermoelectric domestic-refrigerators”, , 83 (2): 1-20, (2005). *Applied Energy*, 83(2), 133-152.

- Hoi, S. M., Teh, A. L., Ooi, H. E., Crew, I. L., & Foo, J. J. (2019). Plate-fin heat sink forced convective heat transfer augmentation with a fractal insert. *International Journal of Thermal Sciences*, 392-406.
- Huang, B. J., & Duang, C. L. (1999). *System dynamic model and temperature control of a*. Taipei: National Taiwan University.
- İnan, M. H. (2014). *Pic Programlama ile Basit Uçak Oyunu*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Jaziri, N. B. (2019). A comprehensive review of Thermoelectric Generators:Technologies and common applications. *Energy Reports*.
- Karabulut, Y. (2020). *Eklemeli İmalat Yöntemiyle Farklı Cidar Kalınlıklarında Üretilen Inconel 718 Alaşım Malzemesine Uygulanan İkincil İşlemlerin Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi*. İstanbul: Marmara Üniversitesi.
- Karimi, G., Culham, J. R., & Kazerouni, V. (2011). Performance analysis of multi-stage thermoelectric coolers. *International Journal of Refrigeration*, 2129-2135.
- Kavak, B. B. (2014). *Güneş enerjili termoelektrik soğutma sistemlerinde ardışık (Kaskat) soğutma yöntemi uygulanabilirliğinin deneysel incelenmesi*. KARABÜK: Karabük Üniversitesi.
- Kim, G. H. (2013). Engineered doping of organic semiconductors for enhanced thermoelectric efficiency. *Nat Mater. Nature Materials*, 12, 719-723.
- Kim, K. S., Won, M. H., Kim, J. W., & Back, B. J. (2003). Heat pipe cooling technology for desktop PC CPU. *Applied Thermal Engineering*, 1137-1144.
- Köktay, Ş. (2018). *Termoelektrik Malzemelerin Yenilikçi Yaklaşımlarla Üretilmesi Geliştirilmesi Yapay Sinir Ağları İle Tahmin Modeli Kullanılması*.
- LeBlanc, S., Yee, S. K., Scullin, M. L., Dames, C., & Goodson, K. E. (2014). Material and manufacturing cost considerations for thermoelectrics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(32), 313–327.
- Louis, L. (2016). *Working principle of Arduino and Using It As a tool for Study And Research*. Ahmedabad: Gujarat Technological University.
- Matsumoto, M. M. (2015). Development of state of the art compact and lightweight thermoelectric generator using vacuum space structure. *SAE International Journal of Engines*, 8(4), 1815-1825.
- Meng, J.-H., Wangb, X.-D., & Zhang, X.-X. (2013). Transient modeling and dynamic characteristics of thermoelectric cooler. *Applied Energy*, 340-348.
- Metzger, T., & Huebener, R. P. (1999). *Modelling and cooling behaviour of Peltier cascades*. Tübingen: Tübingen University.
- Öngül, B. S. (2017). *Stereolitografi Yönteminde Kullanılan Uv Lazerlerin Kontrolü ve Güç Optimizasyonu*. Kocaeli: Gebze Teknik Üniversitesi.

- Pheba, C., L., B., & S.Joyal, I. (2014). *Solar Energy Conversion using Micro Thermoelectric Generator*. Terengganu: International Journal of Engineering Science and Innovative Technology.
- Rowe, D. (1995). *Handbook of thermoelectrics*. Boca Raton, London: CRC Press.
- Rull-Bravo, M., Moure, A., Fernandez, J. F., & Martín-González, M. (2015). Skutterudites as thermoelectric materials. *Rsc Advances*, 5(52), 41653-41667.
- Seetawan, T., Seetawan, U., Rathacasin, A., Srichai, S., Singsoog, K., Namhongsa, W., . . . Siridejachai, S. (2011). Analysis of Thermoelectric Generator by Finite Element. *elsevier*, 1006-1011.
- Simons, R. E., & Chu, R. C. (2000). *Application of thermoelectric cooling to electronic equipment: a review and analysis, Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium*. Poughkeepsie: International Business Machines.
- Tosun, A. (2014). *Termoelektrik Modül Kullanarak Soğutma Kabı Tasarımı ve Deneysel Çalışması*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Tritt, T. (2000). *Advances in Thermoelectric Materials I*. Elsevier.
- Vineet, M., Akhilesh, A., Arora, B. B., Saurabh, D., Rayhan, A., & Sushant, S. (2017). *Modelling and Simulation of Thermoelectric Peltier Effect Cooling Unit*. Delhi: Delhi Technological University,.
- Wei, H., Karthik, S., Skadron, K., Ribando, R. J., & Mircea, R. S. (2008). Accurate, Pre-RTL Temperature-Aware Design Using a Parameterized, Geometric Thermal Model. *ScienceDirect*, 1277-1288.
- Yağmur, Y., & Taşdelen, K. (2019). Termoelektrik Üreteç ile Kalorifer Radyatörlerinden Elektrik. *bilgesci*, 1261-401X.
- Yeşildağ, İ. (2020). *Düşük Alaşımli Çelikten Tel Ark Eklemeli İmalat İle Üretilen Bir Parçanın Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. Karabük: Karabük Üniversitesi.
- Zeng, Y. J. (2020). Nanoscale organic thermoelectric materials: measurement, theoretical models, and optimization strategies. *Advanced Functional Materials*, 30(8), 1-25.

İnternet

URL – 1 <<https://www.elektrikde.com/peltier-etkisi-termoelektrik-sogutucu-nedir/>> Alındığı tarih 06.09.2020

URL – 2 <<http://eklemeliimalat.info.tr>>, alındığı tarih 06.09.2020

URL – 3 <<http://www.nature.com/nature/journal/v413/n6856/images/413577aa.2.jpg>> alındığı tarih 06.09.2020

URL – 4 < www.datasheetcafe.com/ds18b20-datasheet-temperature-sensor/>

alındığı tarih 06.09.2020

URL – 5 <320volt.com/msp430-ile-ds18b20-sicaklik-sensoru-kullanimi-uygulamalari/>

alındığı tarih 20.09.2020

URL – 6 <www.e-olcum.com/benetech-gm320-lazer-termometre> alındığı tarih

20.09.2020

URL – 7 <[https://customthermoelectric.com/26311-5p31-17cw-thermoelectric-](https://customthermoelectric.com/26311-5p31-17cw-thermoelectric-peltier-module.html)

[peltier-module.html](https://customthermoelectric.com/26311-5p31-17cw-thermoelectric-peltier-module.html)> Alındığı tarih 20.09.2020



ÖZGEÇMİŞ

Ömer Buğra DEMİRÖZ

TECRÜBE

Otomasyon Bölümü Şefi ve Teknik Eğitim Uzmanı –[Kemalpaşa OSB Zülfü – Mevlüt Çelik M.T.A.L](#) Ağustos 2020 – Halen

Otomasyon Bölümü Şefi ve Teknik Eğitim Uzmanı –[Kocaeli Ticaret Odası Teknik Koleji](#) Ocak 2016 – 2020

Mekatronik Mühendisi – [MEG Endüstriyel Gemi ve Makina](#)
Haziran 2016 – Eylül 2016

Yaz Stajyeri – [Bilim İlaç](#) Haziran 2012 – Eylül 2012

Yarı Zamanlı Mekatronik Tekniker – [Aymed Medikal Teknoloji](#) Ocak 2009 – Ocak 2010

PROJELER

Isı Farkından Elektrik Üretimi Ocak 2007

Soğutan/Isıtan Battaniye Eylül 2008

FPV Drone “NuriDrone” Eylül 2019

TEKNİK BECERİLER

Temel elektronik ve hidrolik sistemler, S7 1200 PLC’ler, SolidWorks, MATLAB, ANSYS, Proteus, Elektro pnömatik, MPS programlama, Elektriksel Sensörler (PNP, NPN, Manyetik, Kapasitif, İndüktif, Optik, Ultrasonik vb.), Mikro Denetleyiciler(Ardunio kullanılarak çeşitli karmaşık elektronik sensörlerin kontrolü ve kullanılması.