

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



**EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM SOĞUTUCULARIN
TERMOELEKTRİK MODÜL ENTEGRASYONU VE
ISI DAĞILIM ETKİSİNİN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer Buğra DEMİRÖZ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

OCAK 2021

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



**EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM SOĞUTUCULARIN
TERMOELEKTRİK MODÜL ENTEGRASYONU VE
ISI DAĞILIM ETKİSİNİN ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ömer Buğra DEMİRÖZ
(161203003)**

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Savaş DİLİBAL

OCAK 2021



T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 161203003 numaralı öğrencisi Ömer Buğra DEMİRÖZ'ün “Eklemeli İmalat ile Üretilen Alüminyum Soğutucuların Termoelektrik Modül Entegrasyonu ve Isı Dağılım Etkisinin Analizi” adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 12.01.2021 tarih ve 2021/02 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından **Oy Birliği** ile Yüksek Lisans tezi olarak **Kabul** edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi:27/01/2021

1)Tez Danışmanı:

.....

2) Jüri Üyesi :

.....

3) Jüri Üyesi :

.....

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Eklemeli İmalat İle Üretilen Alüminyum Soğutucuların Termoelektrik Modül Entegrasyonu ve Isı 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.
(27/01/2021)

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 çeşitliliğın artırılması önemlidir. Birçok sektörde kullanılan ısı dağılım ve soğutma sistemleri içinde kullanılabilir projemizin amacına uygun olarak sorunların tespiti ve çözümü yönelik iyi bir kaynak teşkil edeceğini düşünüyorum. Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Eklemeli İmalat İle Üretilen Alüminyum Soğutucuların Termoelektrik Modül Entegrasyonu ve Isı 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

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖNSÖZ | v |
| İÇİNDEKİLER | vi |
| KISALTMALAR | viii |
| ÇİZELGE LİSTESİ | ix |
| ŞEKİL LİSTESİ | x |
| ÖZET | xiv |
| ABSTRACT | xvi |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Çalışma Konusu | 1 |
| 1.2 Tezin Amacı | 2 |
| 1.3 Tezin Hedefi | 3 |
| 1.4 Tezin Gerçekleşmesi ile Sağlanacak Faydalar | 3 |
| 2. TERMOELEKTRİK MODÜLLER VE ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ | 4 |
| 2.1 Literatür Araştırmaları | 4 |
| 2.2 Tanımlar | 7 |
| 2.2.1 Termoelektrik soğutucu | 7 |
| 2.2.2 Eklemeli imalat ile üretim teknolojileri | 13 |
| 2.2.3 Test modül kontrol kartı | 16 |
| 3. DENEYSEL ALTYAPI | 18 |
| 3.1 Teknik Parametreler | 19 |
| 3.1.1 Termoelektrik modül özellikleri | 19 |
| 3.1.2 TEC Modül yüzey ısı dağılımı | 24 |
| 3.1.2 Arduino mikroişlemci | 25 |
| 3.1.3 Sıcaklık ölçümü | 26 |
| 3.1.4 TE modülünün üzerindeki soğutucuların teknik özellikleri | 29 |
| 3.2 Alüminyum Soğutucuların (AS) İmalat Yöntemleri | 30 |
| 3.2.1 Alüminyum Soğutucu – 1 (AS1) için hacimsel oranlar | 35 |
| 3.2.2 Alüminyum Soğutucu – 2 (AS2) için hacimsel oranlar | 35 |
| 3.2.3 Alüminyum Soğutucu – 3 (AS3) için hacimsel oranlar | 36 |
| 4. DENEYSEL VE SAYISAL ANALİZ METODOLOJİSİ | 38 |
| 4.1 Deneysel Analiz | 38 |
| 4.1.1 Alüminyum soğutucuların modellenmesi | 38 |
| 4.1.2 Alüminyum soğutucuların işlenmesi | 41 |
| 4.1.3 Ortam şartlarının modellenmesi | 50 |
| 4.1.4 Soğutucuların ısı veri akışı izleme | 51 |
| 4.1.5 Sensör için ilgili kodlar | 53 |
| 4.1.6 Deney test düzeneği ölçüm verileri | 54 |
| 4.2 Sayısal Analiz | 55 |
| 5. SAYISAL ANALİZ SONUÇLARI | 67 |

| | |
|---|-----------|
| 5.1 Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) Analiz Sonuçları | 67 |
| 5.2 Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Analiz Verileri | 73 |
| 5.3 Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) Analiz Sonuçları | 80 |
| 6. DENEYSEL ANALİZ SONUÇLARI..... | 87 |
| 6.1 TEC Modül Yüzey Isı Dağılımı | 87 |
| 6.2 Soğutucuların Isı Dağılımı | 88 |
| 6.2.1 Alüminyum soğutucu – 1 (AS1)'in Isı Dağılım Verileri..... | 89 |
| 6.2.2 Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) ısı dağılım verileri | 90 |
| 6.2.3 Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) ısı dağılım verileri | 91 |
| 7. SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 92 |
| KAYNAKLAR | 95 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 99 |

KISALTMALAR

| | |
|-------------------------|---|
| AL | : Alüminyum |
| AS | : Alüminyum Soğutucu |
| CAD | : Bilgisayar Destekli Üretim |
| CNC | : Computer Numerical Control – Bilgisayarlı Nümerik Kontrol |
| COP | : Soğutma Gücünün Elektrik Tüketimine Oranı. |
| COP | : TE Performans Katsayısı |
| DC | : Doğru Akım |
| DQ | : Data Giriş / Çıkış – Data in / out |
| GND | : Ground – Topraklama |
| K | : Isıl İletkenliği |
| Kp ve Kn | : Yarı İletkenlerin Isı İletme Kapasiteleri |
| Mg | : Magnezyum |
| NC | : No Connect – Pin Boş |
| P | : Özdirenç |
| PLA | : Polilaktik Asit |
| Q | : Soğutma Gücü |
| R | : Elektrik Direnci |
| Rp ve Rn | : Elektriksel Dirençler |
| Si | : Silisyum |
| SLA | : Stereo Litografi Teknoloji |
| T | : Termoelektrik Modülün Yüzeylerinin Ortalama Sıcaklığı |
| TE | : Termoelektrik |
| TEC | : Termoelektrik Soğutucu |
| TEM | : Termoelektrik Modül |
| Tm | : Ortalama Sıcaklık |
| VDD | : Power Supply Voltage – Besleme Gerilimi |
| W | : Elektrik tüketimi |
| Z_T | : Yarı İletken Malzemenin Değer Katsayısı |
| Δ_T | : Sıcaklık Farkı |
| ΔT_{max} | : Elde Edilebilecek Maksimum Sıcaklık Farkı |
| ΔV | : Gerilim Farkı |
| τ | : Tomson Katsayısı |

ÇİZELGE LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| Çizelge 3.1: Performans Özellik Verileri | 20 |
| Çizelge 3.2: TEC-12710 Teknik Özellikleri..... | 22 |
| Çizelge 3.3: DS18B20 Sensörün Elektrik ile İlgili Voltaj Isıl Parametreleri Tablosu | 28 |
| Çizelge 3.4: Alüminyum Saflık Parametreleri Referansı | 32 |
| Çizelge 3.5: Alüminyum Soğutucu Malzemelerin Teknik Parametreleri | 33 |
| Çizelge 3.6: Alüminyum Soğutucu Malzemelerin Mekanik Parametreleri..... | 33 |
| Çizelge 3.7: Alüminyum Soğutucu Malzemelerin Fiziksel Parametreleri | 34 |
| Çizelge 3.8: Alüminyum Soğutucu Malzemelerin Kimyasal Özellikleri..... | 34 |
| Çizelge 3.9: Alüminyum Soğutucu Malzemelerin Termal Özellikleri..... | 34 |
| Çizelge 3.10: Alüminyum Soğutucu için hacimsel oranları-1 | 35 |
| Çizelge 3.11: Alüminyum Soğutucu için hacimsel oranları-2 | 35 |
| Çizelge 3.12: Alüminyum Soğutucu için hacimsel oranları-3 | 36 |
| Çizelge 4.1: EOS M290 Direkt Metal Lazer Sinterleme Makinesi Teknik Parametreleri | 50 |
| Çizelge 4.2: Alüminyum Soğutucu-1'in ile İlgili Teknik Veriler..... | 55 |
| Çizelge 5.1: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) ile İlgili Teknik Veriler | 67 |
| Çizelge 5.2: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) Şekil Özellikleri Verisi | 67 |
| Çizelge 5.3: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) Isıl İletim Tablosu..... | 70 |
| Çizelge 5.4: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1)' in Zamana Göre Isı Veri Tablosu | 70 |
| Çizelge 5.5: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1)'in Zamana Göre Isı İletim Tablosu... | 72 |
| Çizelge 5.6: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) ile İlgili Teknik Veriler | 74 |
| Çizelge 5.7: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2)'nin (SP2) Şekil Özellikleri Verisi..... | 74 |
| Çizelge 5.8: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Haznesi Özellikleri | 76 |
| Çizelge 5.9: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Zamana Göre Isı Veri Tablosu | 77 |
| Çizelge 5.10: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Zamana Göre Isı İletim Tablosu | 78 |
| Çizelge 5.11: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) ile İlgili Teknik Veriler | 80 |
| Çizelge 5.12: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)'ün Şekil Özellikleri..... | 81 |
| Çizelge 5.13: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)'ün (SP3) Isıl İletim Tablosu | 83 |
| Çizelge 5.14: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)'ün Zamana Göre Isı Veri Tablosu .. | 83 |
| Çizelge 5.15: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) Zamana Göre Isıl İletimi..... | 85 |
| Çizelge 6.1: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1)Isı Dağılım Verileri | 89 |
| Çizelge 6.2: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Isı Dağılım Verileri..... | 90 |
| Çizelge 6.3: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) Isı Dağılım Verileri..... | 91 |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1: Potansiyel Gerilim Altındaki Peltier Etkisi | 8 |
| Şekil 2.2: N Tipi Termoelektrik Eleman | 9 |
| Şekil 2.3: Bi ₂ Te ₃ ve Zn ₄ Sb ₃ Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri | 10 |
| Şekil 2.4: Pbte ve Snte Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri | 10 |
| Şekil 2.5: (Pb, Te) Te ve Sige Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri | 11 |
| Şekil 2.6: Cefe ₄ sb ₁₂ ve TAGS Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri | 11 |
| Şekil 2.7: TEC İçyapısı ve Yüzey Isı Dağılımını | 12 |
| Şekil 2.8: TEM Üretimi Süreç Şeması | 13 |
| Şekil 2.9: Temel Metal Tozu Eklemeli İmalat Teknolojileri | 13 |
| Şekil 2.10: Toz Yatak Üretim Döngüsü | 14 |
| Şekil 2.11: Toz Yatak Üretim Döngüsü | 15 |
| Şekil 2.12: SLA Yansıma Yöntemi-1 | 15 |
| Şekil 2.13: SLA Yansıma Yöntemi | 16 |
| Şekil 3.1: TEC - 12710 Modülü | 19 |
| Şekil 3.2: TEC Modül Teknik Özellikleri | 20 |
| Şekil 3.3: TEC Modül Voltaj Analizi | 21 |
| Şekil 3.4: TEC Modül Akım Analizi | 21 |
| Şekil 3.5: TEC Modül Güç Analizi | 21 |
| Şekil 3.6: TEC Üç Boyutlu Model Yapısı | 22 |
| Şekil 3.7: TEC Termokupl Soğuk Yüzey Isıl Dağılım Analizi | 23 |
| Şekil 3.8: Termoelektrik Modül Sıcak Yüzey Isıl Dağılım Analizi | 23 |
| Şekil 3.9: TEC Modülün Potansiyel Dizi Sıcaklık Dağılımı | 23 |
| Şekil 3.10: TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği-1 | 24 |
| Şekil 3.11: TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği-2 | 24 |
| Şekil 3.12: TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği-3 | 25 |
| Şekil 3.13: TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği-4 | 25 |
| Şekil 3.14: Arduino NANO Devre Kartı | 26 |
| Şekil 3.15: Arduino UNO Devre Kartı Bağlantı Elemanları | 26 |
| Şekil 3.16: DS18B20 | 27 |
| Şekil 3.17: DS18B20 Isı Sensörü | 27 |
| Şekil 3.18: S18B20 Veri Grafiği | 28 |
| Şekil 3.19: DS18B20 Isı Sensörü Mikroişlemci Bağlantı Şeması | 29 |
| Şekil 3.20: DS18B20 Isı Sensörü | 29 |
| Şekil 3.21: Lazerli birleştirme şematik gösterimi | 30 |
| Şekil 3.22: Lazer ile tel beslemeli eklemeli imalat sistemi | 31 |
| Şekil 3.23: Ark Kaynağı ile Eklemeli İmalat Uygulanması | 31 |
| Şekil 3.24: Doğrudan Direk Metal Lazer Sinterleme Eklemeli İmalat Yöntemi | 32 |
| Şekil 3.25: Alüminyum Soğutucu – 1 (AS1) Teknik ölçüleri | 35 |
| Şekil 3.26: Alüminyum Soğutucu – 2 (AS2) Teknik ölçüleri | 36 |
| Şekil 3.27: Alüminyum Soğutucu – 3 (AS3) Teknik Çizimleri | 37 |
| Şekil 4.1: Alüminyum Soğutucu-1'in TEC-12710 ile Modellenmesi | 38 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.2: Alüminyum Soğutucu-2'in TEC-12710 ile Modellenmesi | 39 |
| Şekil 4.3: Alüminyum Soğutucu-3'ün TEC-12710 ile Modellenmesi | 39 |
| Şekil 4.4: Alüminyum Soğutucu-1'in Test Düzeneği Modellenmesi | 40 |
| Şekil 4.5: Alüminyum Soğutucu-2'in Test Düzeneği Modellenmesi | 40 |
| Şekil 4.6: Alüminyum Soğutucu-1'ün Test Düzeneği Modellenmesi | 40 |
| Şekil 4.7: Test Düzeneği Elektronik Tesisat Modellenmesi..... | 41 |
| Şekil 4.8: Geometrik Şekillerin Üç Boyutlu Baskıları Üst Görünüş | 41 |
| Şekil 4.9: Geometrik Şekillerin Üç Boyutlu Baskıları | 42 |
| Şekil 4.10: Model Kalıbın Elyaf Malzeme İle Sarımı | 42 |
| Şekil 4.11: Alçı döküm Kalıp Üst Yüzeyi | 43 |
| Şekil 4.12: Dalma Erozyonla Yapılan Elde Edilen Soğutucu Aşamaları-1..... | 43 |
| Şekil 4.13: Dalma Erozyonla Yapılan Elde Edilen Soğutucu Aşamaları-2..... | 44 |
| Şekil 4.14: Dalma Erozyonla Yapılan Elde Edilen Soğutucu Aşamaları-3..... | 44 |
| Şekil 4.15: Dalma Erozyonla Yapılan Elde Edilen Soğutucu Aşamaları-4..... | 44 |
| Şekil 4.16: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde Katmanın Serilmesi | 45 |
| Şekil 4.17: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde Katmanın Fazlalıklarının Alınması | 46 |
| Şekil 4.18: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde Alüminyum Toz Alaşım Katmanının Oluşumu | 46 |
| Şekil 4.19: DMLS Eklemeli İmalat Yöntemi İle Soğutucuların Oluşumu | 46 |
| Şekil 4.20: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP1'in Ön Görünümü | 47 |
| Şekil 4.21: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP1'in Üst Görünümü | 47 |
| Şekil 4.22: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP1'in Yan Görünümü | 48 |
| Şekil 4.23: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP2'in Ön Görünümü | 48 |
| Şekil 4.24: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP2'in Üst Görünümü | 48 |
| Şekil 4.25: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde SP2'in Yan Görünümü | 49 |
| Şekil 4.26: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP3'ün Ön Görünümü | 49 |
| Şekil 4.27: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP3'ün Üst Görünümü | 49 |
| Şekil 4.28: DMLS Eklemeli İmalat Yöntemi ile Üretilen SP3'ün Yan Görünümü .. | 50 |
| Şekil 4.29: Test Modeli Üretim Süreci | 51 |
| Şekil 4.30: Test Modeli | 51 |
| Şekil 4.31: Test Modeli Yüzey Montajı | 52 |
| Şekil 4.32: Alüminyum Soğutucu Test Haznesi Montajı | 52 |
| Şekil 4.33: Alüminyum Soğutucu Test Düzeneği | 53 |
| Şekil 4.34: Birden Çok Sensör Bağlantı Şeması | 53 |
| Şekil 4.35: Lazer Termometre | 55 |
| Şekil 4.36: Transient Thermal Seçimi | 56 |
| Şekil 4.37: Malzeme Data Bilgisi Seçimi..... | 56 |
| Şekil 4.38: Alüminyum Soğutucuların Tanımlanması | 57 |
| Şekil 4.39: Soğutucunun Tanımlanması | 57 |
| Şekil 4.40: Soğutucular İçin Ağ Yapısı Yapma..... | 58 |
| Şekil 4.41: Alüminyum Soğutucular İçin Ağ Yapısı Geliştirme..... | 58 |
| Şekil 4.42: Alüminyum Soğutucu-1'in Analiz Programındaki Görünümü ve Ağ Yapısı | 59 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.43: Alüminyum Soğutucu-2'in Analiz Programındaki Görünümü ve Ağ Yapısı | 59 |
| Şekil 4.44: Alüminyum Soğutucu-3'ün Analiz Programındaki Görünümü ve Ağ Yapısı | 59 |
| Şekil 4.45: Soğutucular İçin (Environment) Kısmından Temperature Atama | 60 |
| Şekil 4.46: Soğutucular İçin İki Farklı Sıcaklık (Temperature) Eklenmesi | 60 |
| Şekil 4.47: Soğutucular İçin Temperature Kısımların İsimlendirilmesi..... | 61 |
| Şekil 4.48: AS1'in İçin Isıl yüzey-1'in Isıl Parametrelerin Belirlenmesi..... | 61 |
| Şekil 4.49: AS1'in İçin Isıl Yüzey-1 Alt Yüzey Geometrik Tanımlanması..... | 61 |
| Şekil 4.50: AS1 İçin Isıl Yüzey-2'in Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi.... | 62 |
| Şekil 4.51: AS1 İçin Isıl Yüzey-2'nin Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması | 62 |
| Şekil 4.52: AS2 için Isıl Yüzey-1'in Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi | 62 |
| Şekil 4.53: AS2 İçin Isıl Yüzey-1'in Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması | 63 |
| Şekil 4.54: AS2 İçin Isıl Yüzey-2'nin Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi.. | 63 |
| Şekil 4.55: AS2 İçin Isıl Yüzey-2'nin Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması | 63 |
| Şekil 4.56: AS3 İçin Isıl Yüzey-1'in Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi.... | 64 |
| Şekil 4.57: AS3 İçin Isıl Yüzey-1'in Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması | 64 |
| Şekil 4.58: AS3 İçin Isıl Yüzey-2'nin Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi.. | 64 |
| Şekil 4.59: AS3 İçin Isıl yüzey-2'nin Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması | 65 |
| Şekil 4.60: Isıl Yüzey-1 ve Isıl Yüzey-2'nin Çözümleme Tanımı | 65 |
| Şekil 4.61: Isıl Taşınım hesaplanması İçin Total Heat Flux Tanımı | 66 |
| Şekil 5.1: AS1'in 0 Saniye ve 0.1 Saniyedeki Isıl Dağılımı..... | 68 |
| Şekil 5.2: AS1'in 0.2 ve 0.3 Saniyedeki Isıl Dağılımı | 68 |
| Şekil 5.3: AS1'in 0.4 ve 0.5 Saniyedeki Isıl Dağılımı | 68 |
| Şekil 5.4: AS1'in 0.6 ve 0.7 Saniyedeki Isıl Dağılımı | 69 |
| Şekil 5.5: AS1'in 0.8 ve 1 Saniyedeki Isıl Dağılımı | 69 |
| Şekil 5.6: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) Isı Grafiği..... | 71 |
| Şekil 5.7: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) Kararlı Isıl Dengeye Erişim Grafiği | 71 |
| Şekil 5.8: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) maksimum W/m^2 ısı dağılım analizi.... | 72 |
| Şekil 5.9: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) minimum W/m^2 ısı dağılım analizi | 73 |
| Şekil 5.10: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1)'nin Isıl İletimi | 73 |
| Şekil 5.11: AS2'in 0 ve 0.1 Saniyedeki Isıl Dağılımı | 74 |
| Şekil 5.12: AS2'in 0.2 ve 0.3 Saniyedeki Isıl Dağılımı..... | 75 |
| Şekil 5.13: AS2'in 0.4 ve 0.5 Saniyedeki Isıl Dağılımı..... | 75 |
| Şekil 5.14: AS2'in 0.6 ve 0.7 Saniyedeki Isıl Dağılımı..... | 75 |
| Şekil 5.15: AS2'in 0.8 ve 1 Saniyedeki Isıl Dağılımı | 76 |
| Şekil 5.16: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2)'nin Isıl Grafiği | 77 |
| Şekil 5.17: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Kararlı Isıl Dengeye Erişim Grafiği.... | 78 |
| Şekil 5.18: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Minimum W/m^2 Isıl Dağılım Analizi . | 79 |
| Şekil 5.19: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) maximum W/m^2 Isıl Dağılım Analizi . | 79 |
| Şekil 5.20: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Isıl İletimi..... | 80 |
| Şekil 5.21: AS3'ün 0 ve 0.1 Saniyedeki Isıl Dağılımı..... | 81 |
| Şekil 5.22: AS3'ün 0.2 ve 0.3 Saniyedeki Isıl Dağılımı..... | 81 |
| Şekil 5.23: AS3'ün 0.4 ve 0.5 Saniyedeki Isıl Dağılımı..... | 82 |
| Şekil 5.24: AS3'ün 0.6 ve 0.7 Saniyedeki Isıl Dağılımı..... | 82 |
| Şekil 5.25: AS3'ün 0.8 ve 1 Saniyedeki Isıl Dağılımı..... | 82 |
| Şekil 5.26: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) Isı Grafiği..... | 84 |
| Şekil 5.27: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) Kararlı Isıl Dengeye Erişim Grafiği.... | 84 |
| Şekil 5.28: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)'ün Minimum W/m^2 Isıl Dağılım Analizi | 85 |

| | |
|--|----|
| Şekil 5.29: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)'ün Maksimum W/m^2 Isıl Dağılım Analizi | 86 |
| Şekil 5.30: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)'ün Isıl İletimi | 86 |
| Şekil 6.1: Zamana Göre Isı Parametreleri..... | 87 |
| Şekil 6.2: Test Düzeneği..... | 88 |
| Şekil 6.3: Test Bağlantıları | 88 |
| Şekil 6.4: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) Isı Dağılım Grafiği..... | 89 |
| Şekil 6.5: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Isı Dağılım Grafiği..... | 90 |
| Şekil 6.6: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) Isı Dağılım Grafiği..... | 91 |

EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM SOĞUTUCULARIN TERMoeLEKTRİK MODÜL ENTEGRASYONU VE ISI DAĞILIM ETKİSİNİN ANALİZİ

ÖZET

Doğru akım 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 tasarlanmışlardır. 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 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 üzerindeki alüminyum soğutucuların işlenen her bir maddenin temeli alüminyum alışımlı malzemeden meydana gelmiştir. Belirlenen alüminyum soğutucular TEC modül ölçülerinde belirlenmiştir. Belirlenen ölçülere göre Alüminyum soğutucuların uzunluğu ve genişliği, TEC modül uzunluğu ve genişliği ile eşdeğer olarak ayarlanmıştır. Alüminyum soğutucuların ısı dağılımı ilk olarak ANSYS analiz programında modelleyerek ısı dağılımlarını simülasyon ortamında incelenmiştir. Elde edilen veriler gerçek test ortamıyla karşılaştırmak için termoelektrik modül üzerindeki örnek geometrilerin yer aldığı alüminyum soğutucuların yapımına 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 alüminyum soğutucuların ölçüleri küçük ebatlardadır. Prototip ölçüleri küçük olduğu için ilk olarak CNC tornada işlenmesi öngörülmüş fakat malzemenin yumuşak ve küçük olması sebebiyle makine ucu parçaya dolanmak suretiyle uç kırımına maruz kalmıştır. Bu sebepten dolayı alüminyum soğutucuların döküm yöntemiyle parçaların elde edilmesine karar verilerek, prototiplerin istenilen ölçülerde döküm yapılması için alüminyum soğutucu modelleri SLA yazıcıdan model baskı yapılarak alçı kalıp oluşturulmuştur. Daha sonra alüminyum döküm yöntemi ile model alınmaya çalışılmışsa da kalıp ayrılma sürecinin başarısız olması sebebiyle bu işlem gerçekleştirilememiştir. Tasarlanan geometrik soğutucuların TEC modülü ile uyumlu ve ölçülerinin eşit olması fiziki olarak bu modellerinin küçük yapıda olması anlamını taşımaktadır. Belirlenen model ölçütlerinin doğru olabilmesi için üretim parametrelerinin mikron boyutunda ve

hassasiyetinde gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Her bir geometrik alüminyum soğutucu bu bağlamda eklemeli imalat yöntemlerinden biri olan direkt (doğrudan) metal lazer sinterleme (DMLS) yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen her model lazer ışınları ile gerçekleştirilen katmanlı imalat ile modelleri katman katman ve yüksek hassasiyetle üretimi gerçekleştirilmiştir. Eklemeli İmalat ile üretilen, alüminyum soğutucu-1 (AS1), alüminyum soğutucu-2 (AS2), alüminyum soğutucu-3 (AS3), termoelektrik modüle termal macunla yapıştırılarak eşit oda sıcaklığında ve deneysel çalışmalardan alınan verilere uyumlu bir şekilde ölçüm yapılarak karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda deneyler tamamlanarak veriler yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler: *Termoelektrik, Peltier, Alüminyum soğutucu, Eklemeli İmalat*

THERMOELECTRIC MODULE INTEGRATION AND HEAT DISTRIBUTION EFFECT ANALYSIS ON ADDITIVELY MANUFACTURED ALUMINUM COOLERS

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 creating 3D 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 are adjusted to match the TEC module length and width. The heat distribution of the parts was firstly modeled in the 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 to prefer aluminum alloy is that it is determined to be easy in terms of processing, as well as its heat conduction coefficient is easier to process than metal alloys. Since the cooler dimensions are small, it was initially envisaged to be processed on a 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 aluminum 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 heat sinks are compatible with the TEC module due to their equal dimensions which demonstrates that these part models meant to be small physically. In order to obtain the determined model criteria, the production parameters must be considered with micro sizes in precision. Each geometric cooler (aluminum cooler-1 (AC1), aluminum cooler-2 (AC2), aluminum cooler-3 (AC3)) is produced using direct metal laser sintering (DMLS), which is one of the additive manufacturing methods. The additively manufactured aluminum

coolers are adhered to the thermoelectric module with thermal paste while comparing with the data extracting under equal room temperature. As a result of the comparison, the related experiments were conducted and the extracted data were discussed.

Keywords: *Thermoelectric, Peltier, Aluminum heat sink, Additive manufacturing*

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 modül 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 Alüminyum Soğutucular (AS) kullanılarak, etkili bir şekilde ısı iletimini sağlamaktadır. Alüminyum soğutucuların ısı dağılım etkisini doğru analiz edebilmek ve eşit oranlarda karşılaştırma yapabilmek için, üretilen alüminyum soğutucuların 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 alüminyum soğutucuların termoelektrik modül 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 ısıl fark özelliğinden yararlanılarak, termoelektrik modül yüzeyinde oluşan ısının, yine modül yüzeyine bağlı alüminyum soğutucuların geometrisi, ısıl dağılımlarına etkisinin araştırılması konusunu içermektedir.

Yapılan çalışmalar ile ucuz ve etkili malzemeler kullanılması amaçlanarak, TEC modül üstündeki ısıl dağılımları ve analizleri izlenmiştir. ısıl 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 ısıl 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 ısıl analizlerinin yapılabilmesi için;

- Deneysel ortam ısı (TEC Modülünün bulunduğu cihaz) ortam ısı ölçümü yapılmış,
- TEC modül yüzeyindeki ısı ölçümü yapılmış,
- Alüminyum soğutucuların TEC modülü bağlantı olan kısımdaki ısı miktarı ile aynı alüminyum soğutucuların TEC modülüne bağlı alüminyum soğutuculara 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 modül yüzeyinde oluşan ısının, yine aynı yüzeyine bağlanan soğutucu katman ile homojen ve kararlı bir şekilde yüksek ve verimli bir ısı transfer gerçekleştirilmesini sağlamaktır.

Üç ayrı geometrik yapıdaki alüminyum soğutucuların tasarlanarak, bu soğutucular içinden seçilen ısı transferi için en uygun olan geometri 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 modüller 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

2.1 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 alüminyum soğutucular eklenmiştir. Alüminyum soğutucularda belirlenen geometri 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 soğutucular eklenmiştir. Soğutucu modellerinin yapılabilmesi için direkt (doğrudan) metal lazer sinterleme eklemeli imalat yönteminden yararlanılmıştır. Soğutucuların 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 içyapısında 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 dayanımdan 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 soğutucular 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 soğurucuların 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).

2.2 Tanımlar

2.2.1 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.

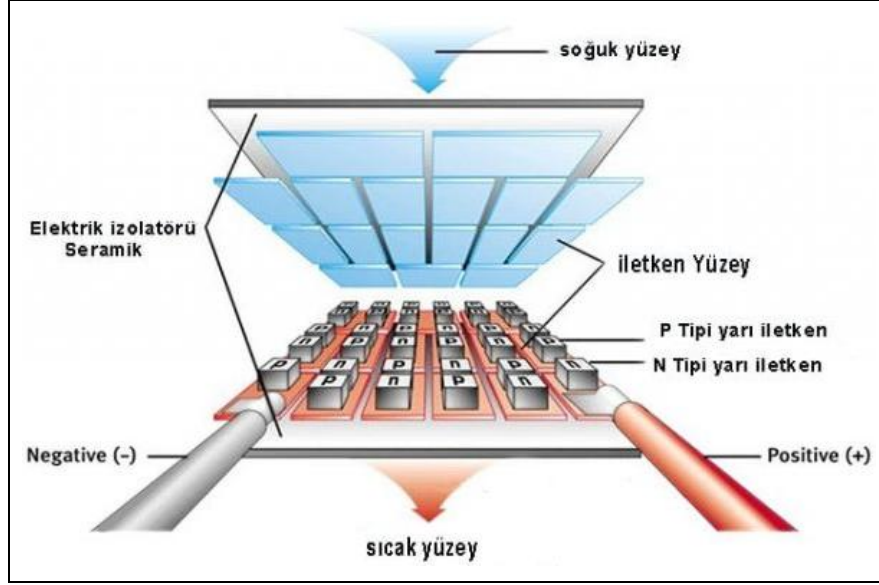
Alman fizikçi Thomas Johann Seebeck tarafından keşfedilen seebeck etkisi, iki metalin sıcaklık farkından oluşan elektrik enerjisinin oluşmasıyla gerçekleşir. Sıcaklık farkı (ΔT) artmasıyla birlikte TE Soğutucu uçları arasında gerilimi artırır. TE Soğutucu uçlarındaki gerilim (ΔV) ile ifade edilir. Oluşan 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 ısıtır 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 enerjine veya ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüşümünün genel adıdır. DC akım etkisi altında metal telden oluşan devrenin, bir yüzeyi soğurken diğer yüzeyi ısıtır. Potansiyel gerilim altında olan bir TEC modülünün etkisi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Potansiyel Gerilim Altındaki Peltier Etkisi

Kaynak: (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.

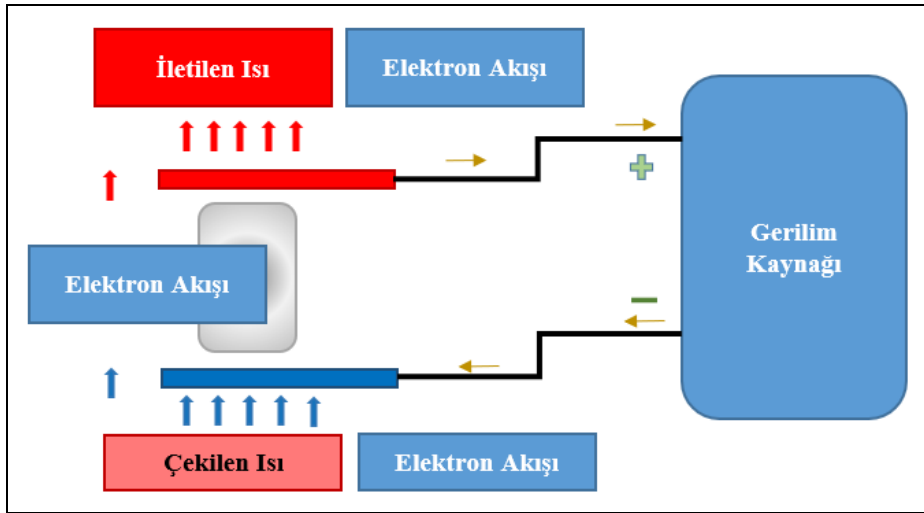
Birçok iletkende belli akım, sıcak uçtan soğuk uca doğru aktığında ısınma meydana gelir. Ters yönde akım meydana gelirse, soğuma meydana gelir. Sonuç olarak ısı miktarı, malzemenin ve akımın şiddeti ile orantılıdır.

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

Yüzey hacim başına üretilen ısı miktarı q^m ile ifade edilir. Bu ifade ile ilgili denklem (2.6)'da verilmiştir. Bu denkleme göre p öz direnci belirtir. Birimi Ω 'dur. Bu denklemde 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)

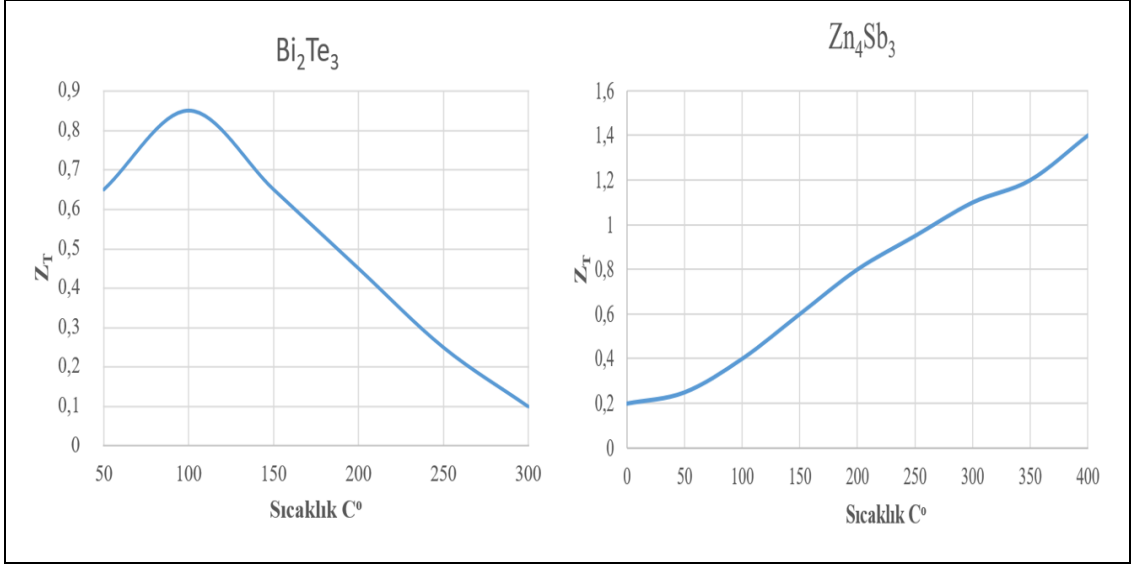
TE modül yarı iletken bir malzemedir. Bu yarı iletken malzemeler sıcak soğuk yüzeyleri oluşturan iki plaka arasına baskı yapılarak meydana gelir Şekil 1 de N tipi termoelektrik eleman görülebilir (Kavak, 2014).



Şekil 2.2: N Tipi Termoelektrik Eleman

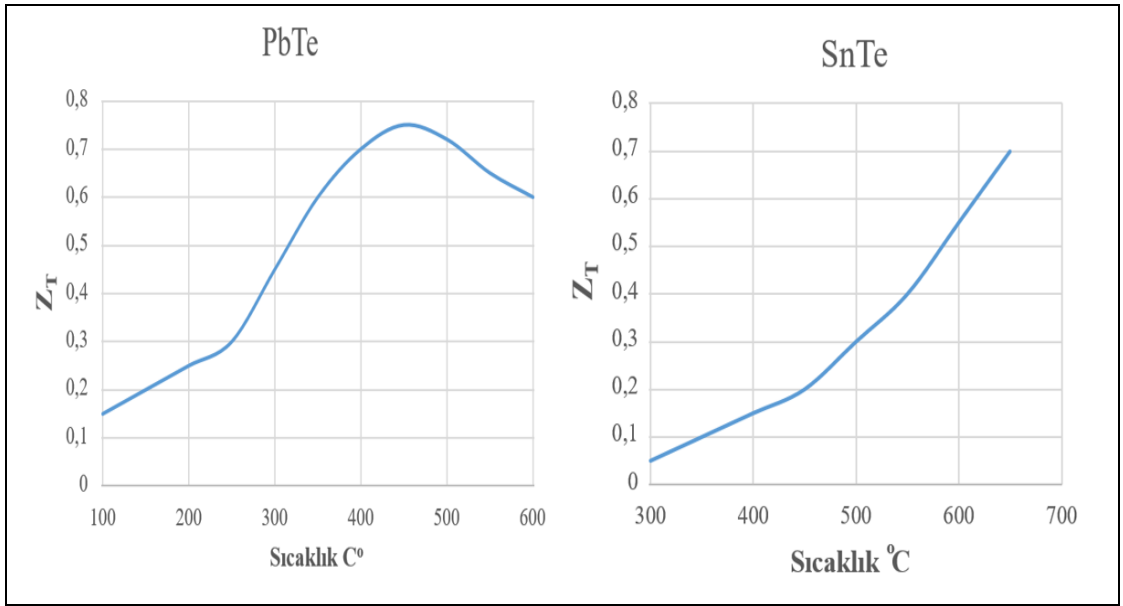
Kaynak: (Kavak, 2014)

TE verimi Z_t katsayısı ile ifade edilmektedir. Değişik malzemelerden yapılmış TEC Modüllerinin içeriğindeki yarı iletkenlerden oluşan Z_T katsayılarını gösteren grafik Şekil 2.3, Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



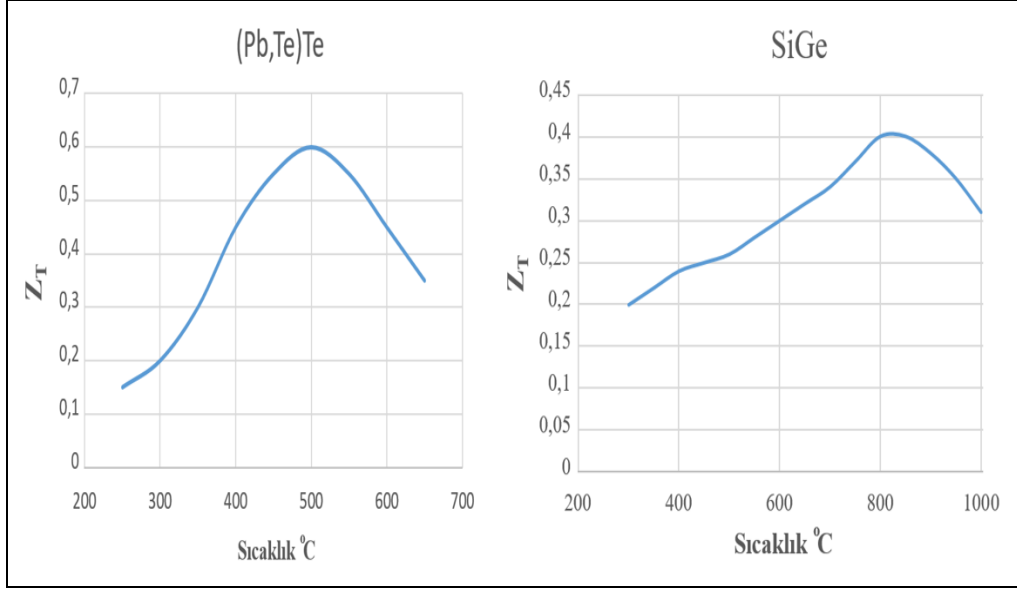
Şekil 2.3: Bi_2Te_3 ve Zn_4Sb_3 Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri

Kaynak: (Kavak, 2014)



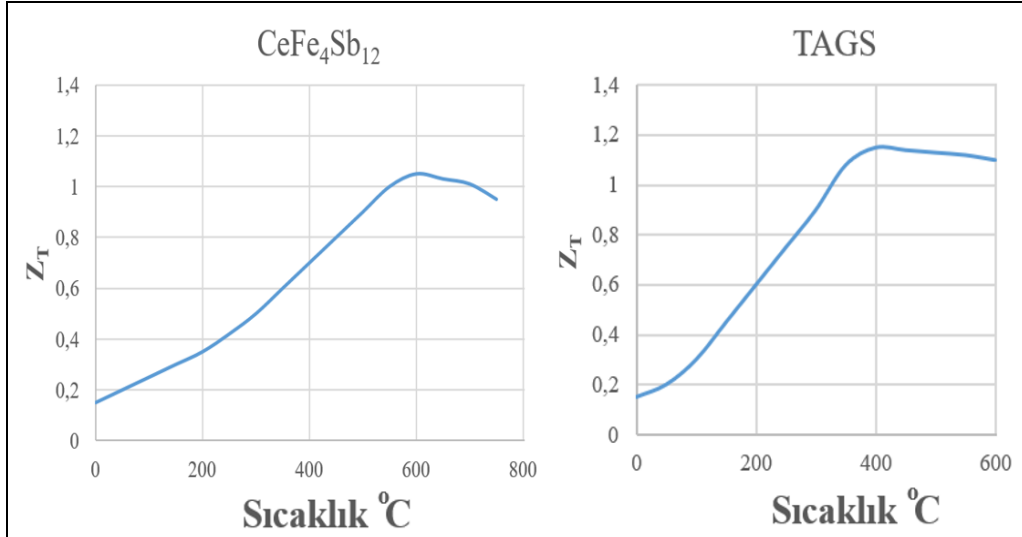
Şekil 2.4: PbTe ve SnTe Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri

Kaynak: (Kavak, 2014)



Şekil 2.5: (Pb, Te) Te ve Sige Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri

Kaynak: (Kavak, 2014)



Şekil 2.6: Cefe₄sb₁₂ ve TAGS Yapıdaki Yarıiletken Maddelerin Verimleri

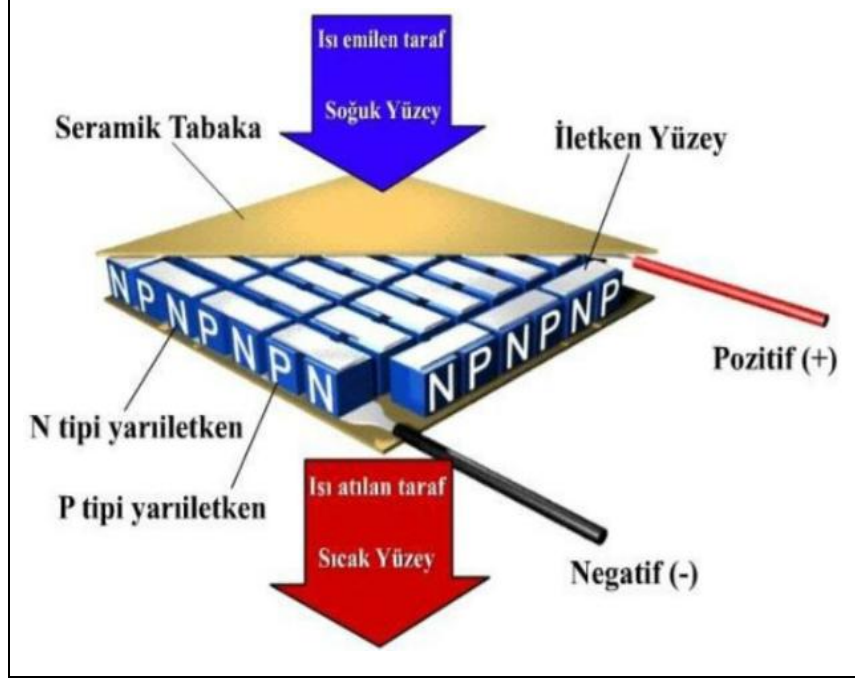
Kaynak: (Kavak, 2014)

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 etilendioksitofen, 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 2.7’de gösterilmiştir (Çakmaz, 2019).



Şekil 2.7: TEC İçyapısı ve Yüzey Isı Dağılımını

Kaynak: (Çakmaz, 2019)

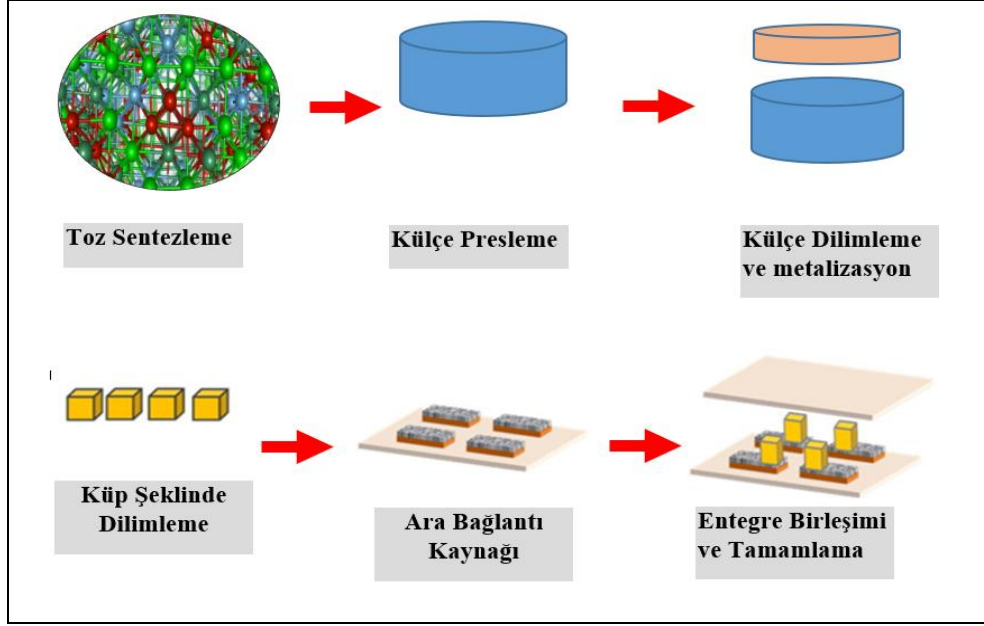
TEC’in maksimum performans katsayısı (COP_{max}) ise denklem 2.7’ şeklinde yazılarak hesaplanmaktadır.

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

Z_T değeri sonsuza yakınlığında 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 2.8’de gösterilmektedir (LeBlanc, Yee, Scullin, Dames, & Goodson, 2014).

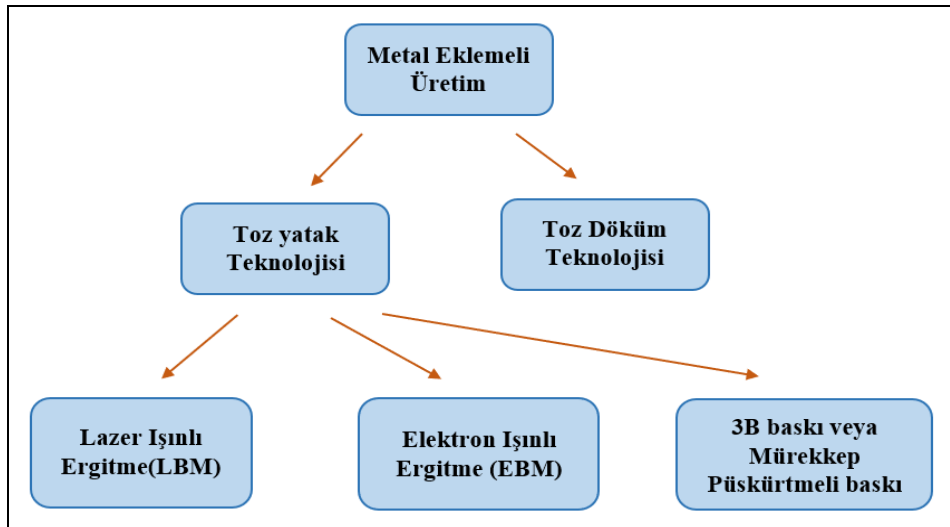


Şekil 2.8: TEM Üretimi Süreç Şeması

Kaynak: (LeBlanc, Yee, Scullin, Dames, & Goodson, 2014)

2.2.2 Eklemeli imalat ile üretim teknolojileri

Üç boyutlu baskı modellemesinde ve oluşturulacak soğutucular 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 2.9’da metal eklemeli imalat teknolojilerinin çalışmasını içeren şema verilmiştir.

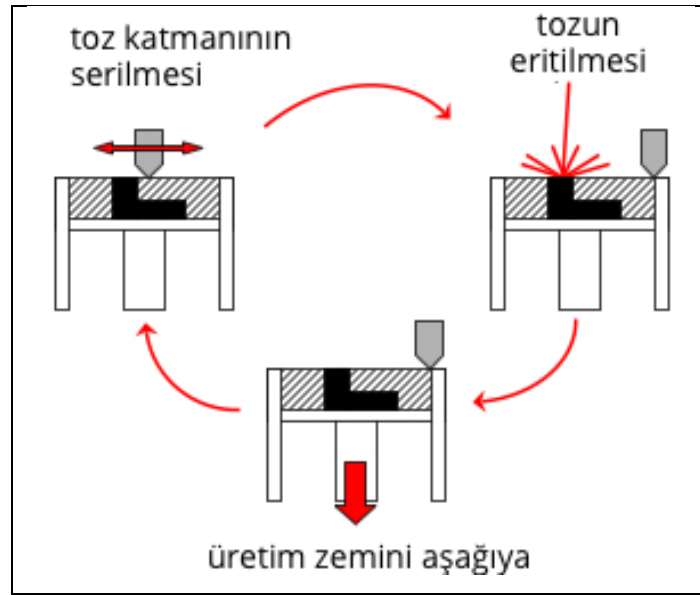


Şekil 2.9: Temel Metal Tozu Eklemeli İmalat Teknolojileri

Kaynak: (Url – 2)

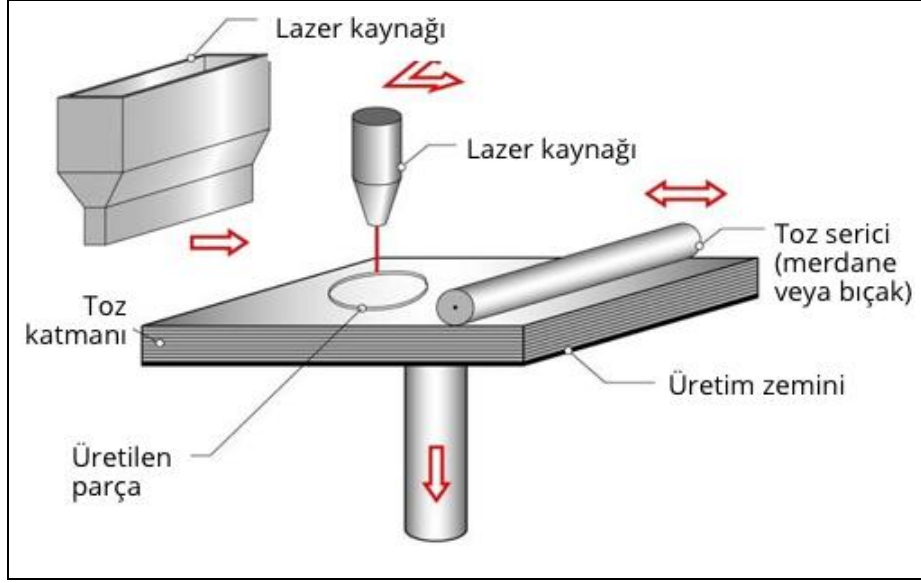
Analizlerde ve test düzeneğinde kullanılan soğutucuların malzemeleri alüminyum alaşım içermektedir. Bu malzemelerin içeriği, $AlSi_{10}Mg$, bileşiminden oluşan alaşımı içermektedir. Bu malzeme, iyi döküm özellik gösteren bir alaşım olup duvar yapısının ince olması ve karmaşık geometri içerdiği için işlenebilir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

İmalat sürecinde ilk olarak basılan alüminyum soğutucular 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 2.10'da toz yatak üretim döngüsü ve bir başka üretim çeşidi olan lazer ışını ergitme olan toz yatak üretim ile ilgili döngüsü Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.10: Toz Yatak Üretim Döngüsü

Kaynak: (Url – 2)

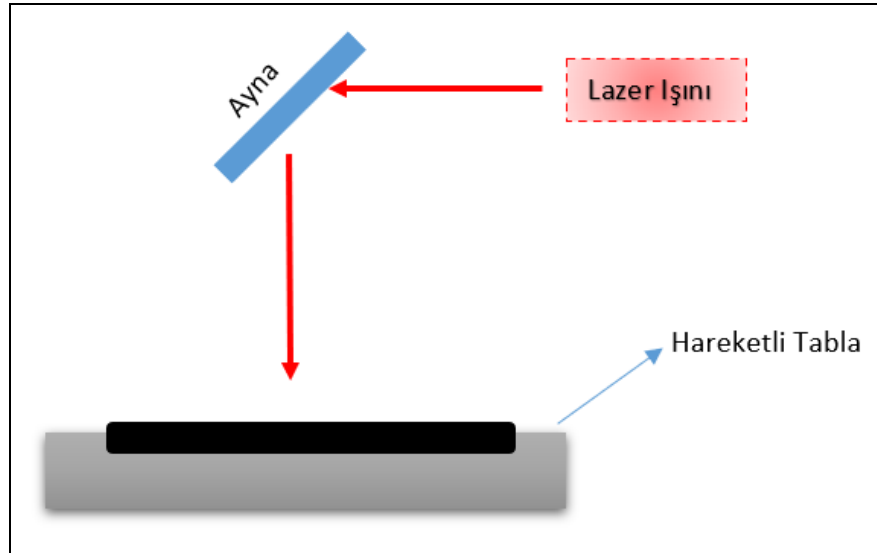


Şekil 2.11: Toz Yatak Üretim Döngüsü

Kaynak: (Url – 2)

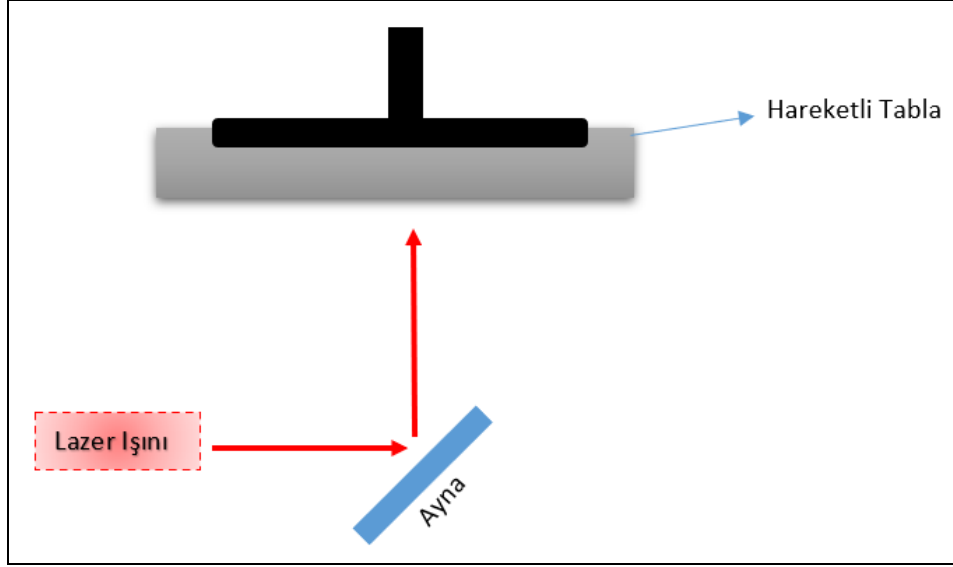
Stereo litografi (SLA) yönteminde, polimer malzemelerin ışık etkisi (UV) altında mikro yapısı değişime uğrayarak, çapraz bağ oluşturması ve katılaşması sürecidir (Öngül, 2017).

Stereo litografi (SLA) Yönteminde alttan yansıtma ve üstten yansıtma olmak üzere iki şekilde yansıtma uygulanır. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13’de SLA yansıtma yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.12: SLA Yansıtma Yöntemi-1

Kaynak: (Öngül, 2017)



Şekil 2.13: SLA Yansıma Yöntemi

Kaynak: (Öngül, 2017)

Alttan yansımali 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 katılaştırmaktadır.

Sıvı içerisinde ilk katmanı kap ile bağlı bulunan, kola yapışık şekilde oluşturulur. Kol yukarı çıktıkça diğer katmanlarda bu katmanlar üzerine biriktirilerek istenilen geometrik modeller oluşturulur. Üstten yansımali 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).

2.2.3 Test modül kontrol kartı

Yapılan tez çalışmasında yer alan test modülü, TE modülünün üzerine konulmuş Alüminyum soğutuculardan oluşan deneysel prototip yapıdır. Hazırlanan prototipte, test sırasında her bir alüminyum soğutucu 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 modelleri 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 modülüne birleştirilir.
8. Eklenen soğutucuların 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 karşılaştırılması 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 3.1’de verilen eşitlikte ifade edilir.

$$Z_T = \frac{a^2 T}{kR} \quad (3.1)$$

Bu ifadede;

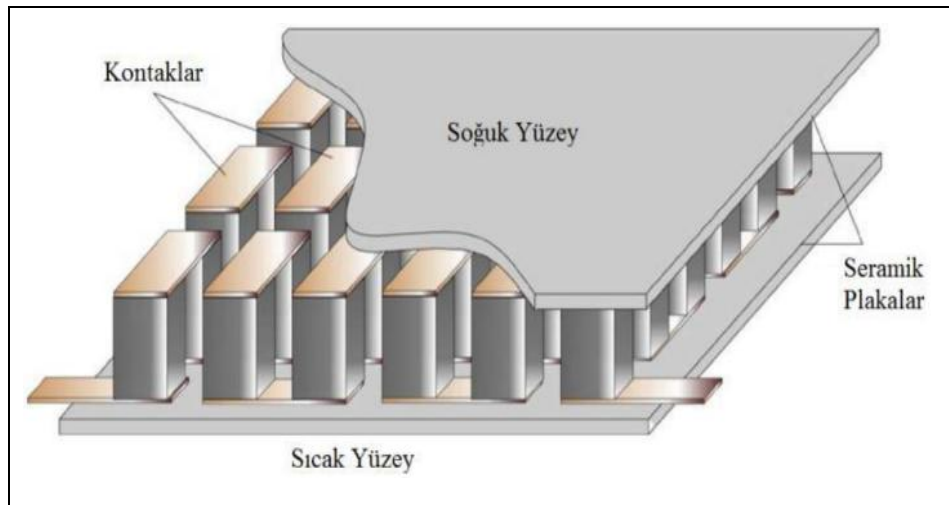
T; termoelektrik modülün yüzeylerinin ortalama sıcaklığı

K; ısı iletkenliği

R; elektrik direnci

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

TEC12710 TEC modül Bizmut teleryum (Bi_2Te_3) yapı içeren termoelektrik modüldür. Bu modülle ilgili görsel Şekil 3.1’de, performans özellik tablosu aşağıdaki Çizelge 3.1’de verilmiştir (Tosun, 2014).



Şekil 3.1: TEC - 12710 Modülü

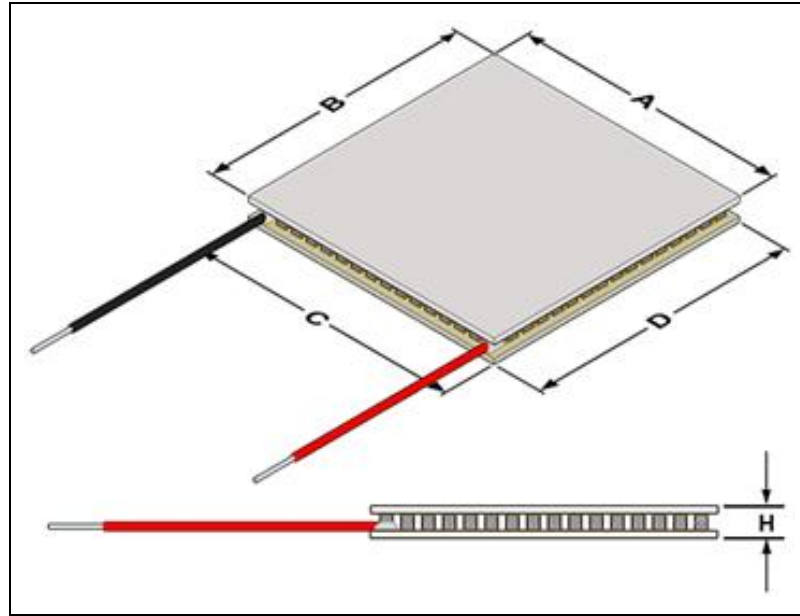
Kaynak: (Tosun, 2014)

Çizelge 3.1: 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 3.2’de verilmiştir.

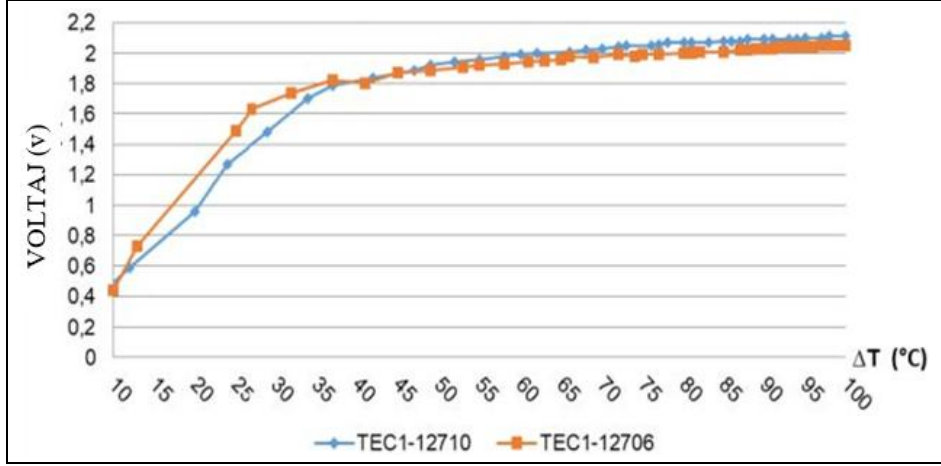
A = 40 mm, B = 40mm, C=40mm, D=40mm H = 5mm Ölçülerine sahiptir.



Şekil 3.2: TEC Modül Teknik Özellikleri

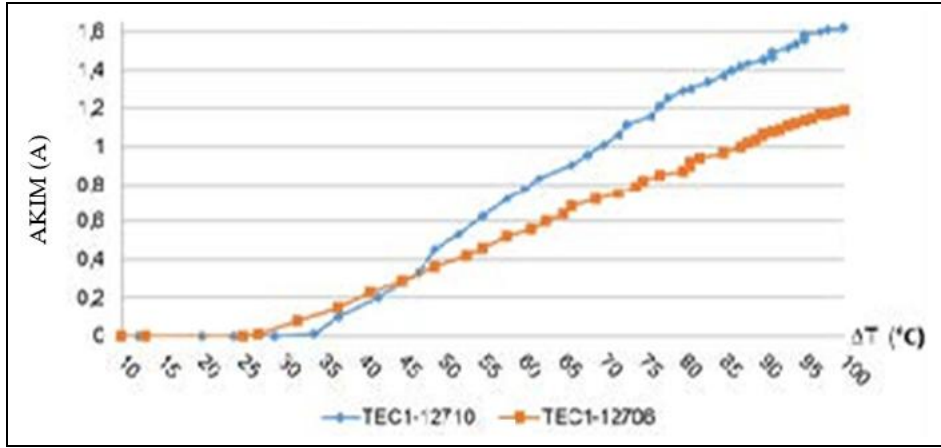
Kaynak: (Url – 6)

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 3.3 Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



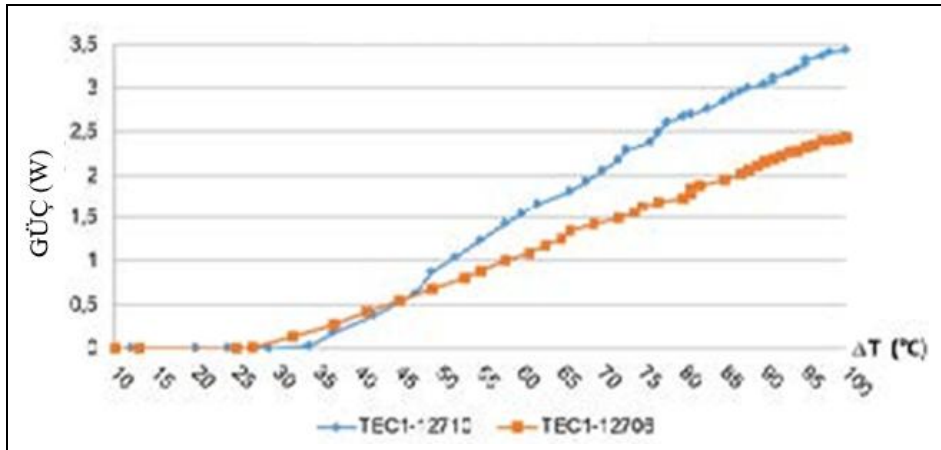
Şekil 3.3: TEC Modül Voltaj Analizi

Kaynak: (Ağaçayak, Neşeli, Yalçın, & Terzioğlu, 2017)



Şekil 3.4: TEC Modül Akım Analizi

Kaynak: (Ağaçayak, Neşeli, Yalçın, & Terzioğlu, 2017).

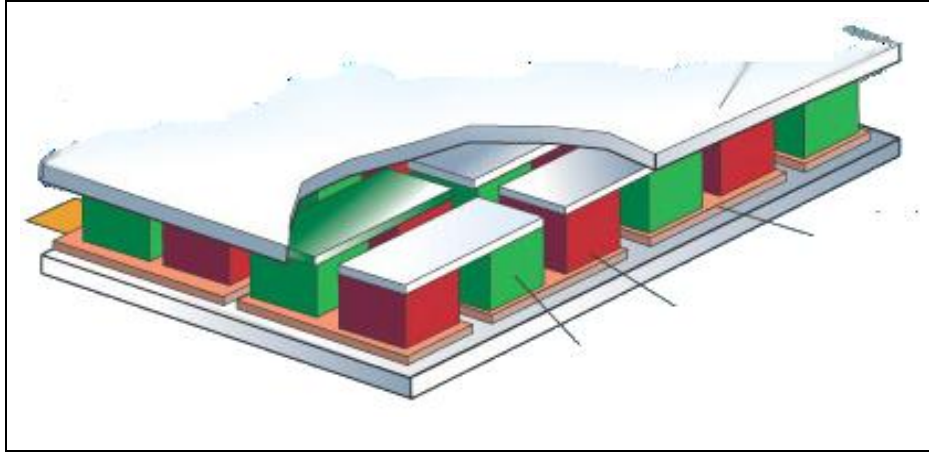


Şekil 3.5: TEC Modül Güç Analizi

Kaynak: (Ağaçayak, Neşeli, Yalçın, & Terzioğlu, 2017).

Verilere göre TEC – 12710 Modülünün Teknik Özellikleri Çizelge – 3.2’de yer almaktadır.

TEC modülünün Üç boyutlu model tasarım yapısı Şekil 3.6’da gösterilmiştir. TEC modülünün yapısında yer alan p ve n bileşiminden oluşan malzemelerinin ve üzerine kaplanan seramik kaplı yüzey malzeme görülmektedir.



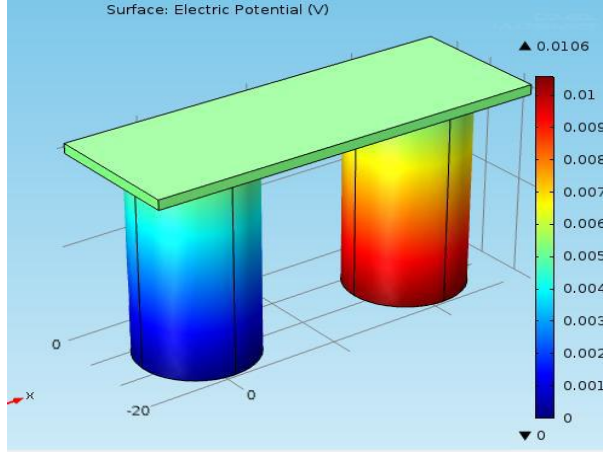
Şekil 3.6: TEC Üç Boyutlu Model Yapısı

Kaynak: (Url – 1)

Çizelge 3.2: TEC-12710 Teknik Özellikleri

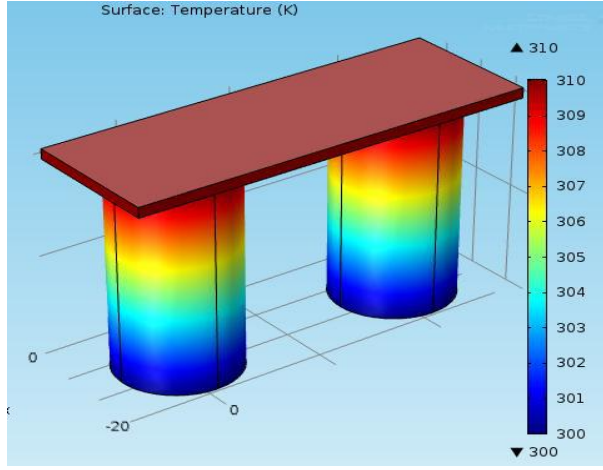
| Özellikler | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|----------------------------|---------------|----------------|
| Sıcak Yüzey Sıcaklığı (°C) | 26 | 74 |
| Soğuk Yüzey Sıcaklığı (°C) | 18 | -50 |
| Q_{max} (Watt) | 0 | 29,16 |
| I_{max} (Amper) | 0 | 1.8 |
| V_{max} (Volt) | 2.1 | 16,2 |
| Modül İç Direnci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

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 3.7 ve Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: TEC Termokupl Soğuk Yüzey Isıl Dağılım Analizi

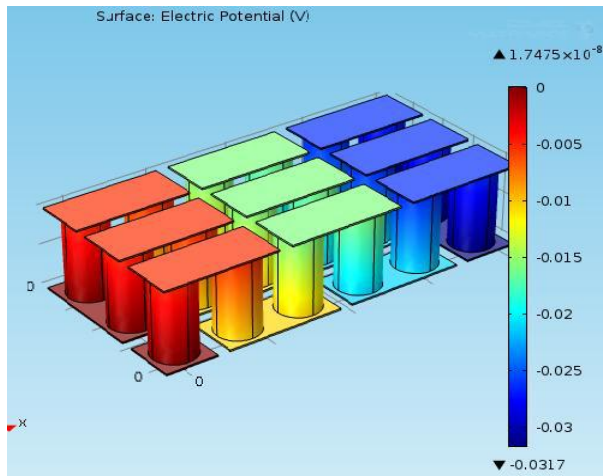
Kaynak: (Pheba, L., & S.Joyal, 2014).



Şekil 3.8: Termoelektrik Modül Sıcak Yüzey Isıl Dağılım Analizi

Kaynak: (Pheba, L., & S.Joyal, 2014)

TEC modülün yapısındaki ısıl dağılımını belirli elektrik yükü altında, dizi şeklinde sıcaklık dağılımı potansiyel olarak Şekil 3.9’ da gösterilmiştir.



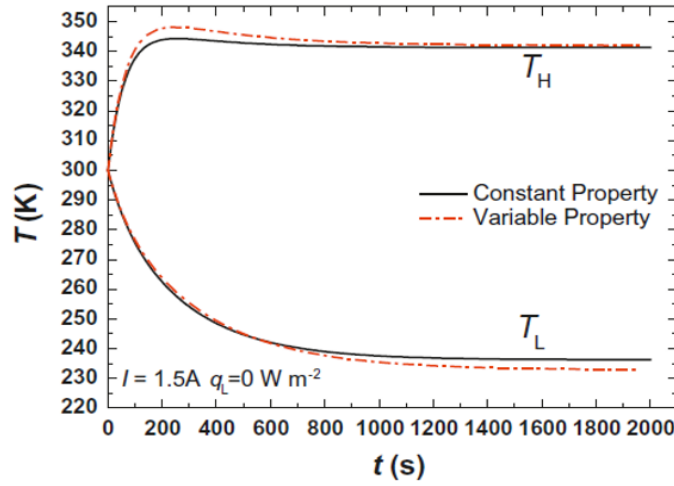
Şekil 3.9: TEC Modülün Potansiyel Dizi Sıcaklık Dağılımı

Kaynak: (Pheba, L., & S.Joyal, 2014)

3.1.2 TEC Modül yüzey ısı dağılımı

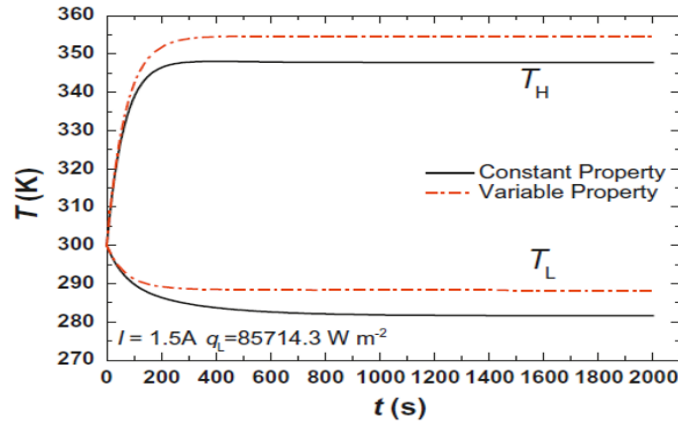
Yapılan araştırmalar ve yapılan testler doğrultusunda, Termoelektrik modülün sabit yük altında ve besleme akımlarında zamana bağlı olarak ısısının arttığı ve soğuma verimliliği düştüğü görülmüştür. Herhangi bir mekanik ekleme yapılmaksızın yaptığımız test sonucunda termo elektrik modül yüzey soğuma hızı, 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 3.10, şekil 3.11, şekil 3.12 ve şekil' 3.13'de göstermiştir (Meng, Wangb, & Zhang, 2013).



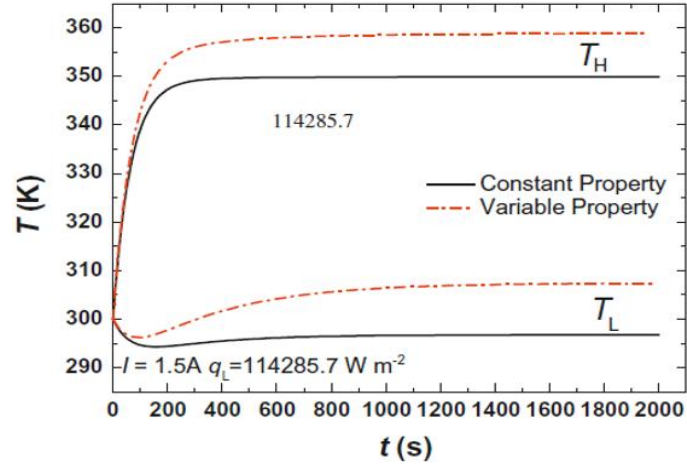
Şekil 3.10: TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği-1

Kaynak: (Meng, Wangb, & Zhang, 2013)



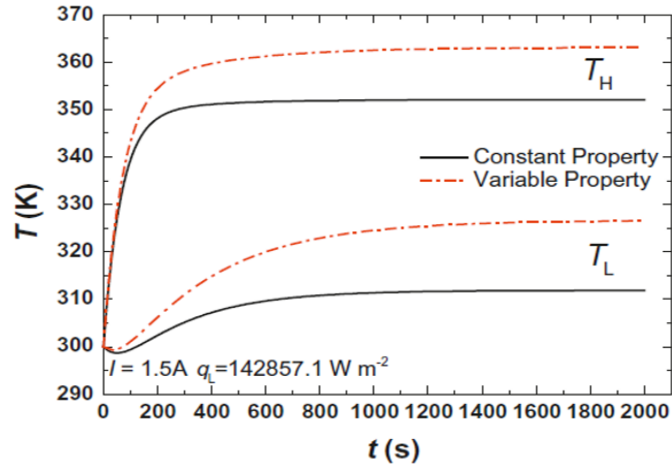
Şekil 3.11: TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği-2

Kaynak: (Meng, Wangb, & Zhang, 2013)



Şekil 3.12: TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği–3

Kaynak: (Meng, Wangb, & Zhang, 2013)



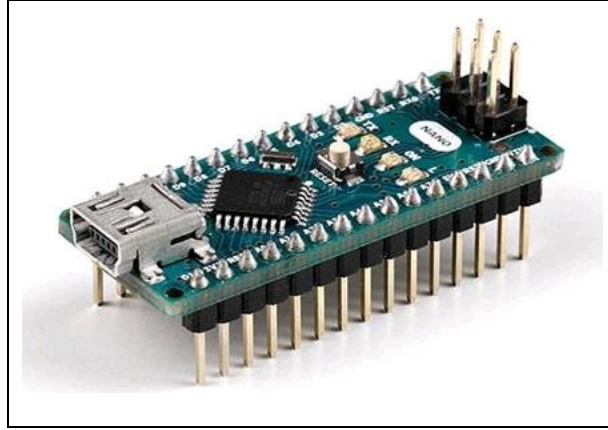
Şekil 3.13: TE Modül Soğutma yükü altındaki Isıl Dağılım Grafiği–4

Kaynak: (Meng, Wangb, & Zhang, 2013)

3.1.2 Arduino mikroişlemci

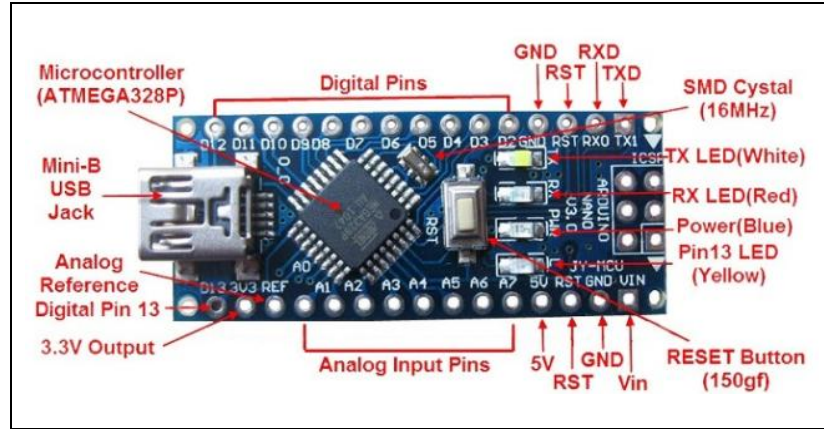
Arduino üzerindeki mikroişlemciler göre çeşitli versiyonlara sahiptir. Bunlardan bazıları şekil gösterilmiş ve teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

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 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.14: Arduino NANO Devre Kartı

Devre kartı üzerindeki bağlantı isimleri ve devre elemanları Şekil 3.15’de gösterilmiştir.

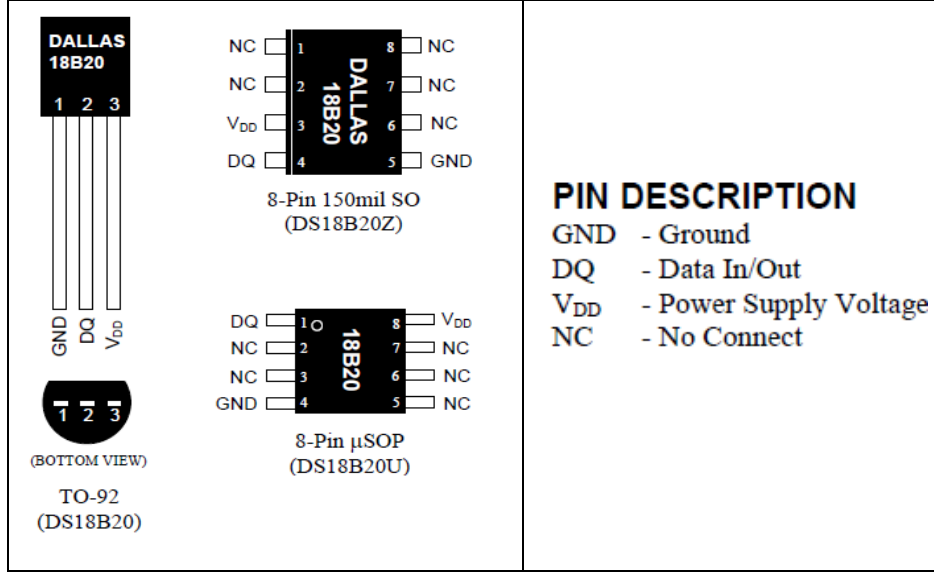


Şekil 3.15: Arduino UNO Devre Kartı Bağlantı Elemanları

3.1.3 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.

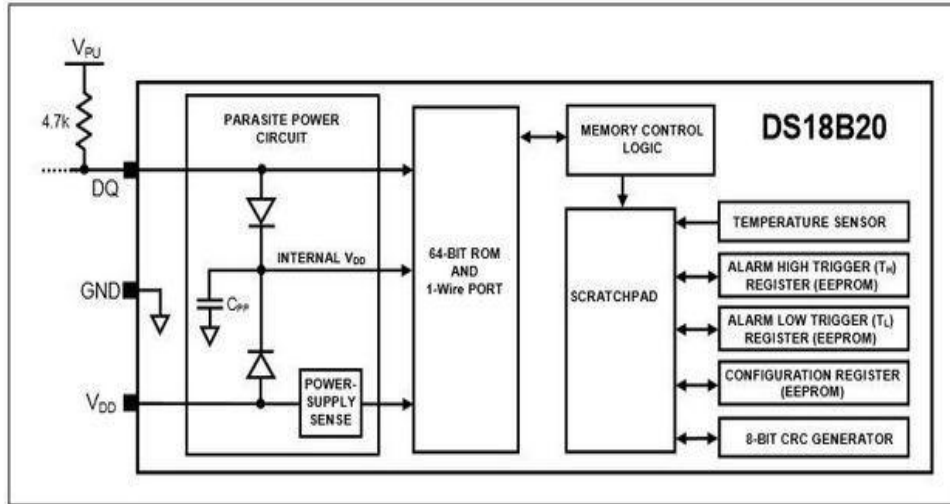
DS18B20 Sensörü TEC modülün ısı iletimini takip edebilmek için kullanılır. Belirlediğimiz ısı sensörü DS18B20 sıcaklık sensörüdür. Bu sensör emsallerine göre analog sinyal yerine dijital sinyal verebilmektedir. Ayrıca hassasiyeti diğer sensörlere göre daha iyidir. Sensörler ile ilgili ayak bağlantıları Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



Şekil 3.16: DS18B20

Kaynak: (Url - 4)

Kullanılan ısı sensörünün iç yapısını içeren blok diyagramı Şekil 3.17’de verilmiştir.

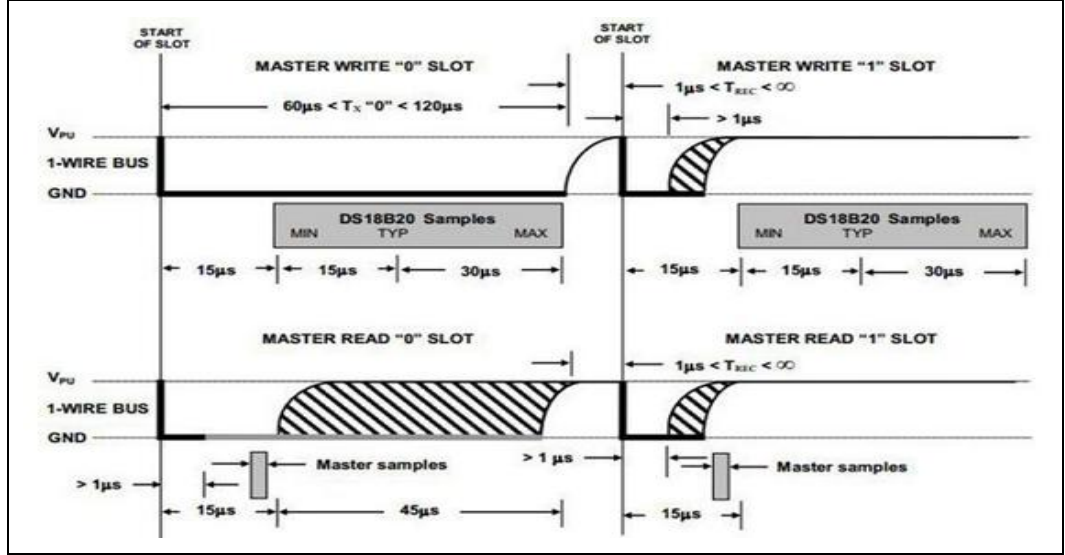


Şekil 3.17: DS18B20 Isı Sensörü

Kaynak: (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 değeri 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 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18: S18B20 Veri Grafiği

Kaynak: (Url - 4)

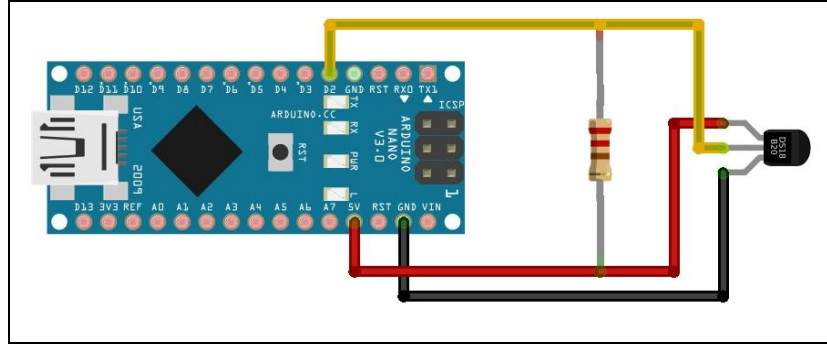
Sensörün DC enerji altında karakteristik ve Elektrik ile ilgili voltaj ısıl parametreleri tablosu, Çizelge 3.3’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.3: DS18B20 Sensörün Elektrik ile İlgili Voltaj Isıl 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} | |
| | | | | ±0.5 | |
| Termometre hata | t _{ERR} | | | ±2 | °C |
| 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 | | °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 3.19’da ısı sensörünün metal prob Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.19: DS18B20 Isı Sensörü Mikroişlemci Bağlantı Şeması



Şekil 3.20: DS18B20 Isı Sensörü

3.1.4 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.

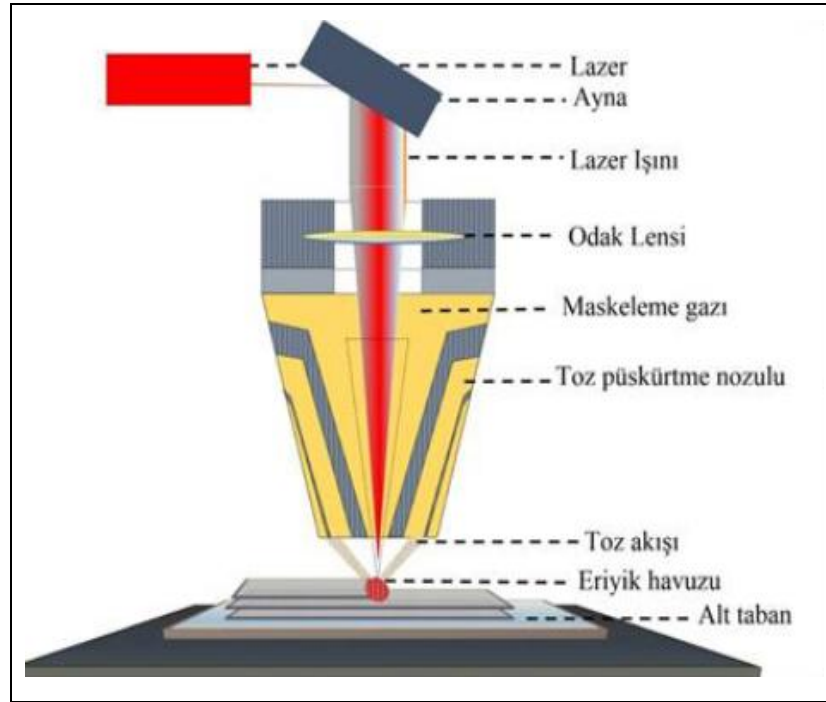
TE modülün ısı yüzeyini hızlı soğutmak için ısıl iletimi sağlayan alüminyum soğutucular eklenmiştir. Bu yöntemle soğutma haznesinin üzerindeki ısıl dağılım eklenen malzemenin ısıl transfer oranını incelemiştir. Isıl transfer sırasında, Isıl transfer oranına bağlı olarak, basınç ve ısı kaybını artırdığı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

3.2 Alüminyum Soğutucuların (AS) İmalat Yöntemleri

Soğutucular, ısı 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 alüminyum soğutucuların ölçütleri çok küçük parametreleri içermektedir. Bu parametreler içinde, üretim gerçekleştirilmesi için çeşitli imalat yöntemleri kullanılmıştır. Bu imalat yöntemlerinde, alüminyum soğutucuların belirlenen teknik parametrelere uygun bir şekilde üretilebilmesi için eklemeli imalat yöntemlerinden yararlanılmıştır.

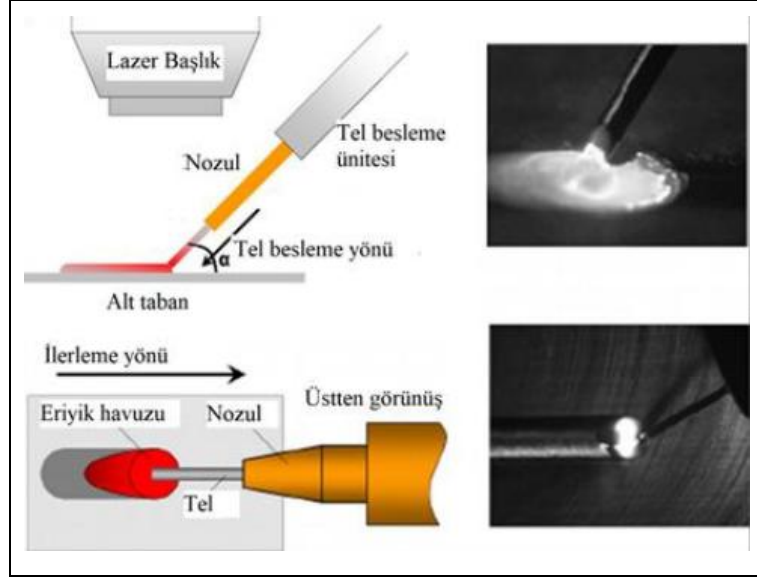
Eklemeli İmalat yöntemi ile yapılan alüminyum soğutucuların ısı iletimi için çeşitli geometrik şekilleri içerir. Bu geometrik şekillerin imalatında kullanılan metal tozları, hammadde biçimi, elektron ışını lazer, gibi kaynakları içeren sınıflandırmalara sahiptir (Yeşildağ, 2020).

Şekil 3.21 ile Şekil 3.22’de lazerli birleştirme ile tel ve lazer eklemeli imalat sisteminin yan ve üstten şematik işlem sırasındaki görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 3.21: Lazerli birleştirme şematik gösterimi

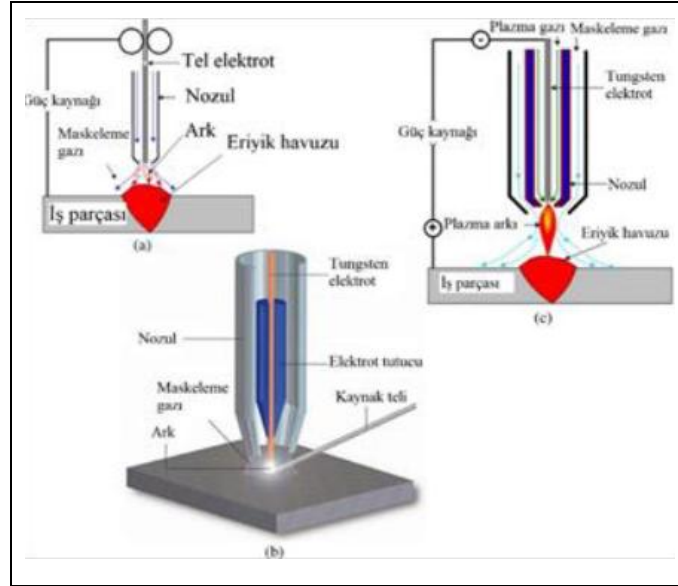
Kaynak: (Yeşildağ, 2020)



Şekil 3.22: Lazer ile tel beslemeli eklemeli imalat sistemi

Kaynak: (Yeşildağ, 2020)

Tel ark eklemeli imalat yönteminde, ısı kaynağı ark sağlamaktadır, Şekil 3.23’de şematik olarak gösterilmiştir.

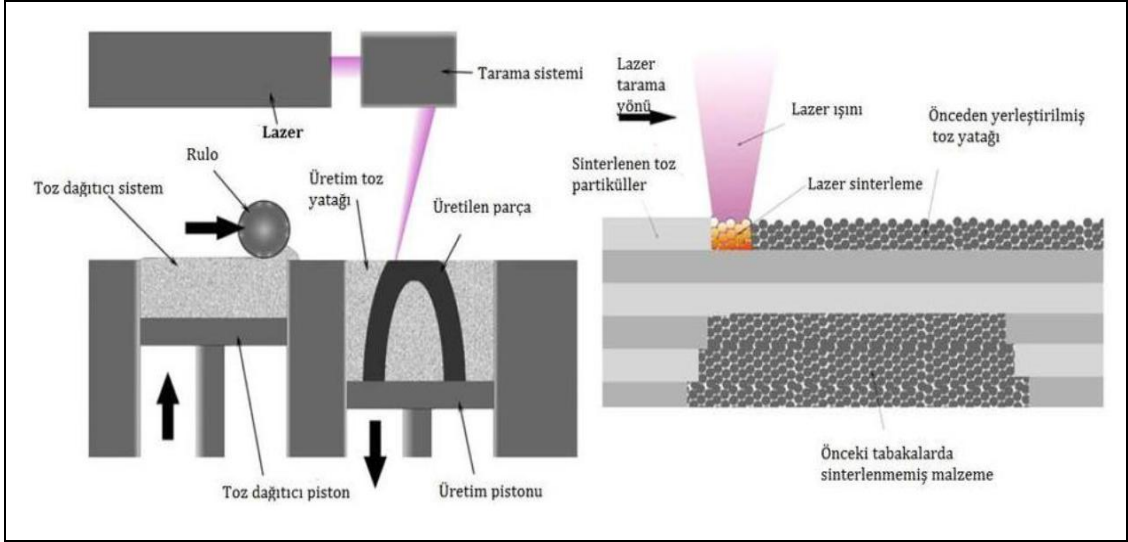


Şekil 3.23: Ark Kaynağı ile Eklemeli İmalat Uygulanması

Kaynak: (Yeşildağ, 2020).

Direkt (Doğrudan) Metal lazer sinterleme eklemeli imalat yönteminde (DMLS) alüminyum toz alaşım katmanının oluşumu, lazerin gücüne bağlıdır. Belirlenen soğutucu geometrik modellerinin toz halinde yer alan alüminyum alaşım malzemenin katmanlar şeklinde eğitilerek oluşturulmaktadır (Bulduk, 2020). Katmanlı üretimin bir yöntemi olan, Direkt (Doğrudan) Metal lazer sinterleme eklemeli imalat yönteminde yapılan birçok tasarımın üretim kolaylığı ve toz metal yapılarıdaki

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 3.24’de gösterilmiştir.



Şekil 3.24: Doğrudan Direk Metal Lazer Sinterleme Eklemeli İmalat Yöntemi

Kaynak: (Bulduk, 2020)

Başka bir imalat yönteminde, ekleme yapılan malzemenin 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 yararlanılır. (Kim, Won, Kim, & Back, 2003) Soğutucular alüminyum alaşımdan imal edilmiştir. Alüminyum içerisindeki oranlara göre saflık tanımlaması yapılır. Yapılan saflık parametrelerine göre Çizelge 3.4’de tanımlar yer almaktadır (Buluş, 2019).

Çizelge 3.4: Alüminyum Saflık Parametreleri Referansı

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

Kaynak: (Buluş, 2019)

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 modelleri için eklemeli imalat yönteminde kullanılan Alüminyum alaşım malzemelerin teknik özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5: Alüminyum Soğutucu Malzemelerin Teknik Parametreleri

| | | |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| 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 |
| Kaynak: (ALUTEAM) | | |

Soğutucular için kullanılan Alüminyum alaşım malzemelerin Mekanik özellikleri Çizelge 3.6’de verilmiştir.

Çizelge 3.6: Alüminyum Soğutucu Malzemelerin Mekanik Parametreleri

| 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 | |
| Kaynak: (ALUTEAM) | | |

Alüminyum soğutucularda işlenen kült alüminyum bloklar için fiziksel, Kimyasal ve Termal özellikler Çizelge 3.7, Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9’da yer almaktadır.

Çizelge 3.7: Alüminyum Soğutucu Malzemelerin Fiziksel Parametreleri

| | |
|--------------------------|------------------------|
| Yoğunluk | 2.67 g/cm ³ |
| Göreceli Yoğunluk | 99.85% |
| Kaynak: (ALUTEAM) | |

Çizelge 3.8: Alüminyum Soğutucu Malzemelerin Kimyasal Özellikleri

| 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 |

Kaynak: (ALUTEAM)

Çizelge 3.9: Alüminyum Soğutucu Malzemelerin Termal Özellikleri

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

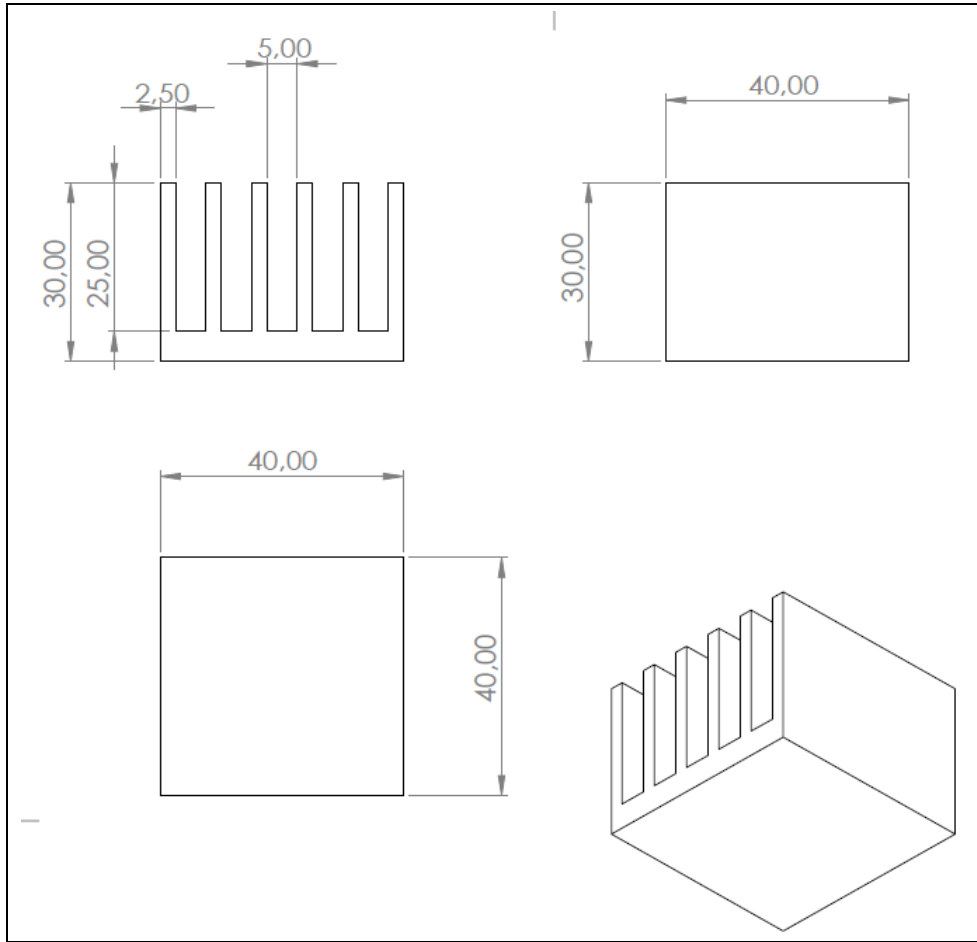
Kaynak: (ALUTEAM)

Geometrik şekillerin işlenen alüminyum kült bloklar için belirtilen doluluk ve boşluk oranları Çizelge 3.10, Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12’de yer almaktadır. Belirtilen boşluk ve doluluk miktarına göre üç farklı geometrik şekil oluşturulmuştur. Bu bağlamda soğutucuların teknik özellikleri Şekil 3.25, Şekil 3.26 ve Şekil 3.27’de verilmiştir.

3.2.1 Alüminyum Soğutucu – 1 (AS1) için hacimsel oranlar

Çizelge 3.10: Alüminyum Soğutucu için hacimsel oranları-1

| Alüminyum Soğutucu hacmi | DMLS yapılan AlSi10Mg hacmi | Boşluk hacmi | Boşluk/doluluk oranı |
|--------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|
| 48000mm ³ | 25000mm ³ | 23000mm ³ | %52,08 |

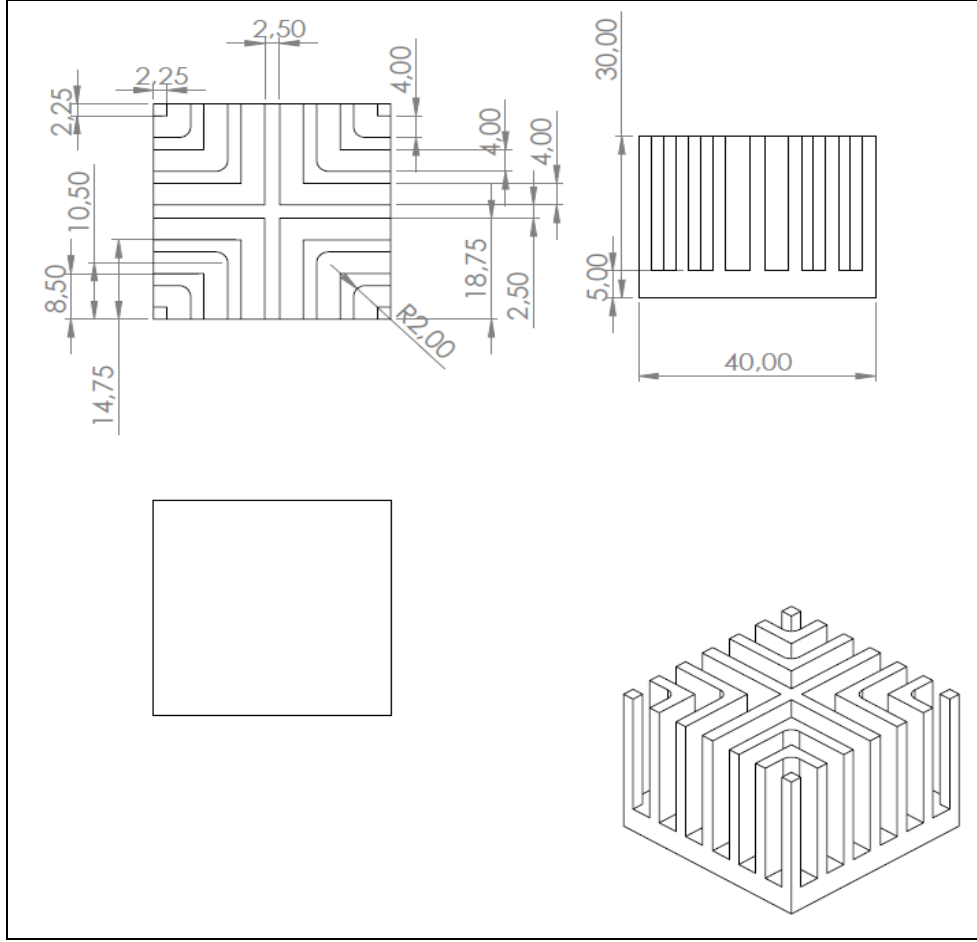


Şekil 3.25: Alüminyum Soğutucu – 1 (AS1) Teknik ölçüleri

3.2.2 Alüminyum Soğutucu – 2 (AS2) için hacimsel oranlar

Çizelge 3.11: Alüminyum Soğutucu için hacimsel oranları-2

| Alüminyum Soğutucu hacmi | DMLS yapılan AlSi10Mg hacmi | Boşluk hacmi | Boşluk/doluluk oranı |
|--------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|
| 48000 mm ³ | 25029mm ³ | 22971mm ³ | %52,14 |

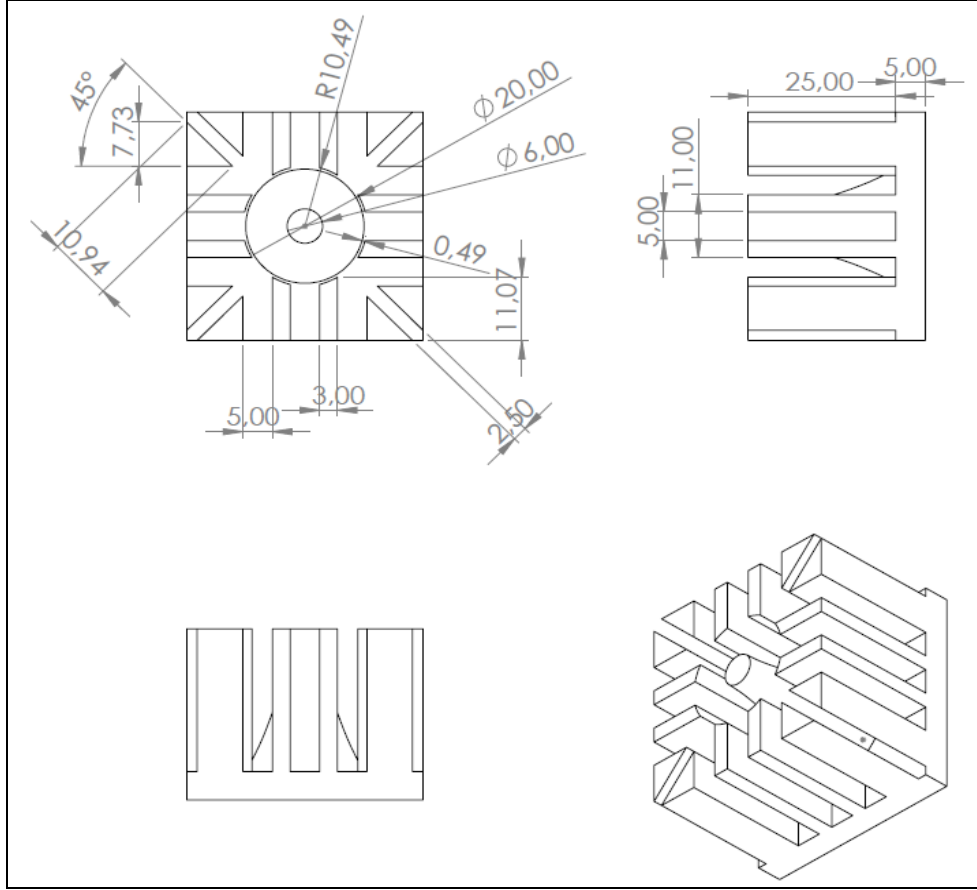


Şekil 3.26: Alüminyum Soğutucu – 2 (AS2) Teknik ölçüleri

3.2.3 Alüminyum Soğutucu – 3 (AS3) için hacimsel oranlar

Çizelge 3.12: Alüminyum Soğutucu için hacimsel oranları-3

| Alüminyum Soğutucu hacmi | DMLS yapılan AlSi10Mg hacmi | Boşluk hacmi | Boşluk/doluluk oranı |
|--------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|
| 48000 mm ³ | 25173mm ³ | 22827mm ³ | %52,44 |



Şekil 3.27: Alüminyum Soğutucu – 3 (AS3) Teknik Çizimleri

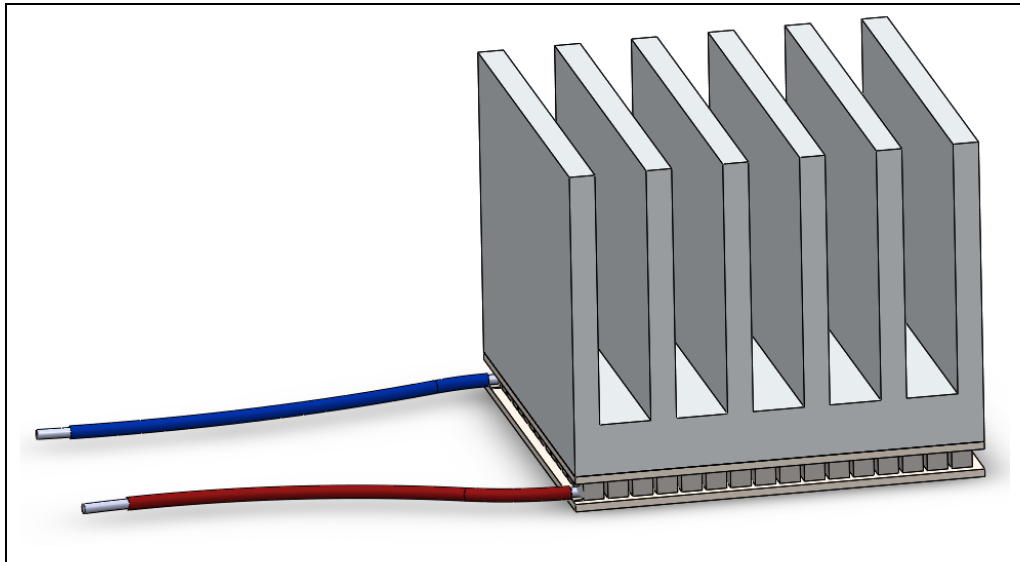
4. DENEYSEL VE SAYISAL ANALİZ METODOLOJİSİ

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

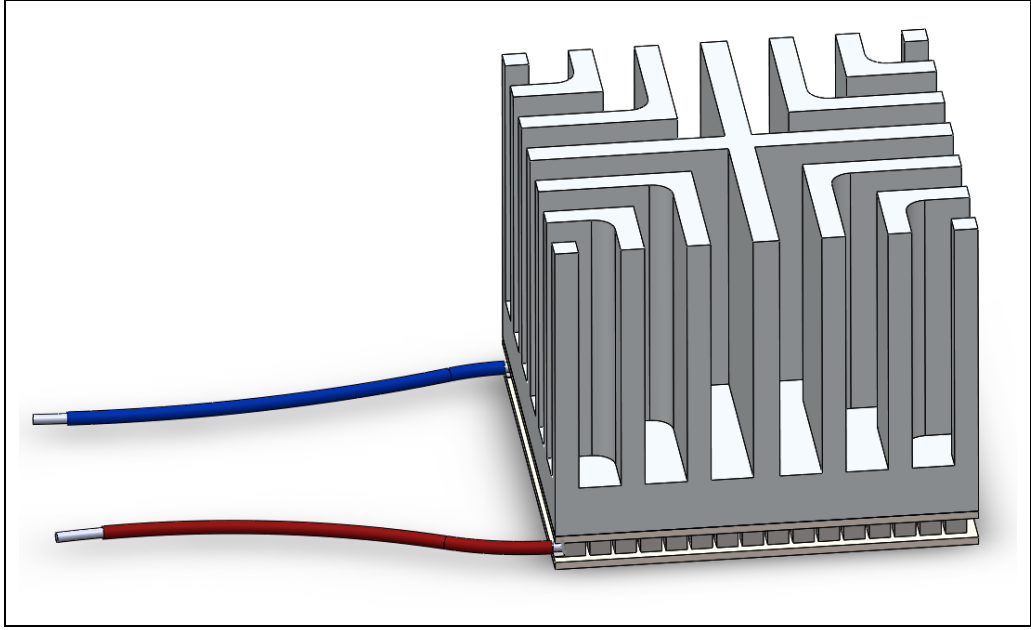
4.1 Deneysel Analiz

4.1.1 Alüminyum soğutucuların modellenmesi

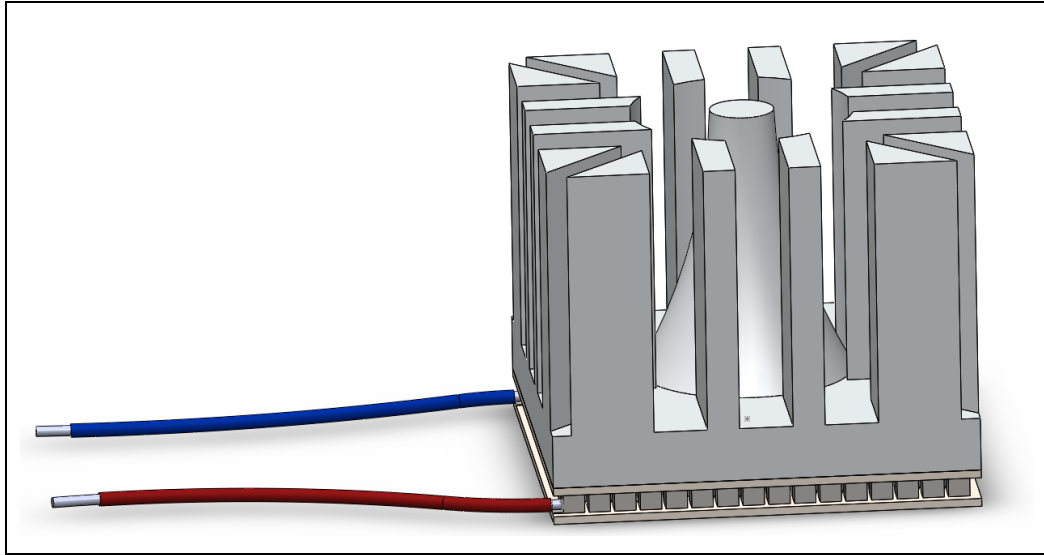
Alüminyum soğutucuların belirlenen geometrik şekiller dikkate alınarak çizim programında üç boyutlu olarak çizilmiştir. Çizimlerin termoelektrik modül yüzeyine tam oturacak şekilde ölçülendirilmesi ve buna bağlı olarak modellenmesi yapılmıştır. Ayrıca deney modülünün üç boyutlu çizimi ve devre bağlantı şemaları modellenerek test düzeneği geliştirilmiştir. Buna göre Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de belirlenen geometrik şekillerin modellenmesi ve test düzeneğinin modellenmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Alüminyum Soğutucu-1’in TEC-12710 ile Modellenmesi

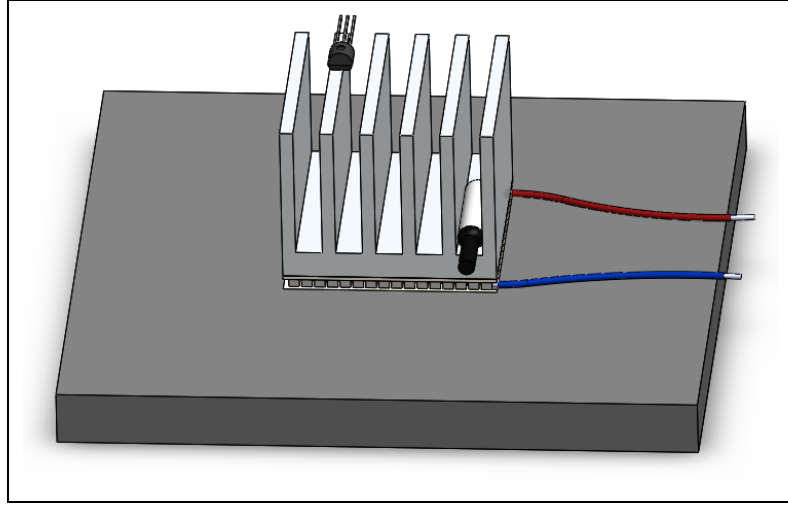


Şekil 4.2: Alüminyum Soğutucu-2'in TEC-12710 ile Modellenmesi

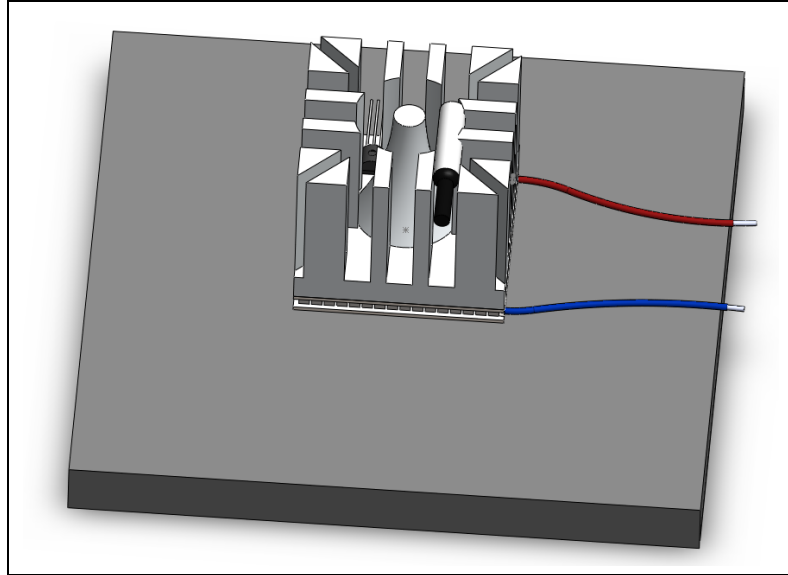


Şekil 4.3: Alüminyum Soğutucu-3'ün TEC-12710 ile Modellenmesi

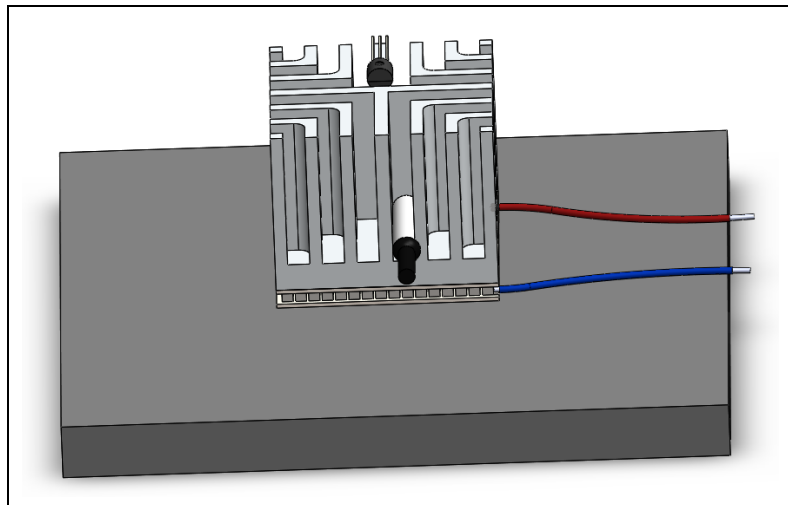
Soğutucuların test düzeneğine montajını üstlerinde bulunan ısı sensörü ve test düzeneğinin örnek modellenmesi Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



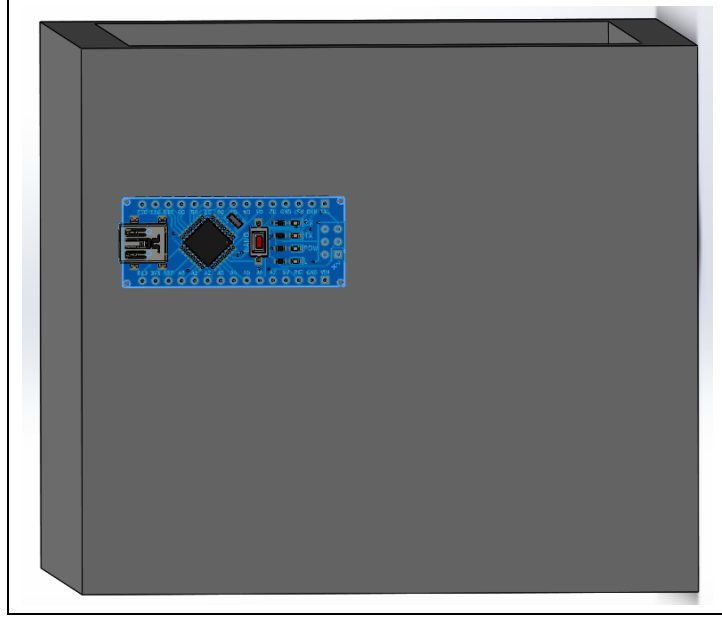
Şekil 4.4: Alüminyum Soğutucu-1'in Test Düzeneği Modellenmesi



Şekil 4.5: Alüminyum Soğutucu-2'in Test Düzeneği Modellenmesi



Şekil 4.6: Alüminyum Soğutucu-1'ün Test Düzeneği Modellenmesi



Şekil 4.7: Test Düzeneği Elektronik Tesisat Modellenmesi

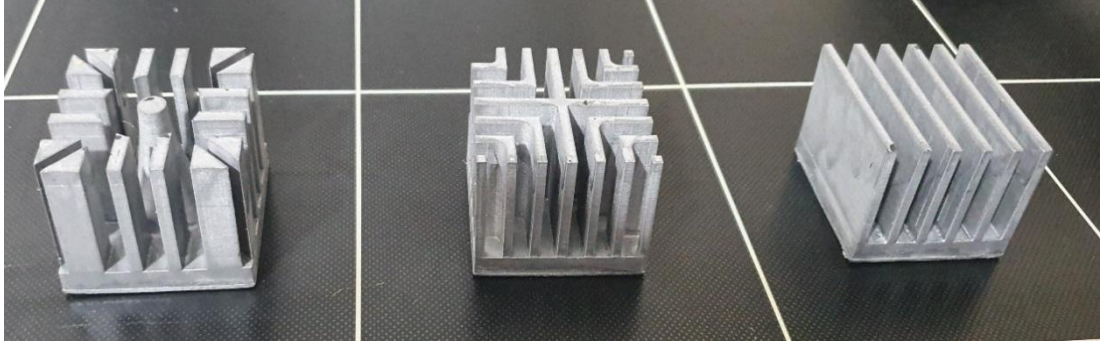
4.1.2 Alüminyum soğutucuların işlenmesi

Alüminyum soğutucuların, çizilen geometrik modeller içi belirtilen teknik resim boyutlarında, ısıl iletkenliği yüksek olan malzemeler ile işlem yapılmıştır. Modellerin 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 soğutucuların hammaddesi alüminyum olarak belirlenmiştir. Alüminyum, model oluşturulma işlemi sürecinde istenilen geometrik modeli imalatında, üç boyutlu yazıcı modeli olan EOS M290'dan yararlanılmıştır. Her bir alüminyum soğutucunun, çizilen geometrik modellerin görünüşleri Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Geometrik Şekillerin Üç Boyutlu Baskıları Üst Görünüş



Şekil 4.9: Geometrik Şekillerin Üç Boyutlu Baskıları

Değişik geometrik şekillerde çizilmiş geometrik soğutucu modellerinin, 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, kalıp ayrıcı sıvı ve yağ karışımında bekletilmiştir. Alçı kalıbın sağlam olması için cam elyaf malzemelerle desteklenmiştir. Model kalıp ayırma ve Elyaf malzeme ile sarım Şekil 4.10'da yer verilmiştir.



Şekil 4.10: Model Kalıbın Elyaf Malzeme İle Sarımı

Model 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 modellerle daldırılarak döküm için negatifler oluşturulmuştur. Negatifler sonucunda araba motor şase yapımında kullanılan alüminyum malzemeler dikkatle eritilerek alüminyum soğutucuların kalıpları oluşturulmuştur. Döküm yapılan modellerin kalıplarını kırmak suretiyle soğutmada kullanılacak geometrik modeller, herhangi bir zarar

olmadan çıkarılmaya çalışılmıştır. Şekil 4.11’de SLA ile basılan geometrik şekilleri kullanarak oluşturulmuş örnek alçı kalıbı yer almaktadır.

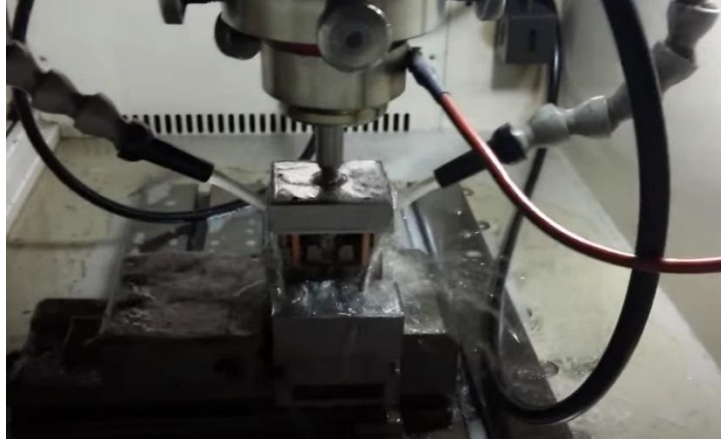


Şekil 4.11: Alçı döküm Kalıp Üst Yüzeyi

Oluşturulan kalıpların içi dikkatli bir şekilde oyularak gerekli soğutma hazneleri için boşluklar oluşturulmuştur. Oluşturulan boşluklardan atık alüminyum kutular eritilerek soğutma testi gerçekleştirilecek geometrik modeller elde edilmeye çalışılmış fakat alçı kalıpların ısının aşırı olması sebebiyle çatlamış ve başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Geometrik modellerin küçük ve hassas işleme olması sebebiyle üç farklı geometrik şeklin alüminyum alaşımı, dalma erozyon yöntemiyle işlem yapılarak soğutucular oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller işleme aşamasını gösteren görseller Şekil 4.12, Şekil 4.13 Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12: Dalma Erozyonla Yapılan Elde Edilen Soğutucu Aşamaları-1



Şekil 4.13: Dalma Erozyonla Yapılan Elde Edilen Soğutucu Aşamaları-2



Şekil 4.14: Dalma Erozyonla Yapılan Elde Edilen Soğutucu Aşamaları-3



Şekil 4.15: Dalma Erozyonla Yapılan Elde Edilen Soğutucu Aşamaları-4

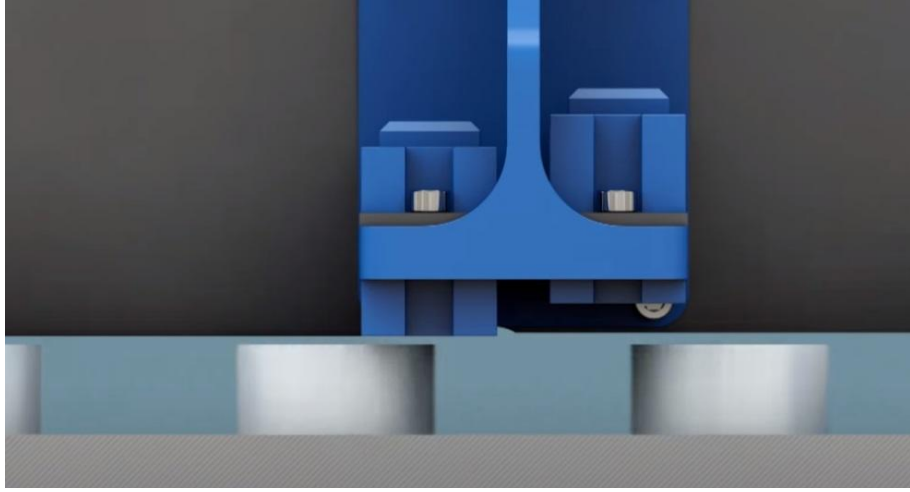
Dalma erozyonu ile üretilen soğutucuların gerek üretim maliyeti gerekse üretim zamanlamasının fazla olması nedeniyle, tezin ilerleyen aşamalarında, eklemeli imalat üretim metodu tercih edilmiştir.

Alüminyum soğutucuların üretimi, doğrudan metal lazer sinterleme eklemeli imalat yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Doğrudan (Direkt) metal lazer sinterleme yöntemi (DMLS) kullanılarak gerçekleştirilen bu üretim yöntemi ile üç farklı geometrik soğutucu imal edilmiştir. İmal edilen bu soğutucular eklemeli imalat yöntemi ile katmanlar şekline $AlSi_{10}Mg$ alaşım kullanılarak katmanlar halinde yapılmıştır.

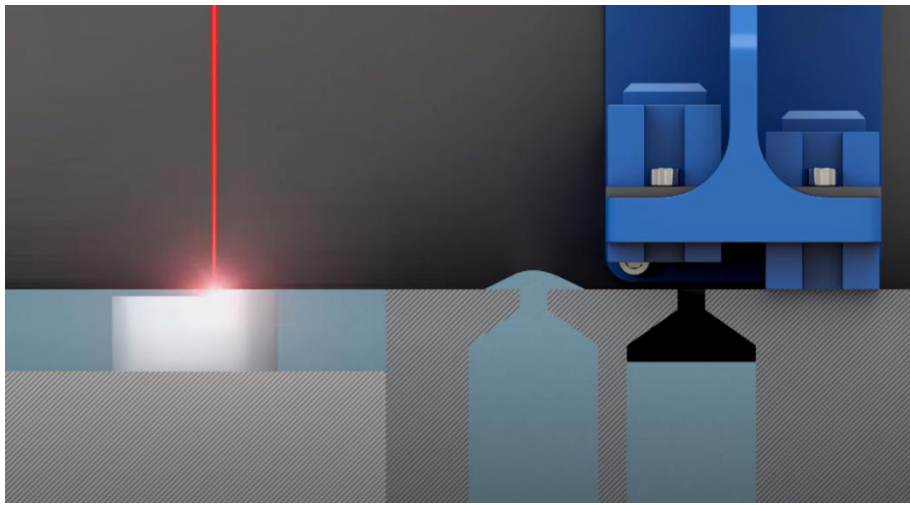
Bu alaşımdan yapılan üretimle eklememeli imalat yönteminin kullanıldığı doğrudan (direkt) metal lazer sinterleme yönteminde, üretim süreci $AlSi_{10}Mg$ alaşımı toz halinde katman olarak tablaya serilmektedir. Serilen katmanın üzerine lazer ışını gönderilerek birleştirme yapılmaktadır. Bu şekilde katmanlar lazer ile birleştirilerek modelleme yaptığımız alüminyum soğutucuların imalatı gerçekleştirilmiştir. İmalat sürecindeki çalışma simülasyonu Şekil 4.16, Şekil 4.17 Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Alüminyum soğutucuların üretim süreci, Şekil 4.19’de gösterilmiştir.



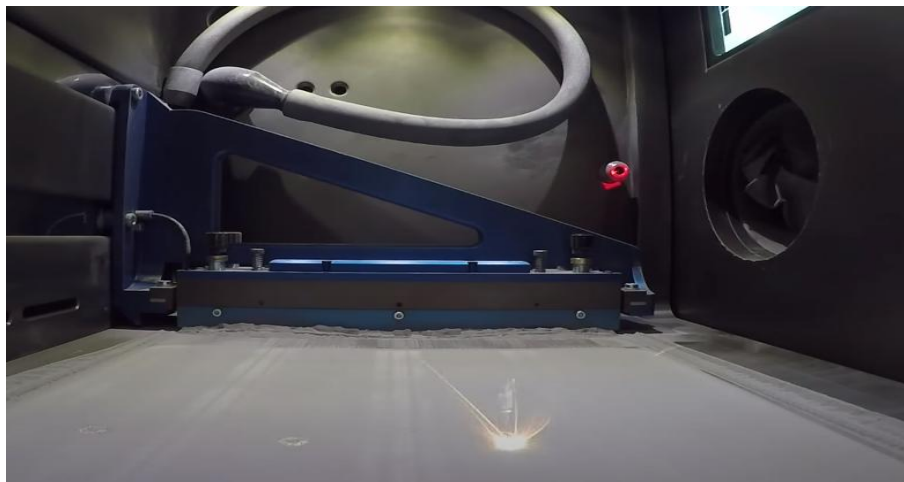
Şekil 4.16: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde Katmanın Serilmesi



Şekil 4.17: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde Katmanın Fazlalıklarının Alınması



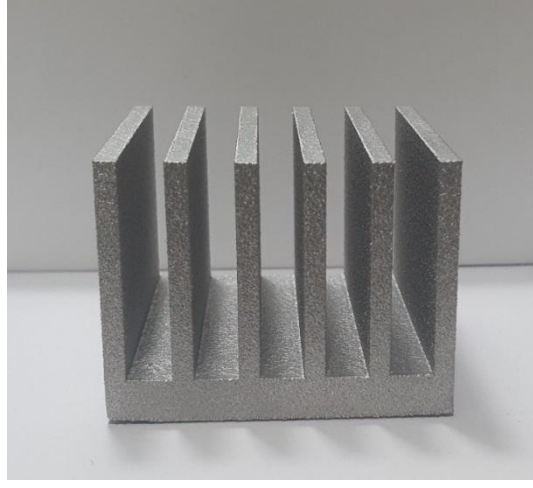
Şekil 4.18: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde Alüminyum Toz Alaşım Katmanının Oluşumu



Şekil 4.19: DMLS Eklemeli İmalat Yöntemi İle Soğutucuların Oluşumu

Elde edilen alüminyum soğutucular katman yapısı, geometrik şekillerin ön görünüşü ve üst görünüşü yer aldığı soğutucu modelleri Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22,

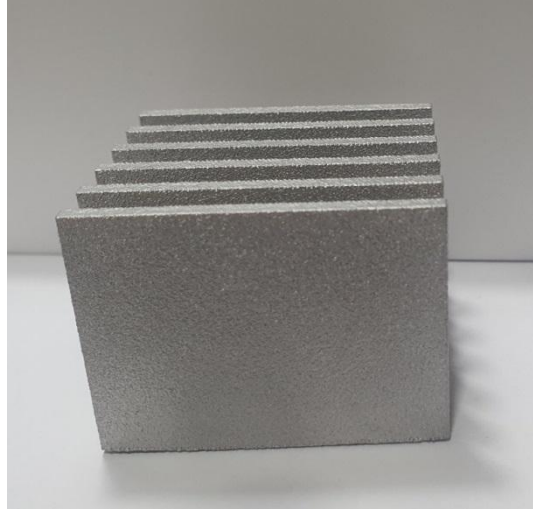
Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de gösterilmiştir. Alüminyum soğutucuların üretildiği lazer sinterleme cihazının modeli ile ilgili teknik parametreler Çizelge 4.1’ de gösterilmiştir.



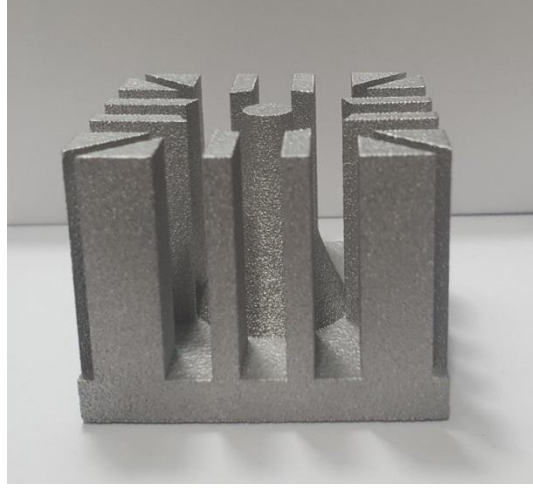
Şekil 4.20: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP1’in Ön Görünümü



Şekil 4.21: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP1’in Üst Görünümü



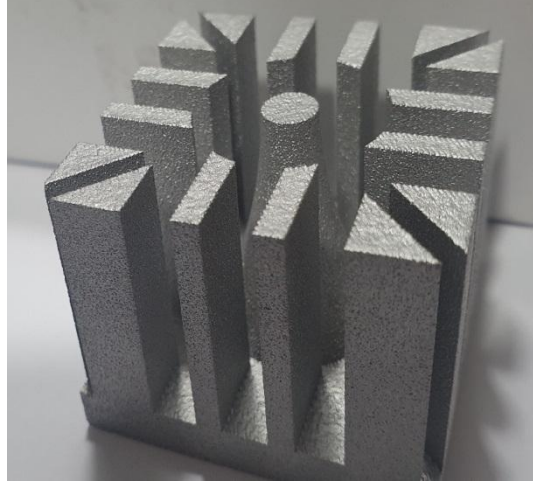
Şekil 4.22: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP1'in Yan Görünümü



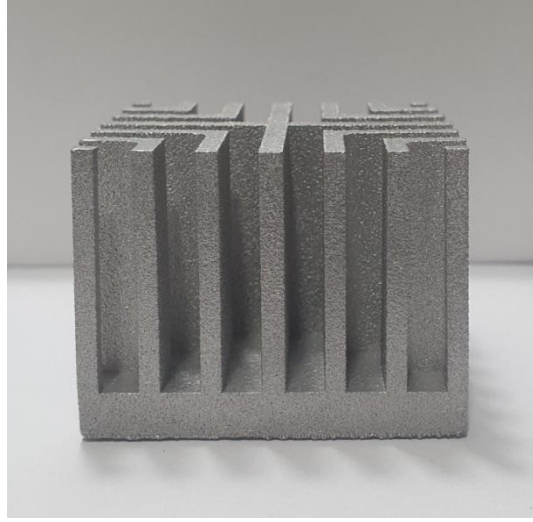
Şekil 4.23: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP2'in Ön Görünümü



Şekil 4.24: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP2'in Üst Görünümü



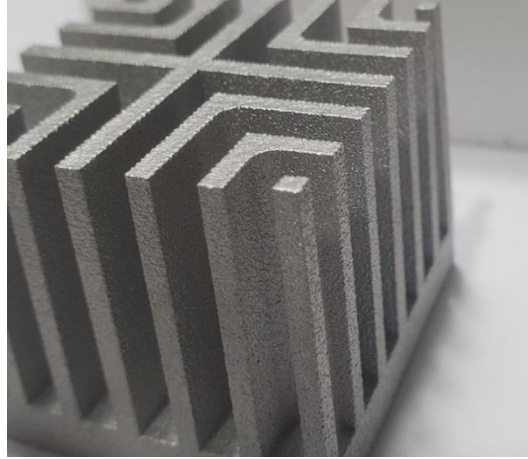
Şekil 4.25: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde SP2'in Yan Görünümü



Şekil 4.26: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP3'ün Ön Görünümü



Şekil 4.27: DMLS Eklemeli İmalat Yönteminde ile Üretilen SP3'ün Üst Görünümü



Şekil 4.28: DMLS Eklemeli İmalat Yöntemi ile Üretilen SP3'ün Yan Görünümü

Alüminyum Soğutucuların direkt (Doğrudan) lazer sinterleme eklemeli imalat 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).

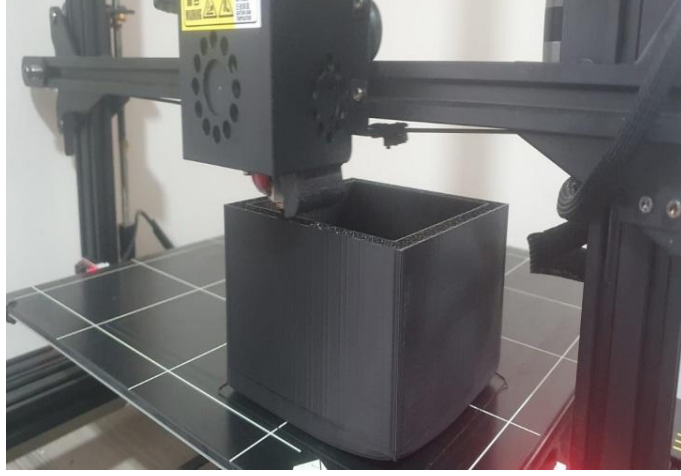
Çizelge 4.1: EOS M290 Direkt Metal Lazer Sinterleme Makinesi Teknik Parametreleri

| 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 mikron |

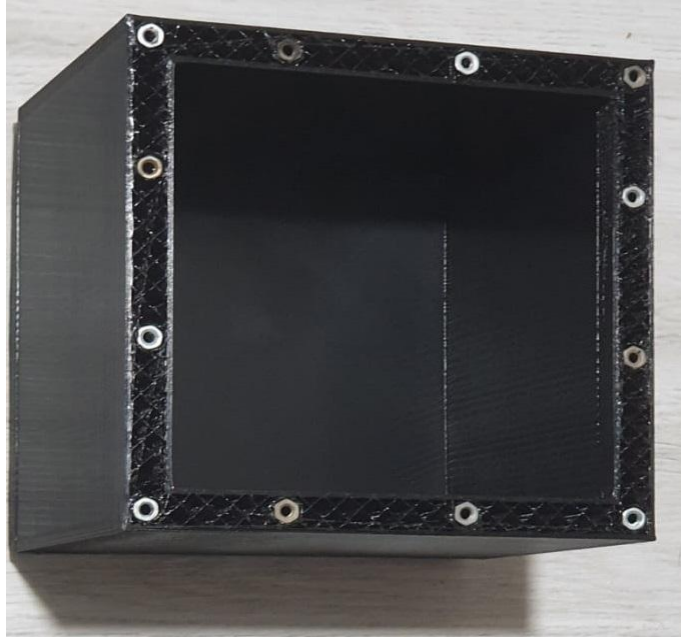
4.1.3 Ortam şartlarının modellenmesi

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 doğruluğu ve kaybın en aza indirilmesi amacıyla ortam ısı da yaklaşık 22 °C olarak ayarlanmıştır.

Modelin test edildiği yalıtım kutusu PLA malzemeden yapılan 120 mm genişliğinde ve uzunluğun, 100 mm genişliğinde yer alan model içinde test yapılmıştır. Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da PLA malzemesinden üretilen kutu ve üretim süreci gösterilmiştir.



Şekil 4.29: Test Modeli Üretim Süreci

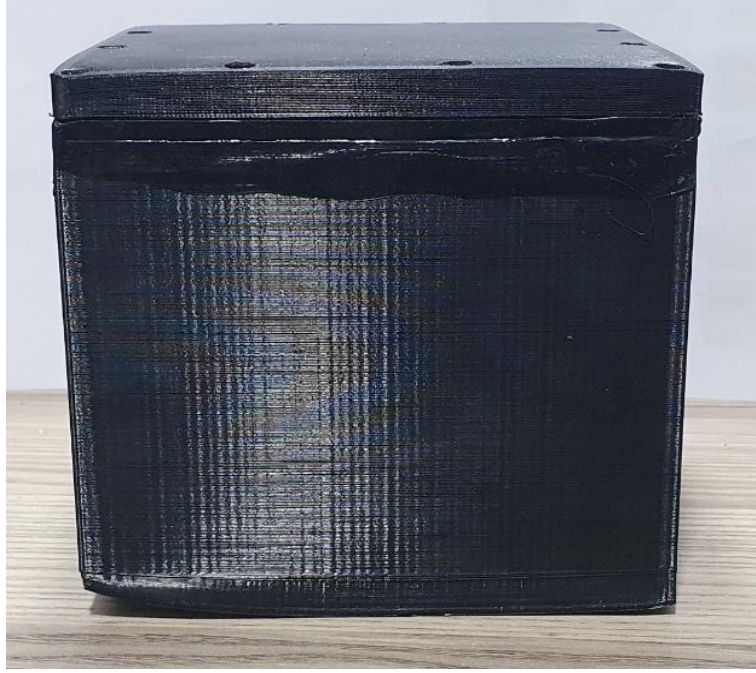


Şekil 4.30: Test Modeli

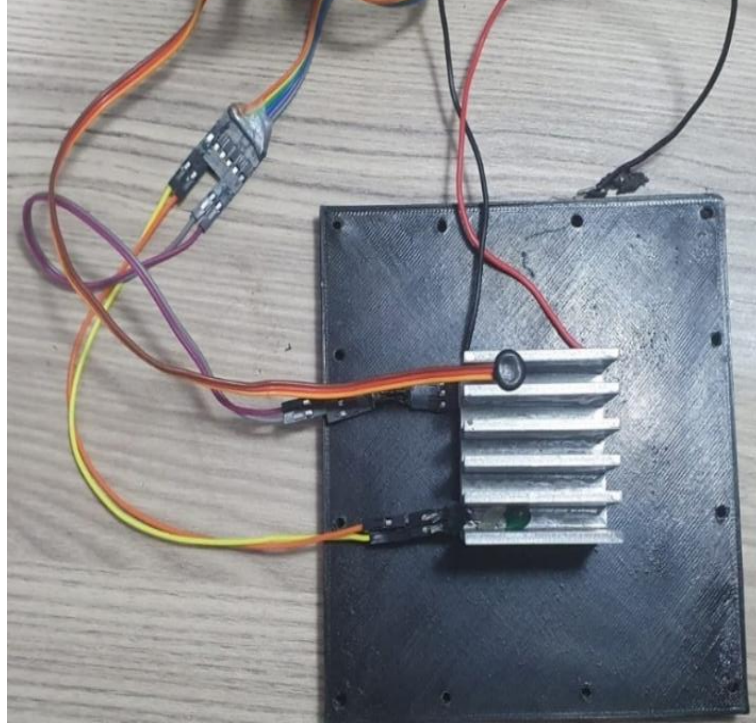
4.1.4 Soğutucuların ısı veri akışı izleme

Alüminyum soğutucuların termoelektrik modül üzerine eklenmesi yapılarak kutu kapağına montajı gerçekleştirilmiştir. Yapılan montaj sonunda termoelektrik modülün yüzeye en yakın olan alüminyum soğutucunun bir kısmı ile termoelektrik modül yüzeyine en uzak olan soğutucu üzerine anlık veri takibi yapabilmek adına ısı

sensörü yerleştirilmiştir. Şekil 4.31’de test edilecek modelin son hali ve Şekil 4.32’de test edilecek soğutucuya yerleştirilen sensör ve kutu yüzey montaj gösterilmiştir.

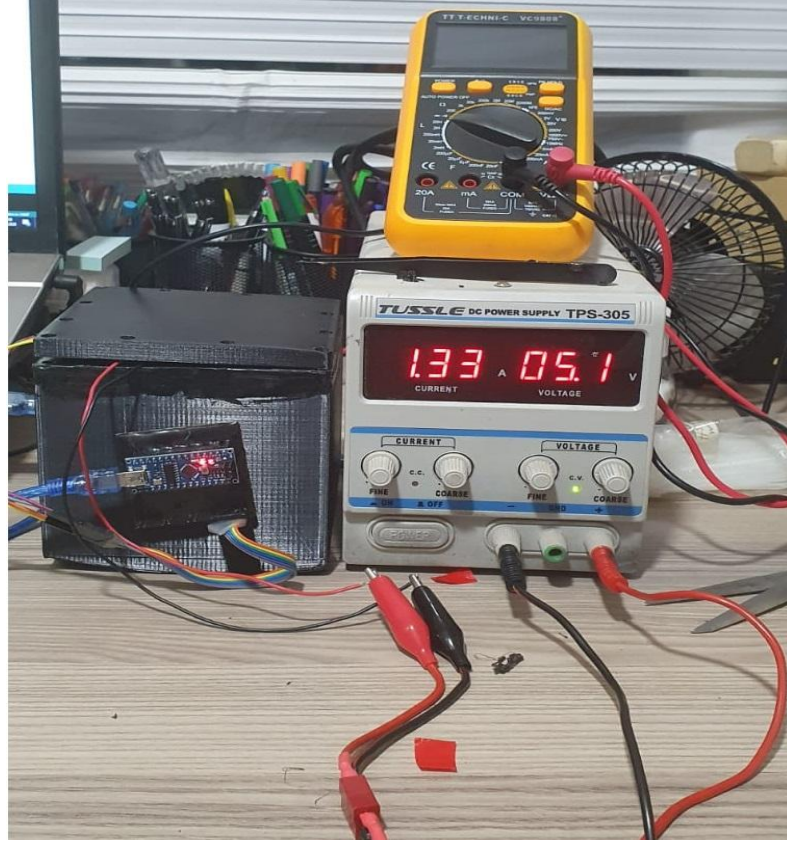


Şekil 4.31: Test Modeli Yüzey Montajı



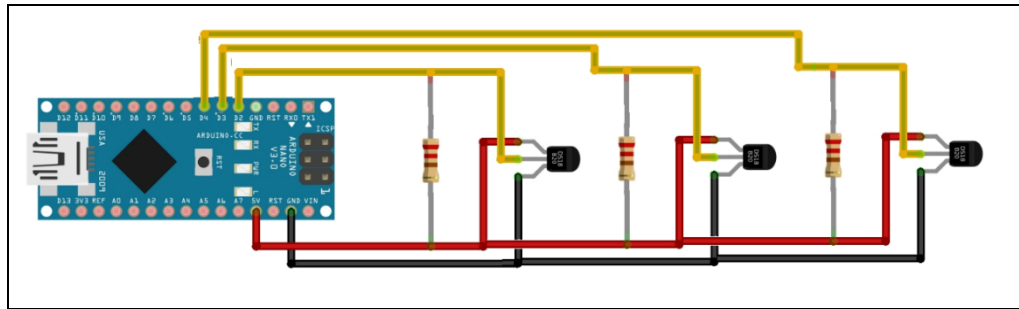
Şekil 4.32: Alüminyum Soğutucu Test Haznesi Montajı

Test düzeneğinin bitmiş hali ve elektronik bağlantıları Şekil 4.33’de gösterilmiştir.



Şekil 4.33: Alüminyum Soğutucu Test Düzenegi

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 4.34'de gösterilmiştir.



Şekil 4.34: 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(DS18B20adres1);
// 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 Deney test düzeneği ölçüm verileri

Yapılan çalışmalarda farklı geometrik şekillere sahip olan soğutucuların ısıl 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. Alüminyum soğutucuların bulunduğu kabın içinde yer alan verilerin dış ortamın sıcaklıklarını tespit etmek için ayrıca infrared lazer termometre kullanılmıştır. Kullanılan termometre ile ilgili görsel Şekil 4.35’de, ölçü aleti ile ilgili teknik parametrelerin yer aldığı bilgiler Çizelge 4.2’de yer almaktadır.



Şekil 4.35: Lazer Termometre

Çizelge 4.2: Alüminyum Soğutucu-1’in ile İlgili Teknik Veriler

| | |
|----------------------------|------------------|
| 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. |

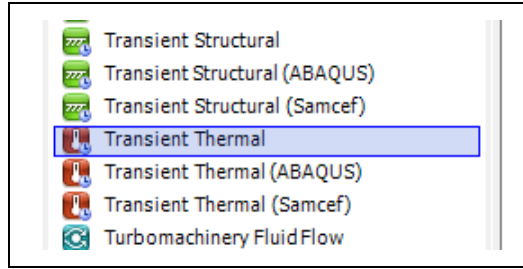
Kaynak: (Url-5)

4.2 Sayısal Analiz

Eklemeli imalat yöntemi ile yapılmış soğutucuların, TE modülünün üzerinde, belirlenmiş üç değişik geometrik şeklin soğutucular, belirlenen geometrik şekil

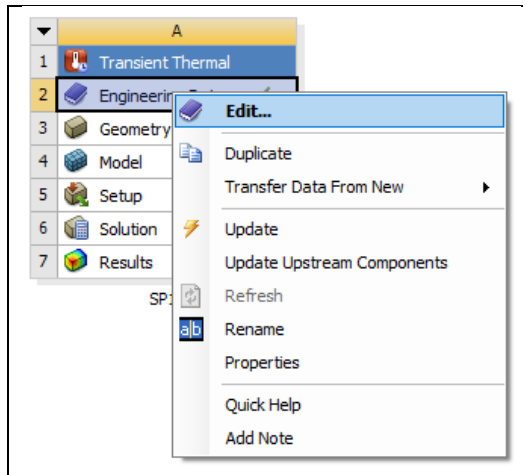
ölçüleri dikkate alınarak Alüminyum soğutucuların ısı dağılımları ANSYS programı kullanılarak ısı dağılım simülasyonu yapılmıştır. Yapılan simülasyon modelinde termoelektrik modül ısı yüzeyi 100 °C olarak belirlendi. Soğutma mekanizmasının en üst yüzeyi ise 25 °C olacak şekilde sınır değerleri verilmiştir. Ortam ısı referans değeri 22 °C olarak belirlenmiştir. Girilen değerler dikkate alarak her bir alüminyum soğutucunun ısı modeli ve ısı dağılım analizi hazırlanmıştır. Alüminyum soğutucular için hazırlanan analiz modelleri ilgili süreç adım adım belirtilmiştir. Buna göre,

- 1. Adım:** Alüminyum soğutucular 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 4.36’de gösterilmiştir.



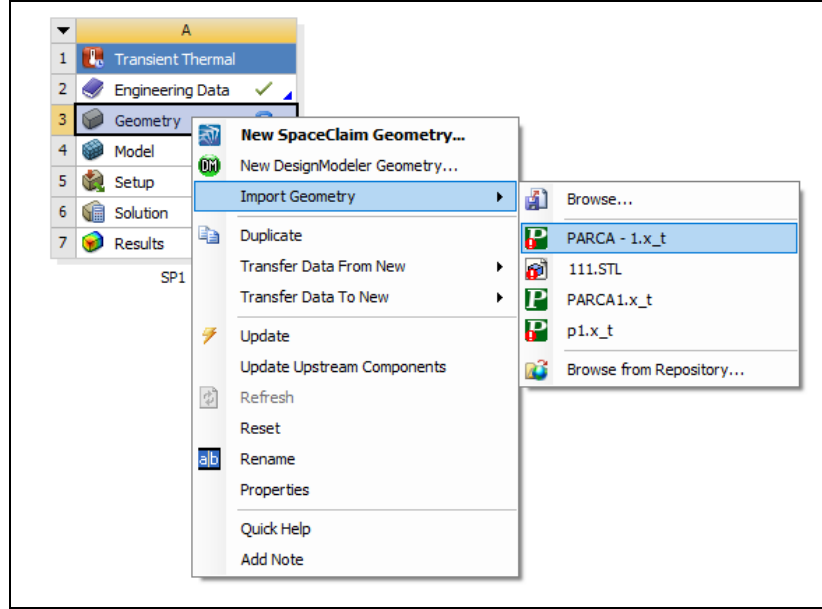
Şekil 4.36: Transient Thermal Seçimi

- 2. Adım:** Analiz programında, alüminyum soğutucuların malzeme bilgisi, edit menüsünden Alüminyum Alaşım (Aluminum Alloy) olarak tanımlanmıştır. Seçim ile ilgili görsel şekil 4.37’de gösterilmiştir.



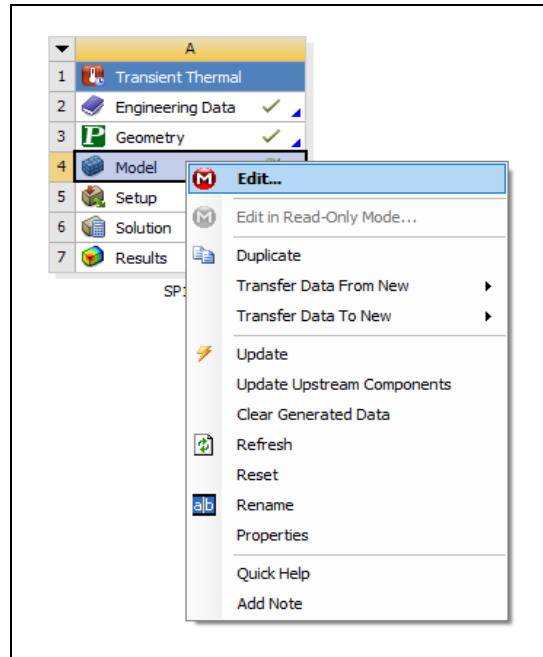
Şekil 4.37: Malzeme Data Bilgisi Seçimi

3. Adım: Analiz yapılacak alüminyum soğutular ile ilgili belirlenen geometrik modeller parasolid olarak kaydedilmiştir. Kaydedilen model daha sonra analiz programında model kısmına tanımlanmıştır. Seçim ile ilgili görsel Şekil 4.38’de gösterilmiştir.



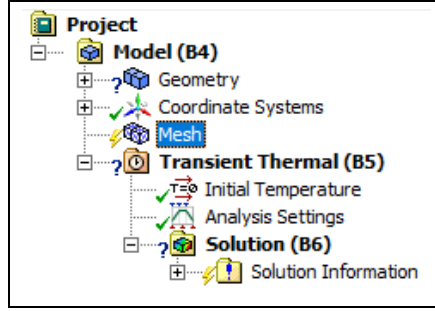
Şekil 4.38: Alüminyum Soğutuların Tanımlanması

4. Adım; Analiz programında tanımlanan geometrik soğutuların model kısmında edit kısmı seçilerek, soğutucu modelinin program içinde açılması sağlanır. Seçim ile ilgili görsel Şekil 4.39’de gösterilmiştir.



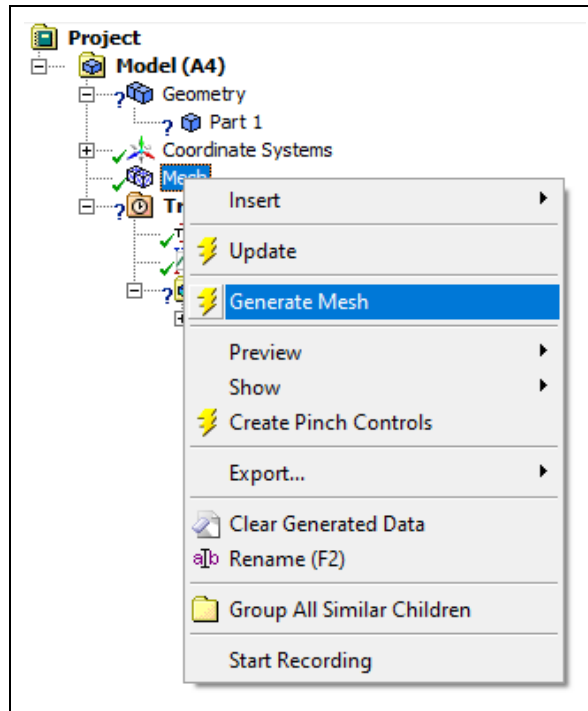
Şekil 4.39: Soğutucunun Tanımlanması

5. **Adım:** Tanımlanan geometrik soğutucular, bir bütün olarak aktarılır. Termal analiz için doğru yapılabilmesi için her bir geometrik modelin ağ yapısı olarak programa tanıtılması gerekmektedir. Her bir geometrik alüminyum soğutucu (AS) için ayrı ayrı ağ yapmak gereklidir. Soğutucu modeli ilk açıldığında ağ (mesh) yanında sarı renkte simge olacaktır. Bununla ilgili görsel Şekil 4,41’de gösterilmiştir.

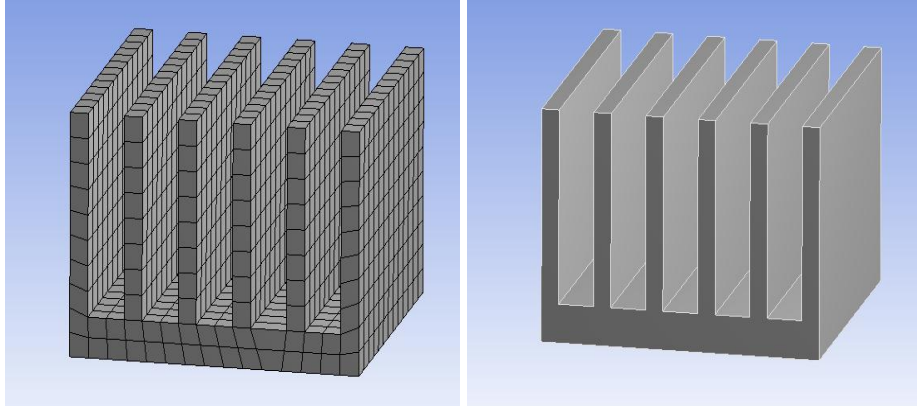


Şekil 4.40: Soğutucular İçin Ağ Yapısı Yapma

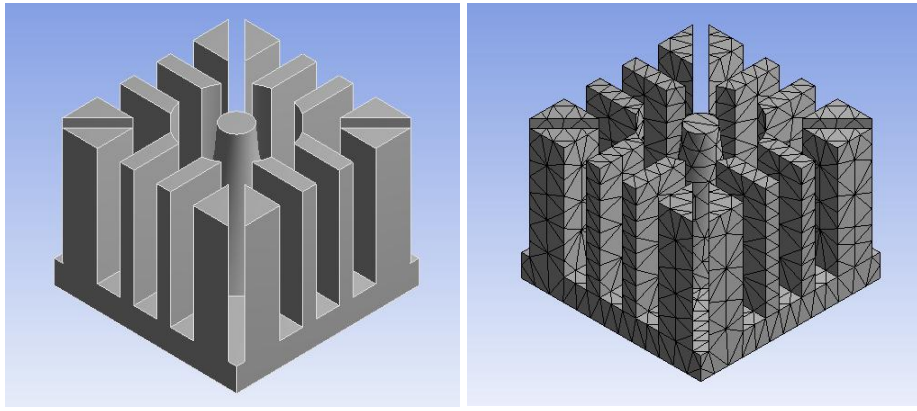
Alüminyum Soğutucunun ağ yapabilmek için ağ (mesh) kısmına bilgisayar (Mouse) faresi ile sağ seçim yapılarak ağ oluşturma, “Generate Mesh” yapılmıştır. Ağ yapısı oluşturulduktan sonra sarı renkte olan simge yeşile dönüşecektir. Programda her bir geometrik soğutucu model aktarıldıktan sonraki görüntüsü ve ağ (mesh) yapıldıktan sonraki ilgili görsel Şekil 4.41, Şekil 4.42, ve Şekil 4.43,’de gösterilmiştir.



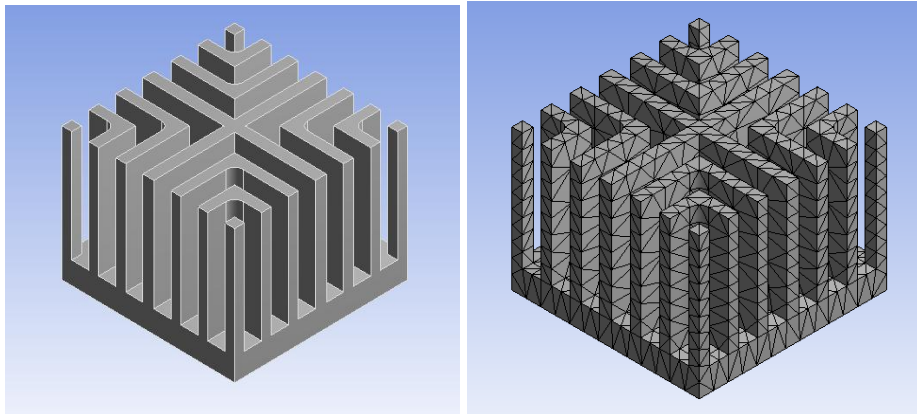
Şekil 4.41: Alüminyum Soğutucular İçin Ağ Yapısı Geliştirme



Şekil 4.42: Alüminyum Soğutucu-1'in Analiz Programındaki Görünümü ve Ağ Yapısı



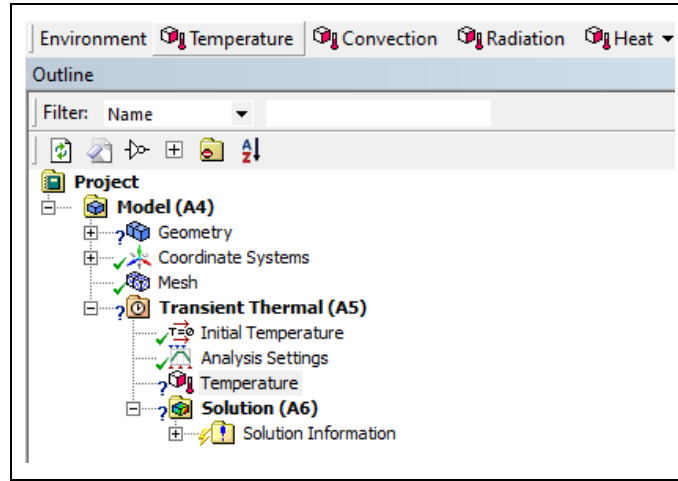
Şekil 4.43: Alüminyum Soğutucu-2'in Analiz Programındaki Görünümü ve Ağ Yapısı



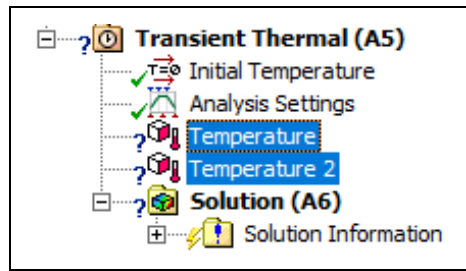
Şekil 4.44: Alüminyum Soğutucu-3'ün Analiz Programındaki Görünümü ve Ağ Yapısı

Alüminyum soğutucular için belirlenen üç farklı geometrik şekil, analiz programında, teknik parametreler dikkate alınarak oluşturulmuştur. Oluşturulma esnasında analiz programında modellenecek alüminyum soğutucular 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 alüminyum soğutucu modelinde belirtilen periyotlarda verilmiştir. Soğutucular 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 modeli 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 kısmında iki defa görünecek şekilde tanımlama yapılmıştır. Seçilen kısımdan eklenen Yapılan tanımlama ile ilgili görsel Şekil 4.45 ve Şekil 4.46'da verilmiştir.



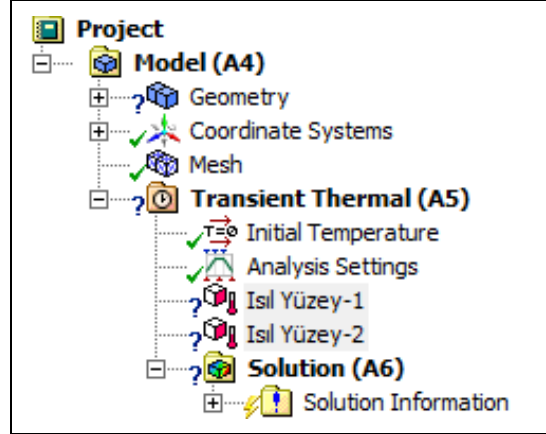
Şekil 4.45: Soğutucular İçin (Environment) Kısmından Temperature Atama



Şekil 4.46: Soğutucular İçin İki Farklı Sıcaklık (Temperature) Eklenmesi

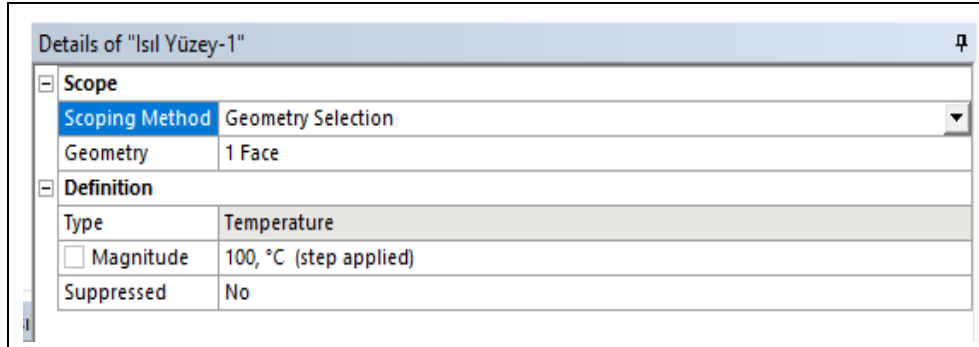
Analiz yapılacak her bir soğutucuya atanan temperature kısmı, maksimum ve minimum ısıl değerlerinin yer alacağı yüzeyler belirlenmiştir. Geometrik yüzeyler programda yapılacak çizimi ile ilgili yapılan tanımlamalar, her bir soğutucu modeli için ayrı ayrı belirlenmiştir. Temperature ve temperature2 isimleri için F2 tuşunu kullanarak ya da sağ seçim seçeneği kullanarak Rename kısmı seçiler yapılmıştır. Programda ısıl yüzey-1 ve ısıl yüzey-2 şeklinde isimlendirilmiştir. İsimlendirme ile

ilgili ve girilen ısı parametreleriyle ilgili bilgi girişinin yer aldığı program menüsü Şekil 4.47’de gösterilmiştir.

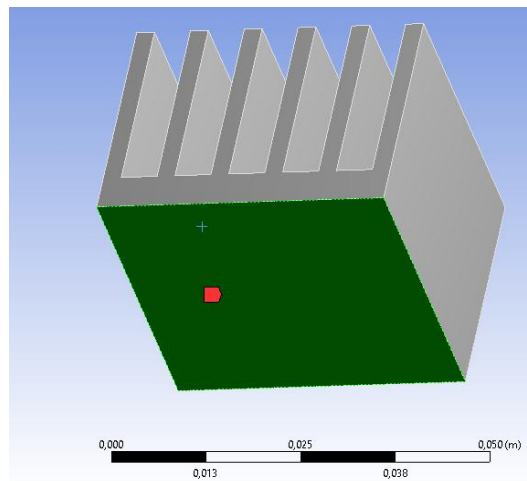


Şekil 4.47: Soğutucular İçin Temperature Kısımların İsimlendirilmesi

Alüminyum Soğutucu-1’in için Isıl yüzey-1’e bir yüz (face) seçilmiştir. Girilen sıcaklık değeri 100 °C ’dir. Isıl yüzey-1 için belirlenen parametrelerle ilgili bilgi girişlerinin yer aldığı program menüsü Şekil 4.48 ’de, seçilen yüzde, Şekil 4.49’da gösterilmiştir.

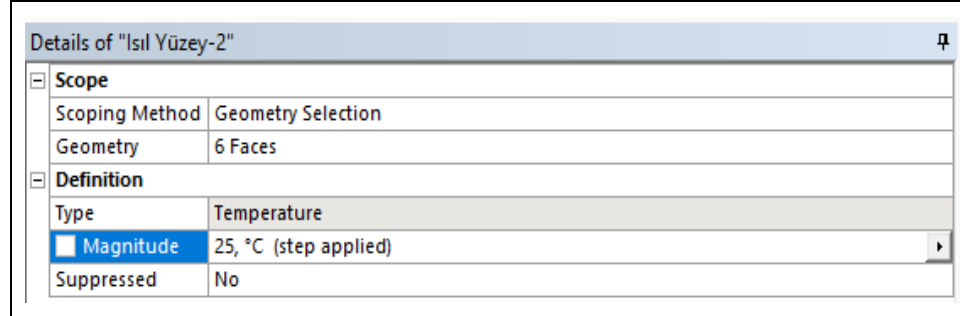


Şekil 4.48: AS1’in İçin Isıl yüzey-1’in Isıl Parametrelerin Belirlenmesi

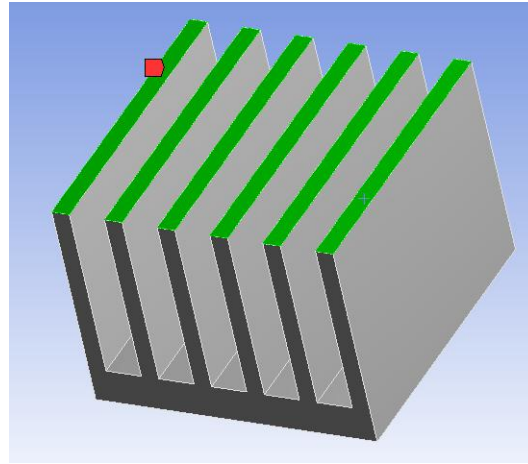


Şekil 4.49: AS1’in İçin Isıl Yüzey-1 Alt Yüzey Geometrik Tanımlanması

Isıl Yüzey-2 ise Alüminyum soğutucuların 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 4.50, seçilen yüzle ilgili görsel Şekil 4.51'de gösterilmiştir.

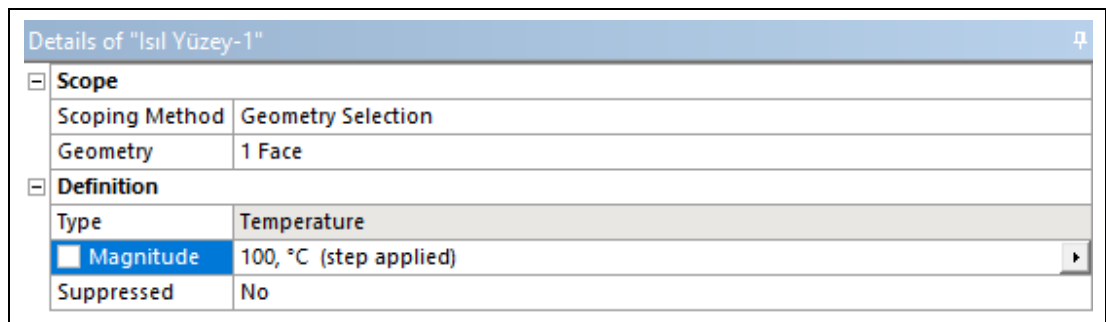


Şekil 4.50: AS1 İçin Isıl Yüzey-2'in Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi

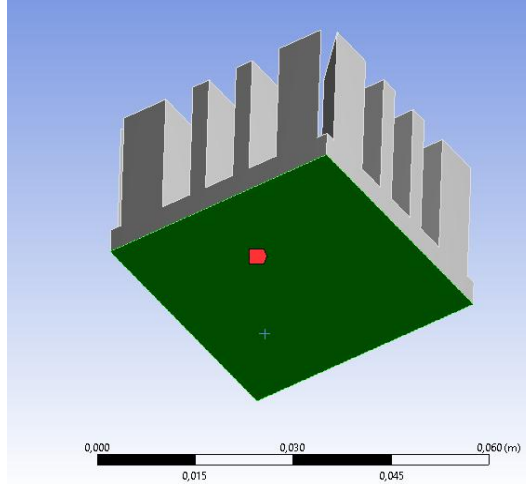


Şekil 4.51: AS1 İçin Isıl Yüzey-2'nin Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması

Alüminyum Soğutucu-2'in 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 4.52 'de, seçilen yüzde, Şekil 4.53'de gösterilmiştir.



Şekil 4.52: AS2 için Isıl Yüzey-1'in Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi

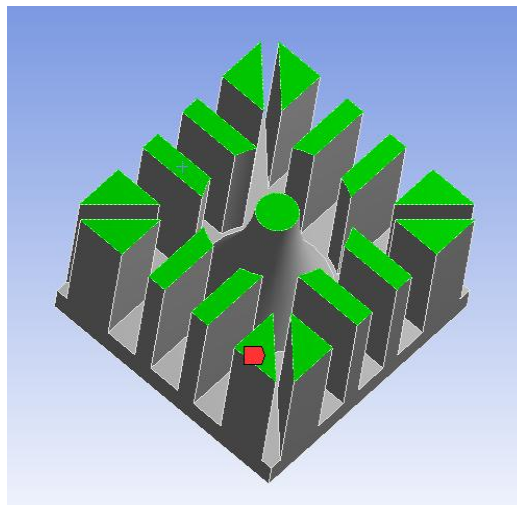


Şekil 4.53: AS2 İçin Isıl Yüzey-1'in Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması

Isıl Yüzey-2 ise Alüminyum soğutucunun 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 4.54, seçilen yüzle ilgili görsel Şekil 4.55'de gösterilmiştir.

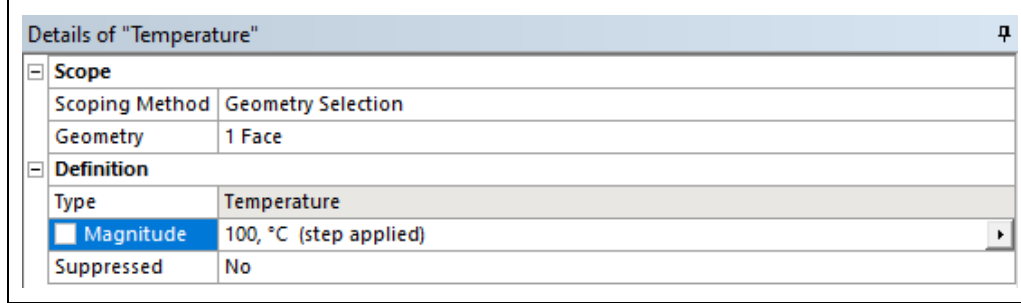
| Details of "Isıl Yüzey-2" | |
|---|-----------------------|
| Scope | |
| Scoping Method | Geometry Selection |
| Geometry | 17 Faces |
| Definition | |
| Type | Temperature |
| <input checked="" type="checkbox"/> Magnitude | 25, °C (step applied) |
| Suppressed | No |

Şekil 4.54: AS2 İçin Isıl Yüzey-2'nin Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi

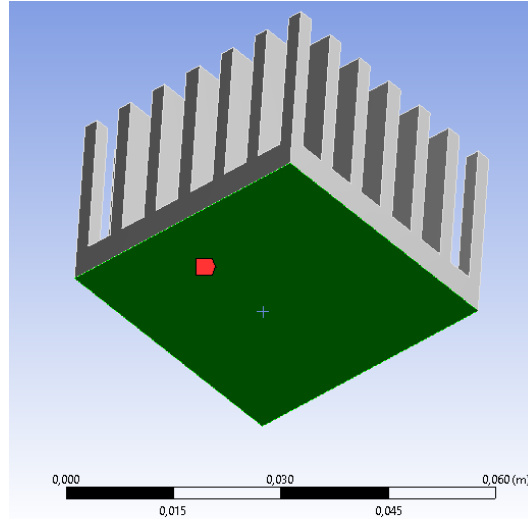


Şekil 4.55: AS2 İçin Isıl Yüzey-2'nin Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması

Alüminyum Soğutucu – 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 4.56 'de, seçilen yüzde, Şekil 4.57'de gösterilmiştir.

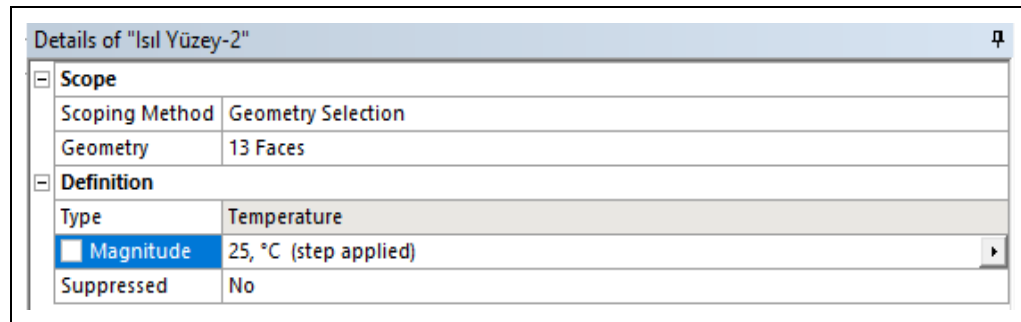


Şekil 4.56: AS3 İçin Isıl Yüzey-1'in Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi

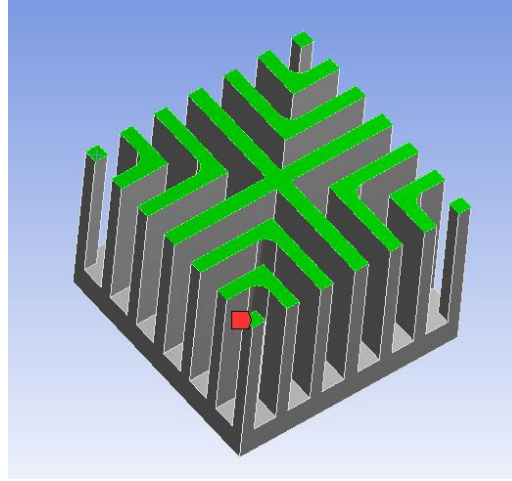


Şekil 4.57: AS3 İçin Isıl Yüzey-1'in Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması

Isıl Yüzey-2 ise Alüminyum soğutucuların 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 4.58, seçilen yüzle ilgili görsel Şekil 4.59'da gösterilmiştir.

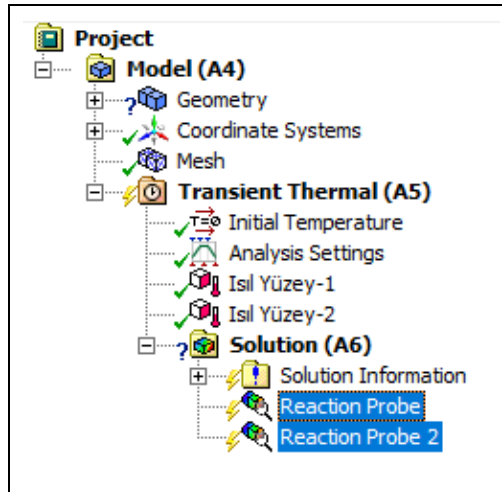


Şekil 4.58: AS3 İçin Isıl Yüzey-2'nin Üst Kısım Isıl Parametrelerin Belirlenmesi



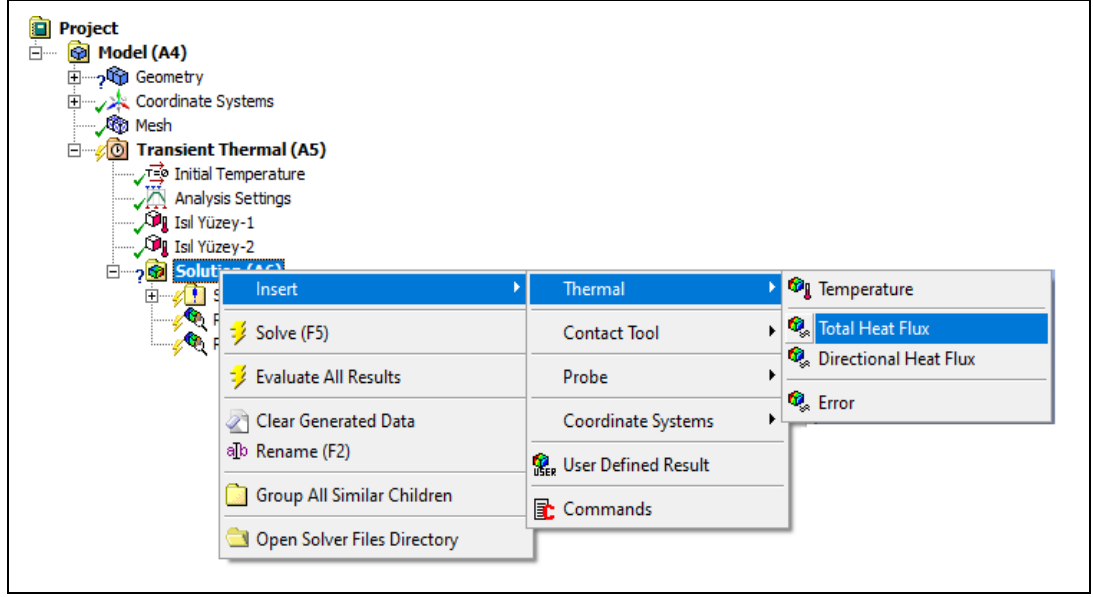
Şekil 4.59: AS3 İçin Isıl yüzey-2'nin Üst Yüzey Geometrik Tanımlanması

Parametrelerin belirlenmesi ile birlikte her bir farklı geometri içeren soğutucu modelleri için ayrı ayrı analiz programı içerisinde çözümlenmesi yapılmıştır. Çözümleme (solution) yapılmadan önce alüminyum soğutucuların 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 4.60'da gösterilmiştir.



Şekil 4.60: Isıl Yüzey-1 ve Isıl Yüzey-2'nin Çözümleme Tanımı

Alüminyum soğutucular için kesitlerde yapılan ısı taşınım miktarını görebilmek için çözümleme (solution) kısmında Total Heat Flux kısmı seçilerek gösterilmiştir. Bununla ilgili görsel Şekil 4.61'de gösterilmiştir.



Şekil 4.61: Isıl Taşınım hesaplanması İçin Total Heat Flux Tanımı

Alüminyum soğutucular için yapılan tüm bu düzenlemeler ile programda yapılan çözümler sonrasında her bir Alüminyum soğutucu üzerindeki ısı dağılımları, ısı iletimi gücü ve modül yüzeylerindeki sıcaklık dağılımlarını içeren veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler her bir model için ayrı ayrı incelenmiştir.

5. SAYISAL ANALİZ SONUÇLARI

5.1 Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) Analiz Sonuçları

Soğutucu malzemenin yapısal özelliği analiz programında Alüminyum alaşım olarak tanımlanmıştır. Tanımlama ile ilgili veriler alüminyum soğutucuların analiz sonuçları ve yapısal özellikleri ilgili veriler Çizelge 5.1’de alüminyum soğutucularla ilgili teknik ölçülerin yer aldığı veriler Çizelge 5.2’de belirtilmiştir.

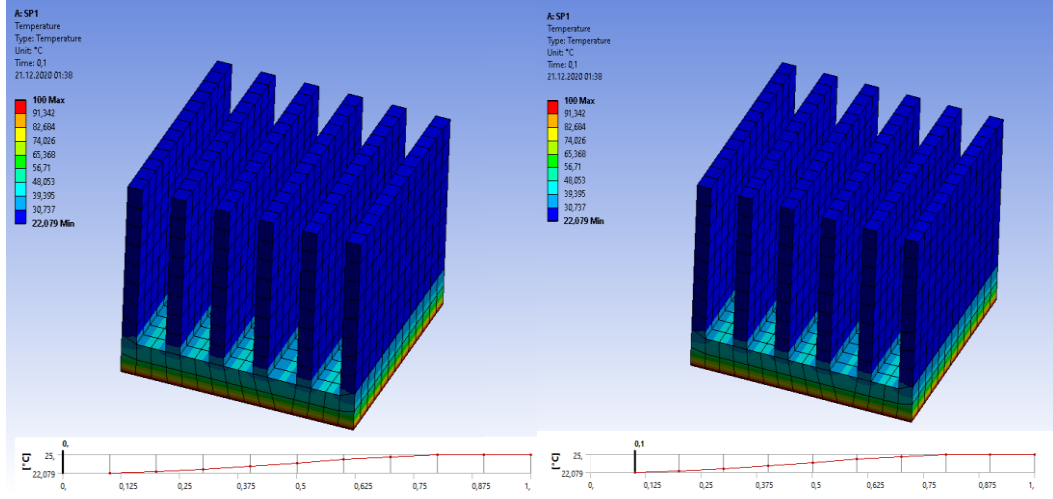
Çizelge 5.1: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) ile İlgili Teknik Veriler

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

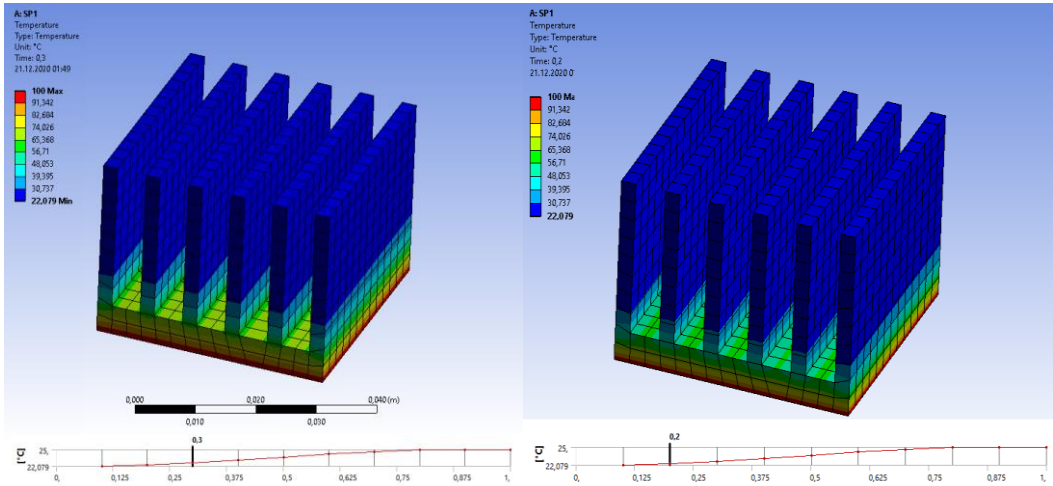
Çizelge 5.2: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) Şekil Özellikleri Verisi

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

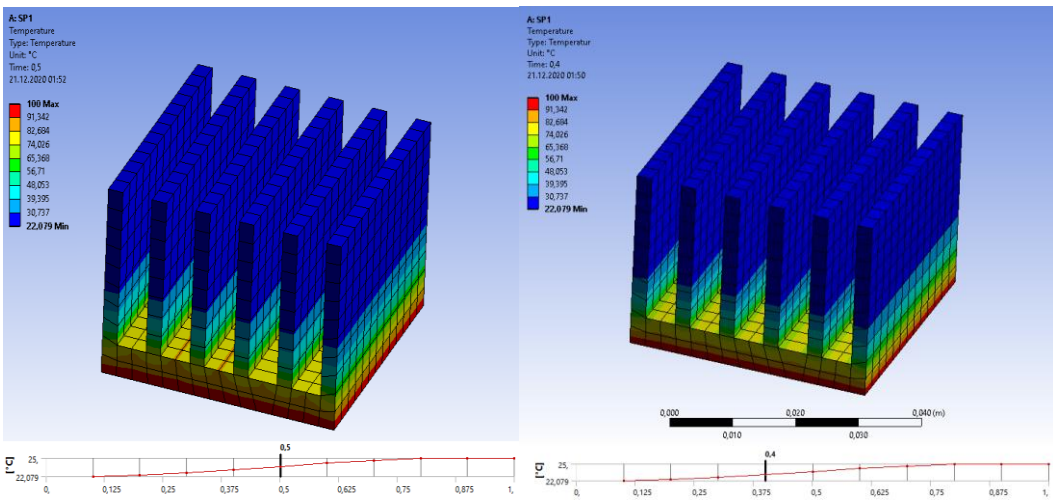
Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) için ısı dağılımının zaman periyodu sıfır ile bir saniye zaman aralığında belirtilmiştir. Bu süre aralığında geçen ısı iletim zaman dilimi 0,1 sn aralıklarla değerlendirilen sıcaklık değişimleri ve değişimleri gösteren zaman periyotları Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, ve Şekil 5.5’de gösterilmiştir.



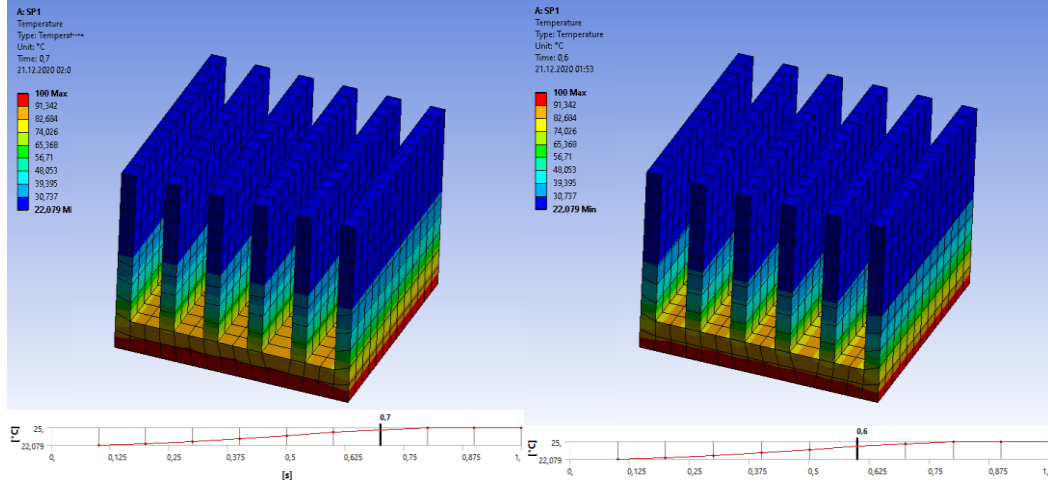
Şekil 5.1: AS1'in 0 Saniye ve 0.1 Saniyedeki Isıl Dağılımı



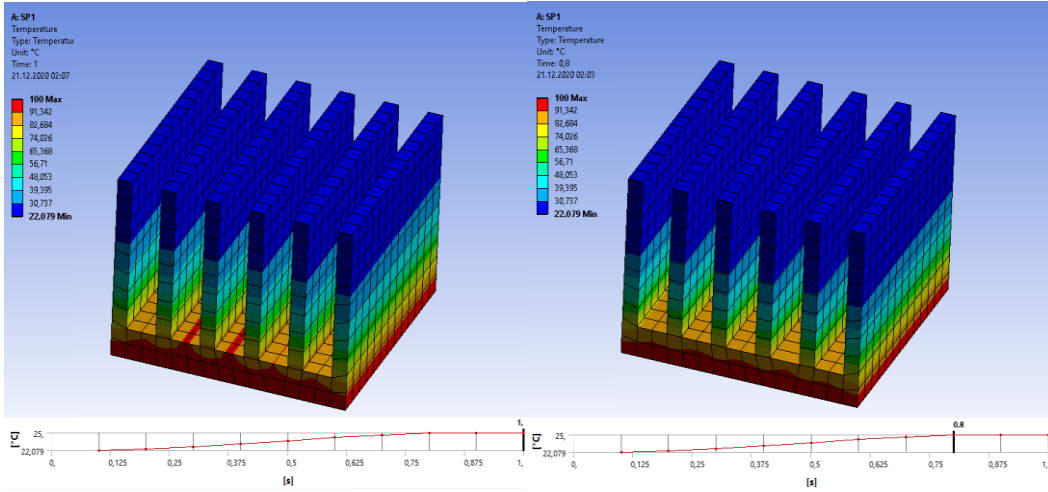
Şekil 5.2: AS1'in 0.2 ve 0.3 Saniyedeki Isıl Dağılımı



Şekil 5.3: AS1'in 0.4 ve 0.5 Saniyedeki Isıl Dağılımı



Şekil 5.4: AS1'in 0.6 ve 0.7 Saniyedeki Isıl Dağılımı



Şekil 5.5: AS1'in 0.8 ve 1 Saniyedeki Isıl Dağılımı

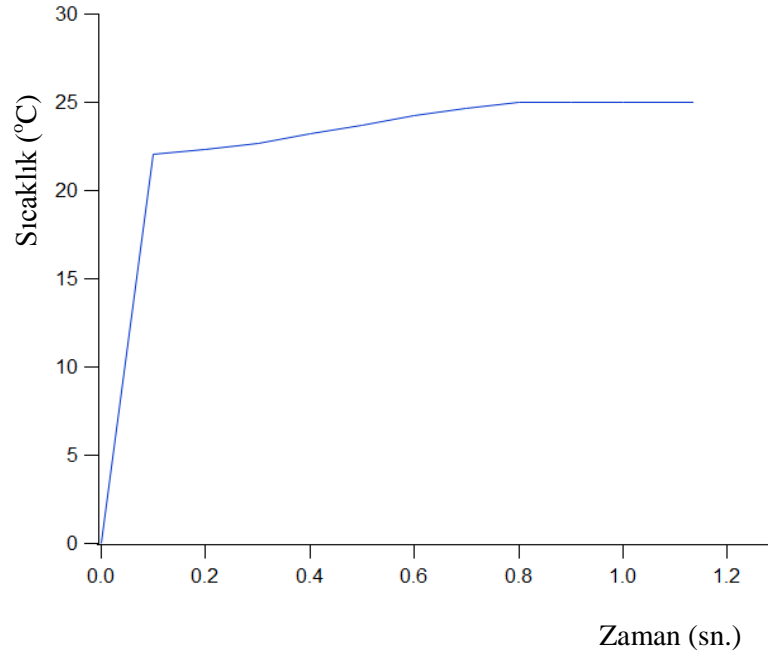
Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) ile ilgili Katı Hal Termal verilerinin yer aldığı ısıl iletim gücü Çizelge 5.3'de, zamana göre sıcaklık değişimlerinin yer aldığı veriler Çizelge 5.4'de ve bu verilerle ilgili soğurma grafik eğrisi Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.3: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) Isıl İletim Tablosu

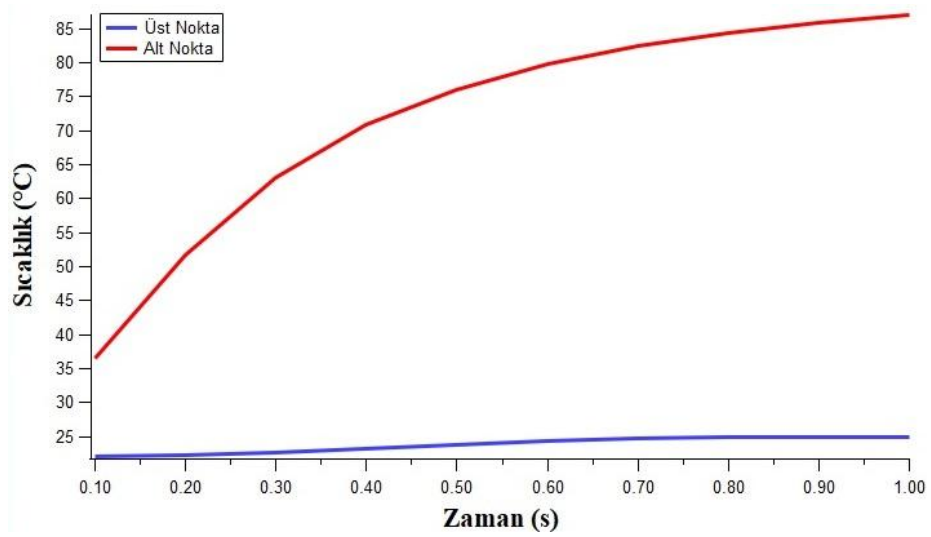
| Ayarlar | | |
|---------------------------------------|----------|-----------|
| Display Time | End Time | |
| Sonuçlar | | |
| Sıcaklık | 257,57 W | -257,57 W |
| Maksimum Değer Zamandaki Sonuç | | |
| Sıcaklık | 257,57 W | -257,57 W |
| Minimum Değer Zamandaki Sonuç | | |
| Sıcaklık | 257,57 W | -257,57 W |
| Bilgi | | |
| Zaman Ölçütü | 1, s | |
| Referans Değer | 22 °C | |

Çizelge 5.4: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1)' in Zamana Göre Isı 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 5.6: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) Isı Grafiği



Şekil 5.7: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) Kararlı Isıl Dengeye Erişim Grafiği

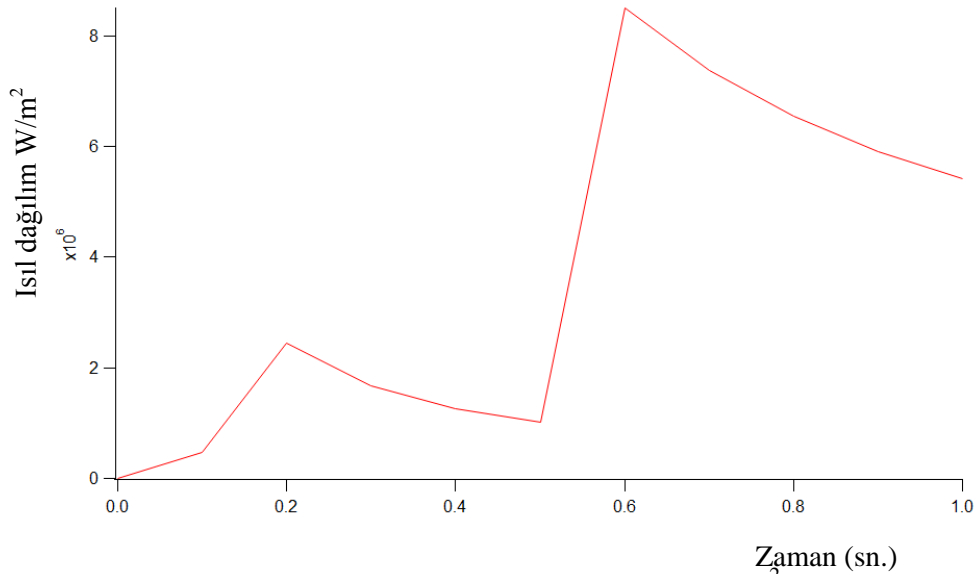
AS1 ısı grafiğinde 0 ile 0,1 saniyeden sonraki ısı iletimi hızlı artmıştır. AS1 soğutucu için 0,1sn den sonra ısı artışı ilk anda hızla devam etmiş olsa bile zaman periyotlarında artış hızı azalarak devam etmiştir. Aynı oranda artış hızı üst nokta için 0,3 sn.' ye kadar çok yavaş seyretmekle birlikte 0,3sn. ile 0,6 sn. arasında ısınma hızı artmış olup, bu süreden sonra artış hızı çok yavaş seyretmektedir.

Alüminyum soğutucu – 1 (AS1)'in yapılan analizinde her bir kesit ölçüsünde yapılan ısı iletim zamana bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. ısı iletim zamana bağlı

olarak verileri Çizelge 5.5’de, bu verilere ait olan grafik de Şekil 5.8’de gösterilmiştir.

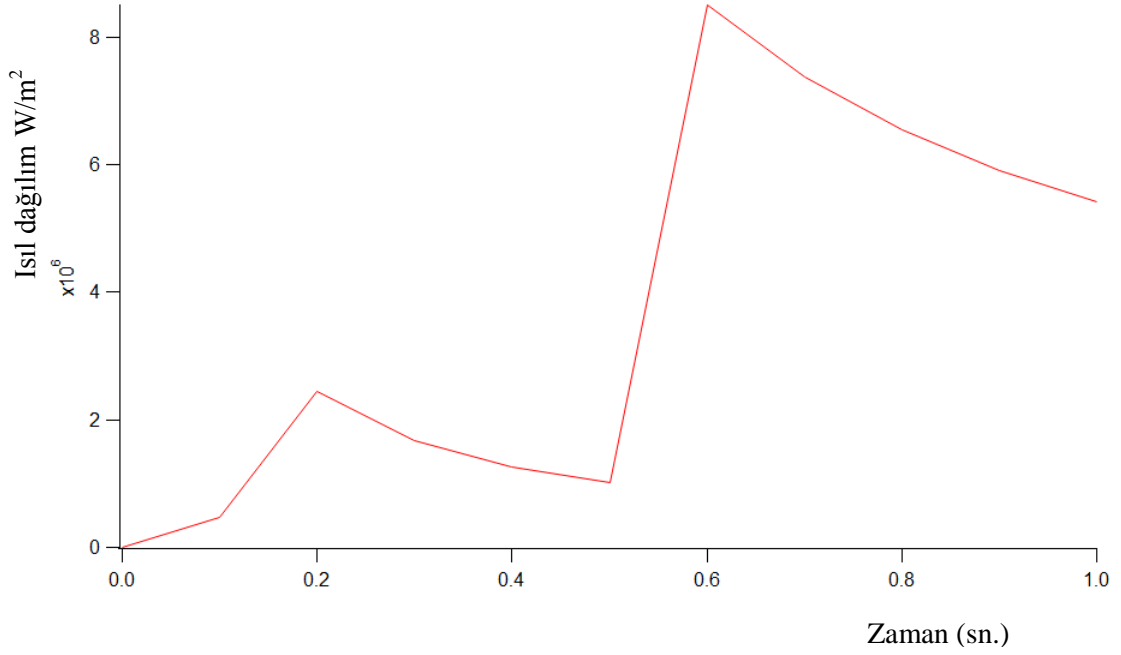
Çizelge 5.5: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1)’in Zamana Göre Isı İletim Tablosu

| 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 |

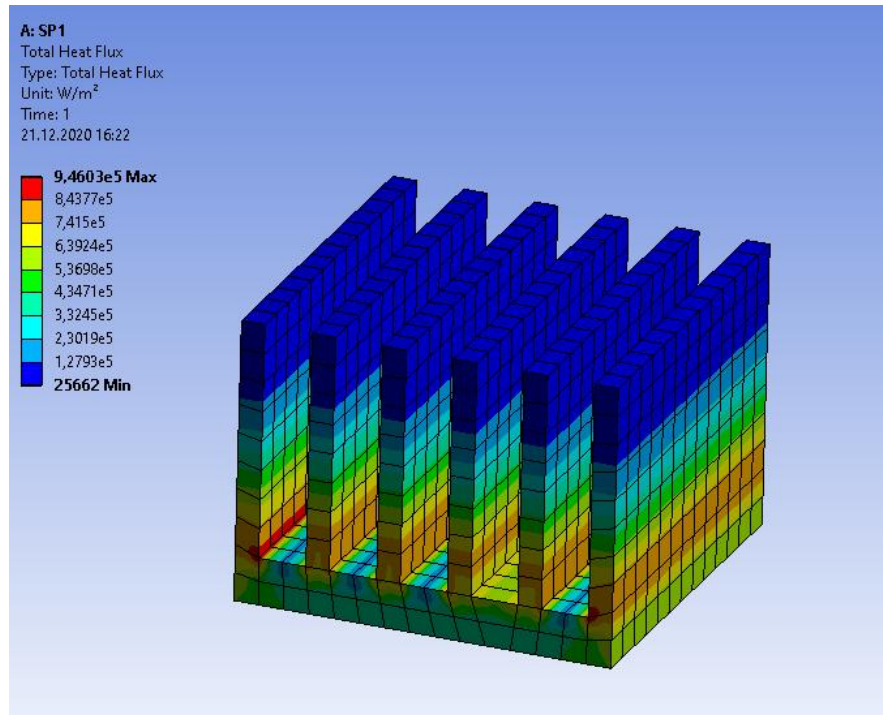


Şekil 5.8: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) maksimum W/m² ısıl dağılım analizi

Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) ile ilgili ısıl iletim grafiği Şekil 5.9, ısıl dağılımı ile ilgili analiz Şekil 5.10 'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) minimum W/m² ısı dağılım analizi



Şekil 5.10: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1)'nin Isıl İletimi

5.2 Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Analiz Verileri

Soğutucu malzemenin yapısal özelliği analiz programında Alüminyum alaşım olarak tanımlanmıştır. Tanımlama ile ilgili veriler Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) analiz sonuçları ve yapısal özellikleri ilgili veriler Çizelge 5.6'da Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) ile ilgili teknik ölçülerin yer aldığı veriler Çizelge 5.7'de belirtilmiştir.

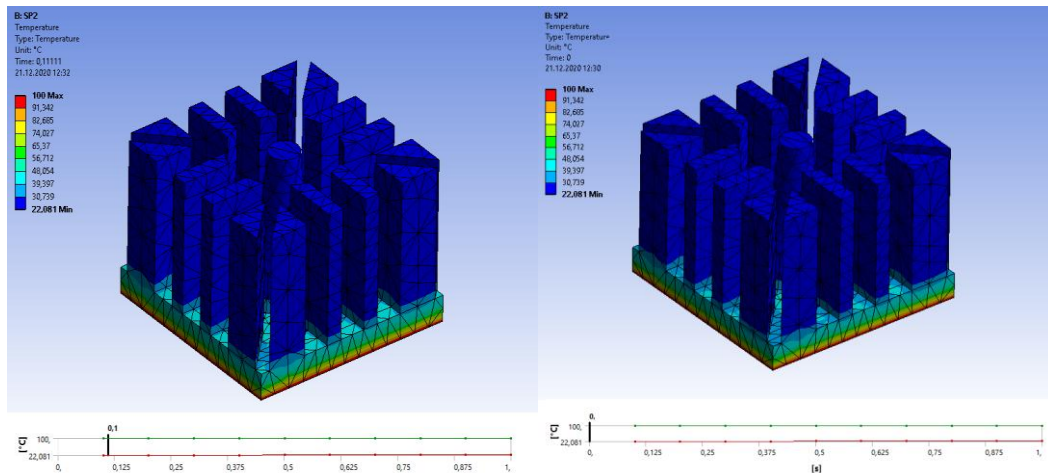
Çizelge 5.6: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) ile İlgili Teknik Veriler

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

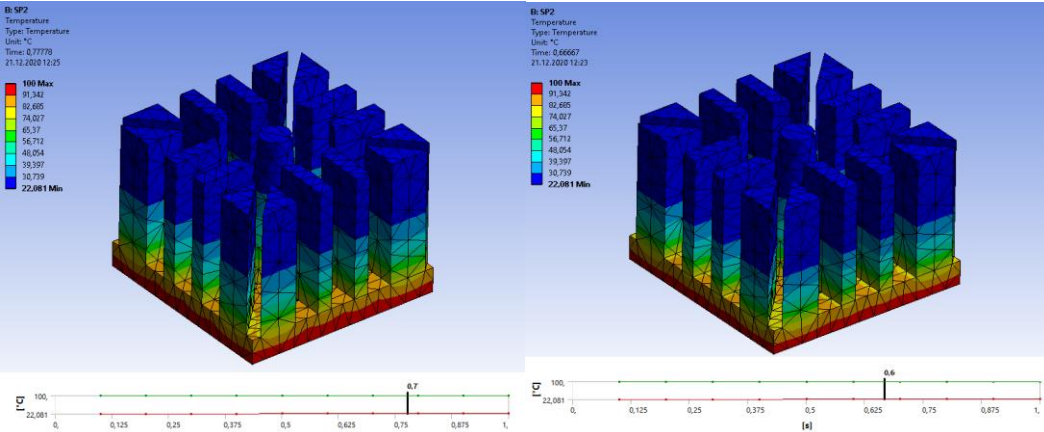
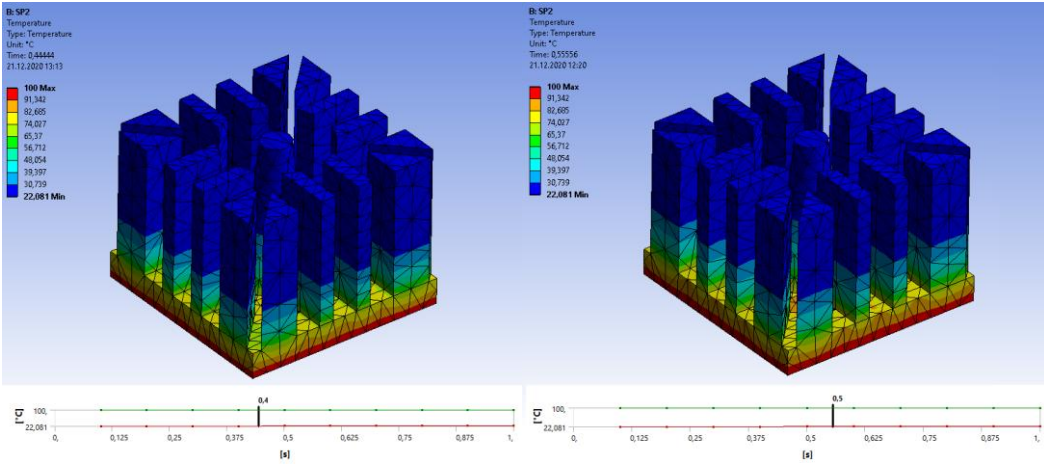
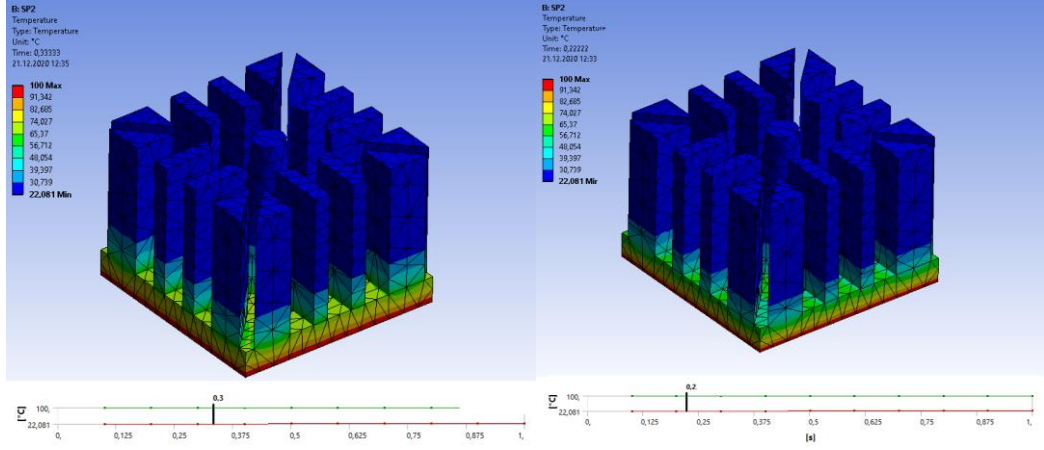
Çizelge 5.7: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2)'nin (SP2) Şekil Özellikleri Verisi

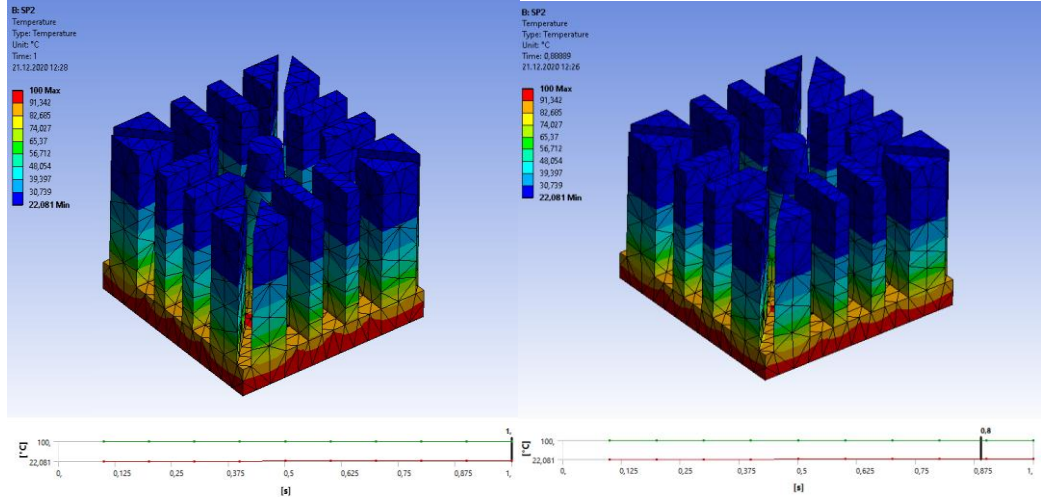
| | |
|-----------------|------------|
| Düğümler | 7977 |
| Elementler | 3744 |
| Kitle Metrik | Kapalı |
| Part Tolerance: | 0,00000001 |

Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) 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 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14, ve Şekil 5.15’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11: AS2'in 0 ve 0.1 Saniyedeki Isıl Dağılımı





Şekil 5.15: AS2'in 0.8 ve 1 Saniyedeki Isıl Dağılımı

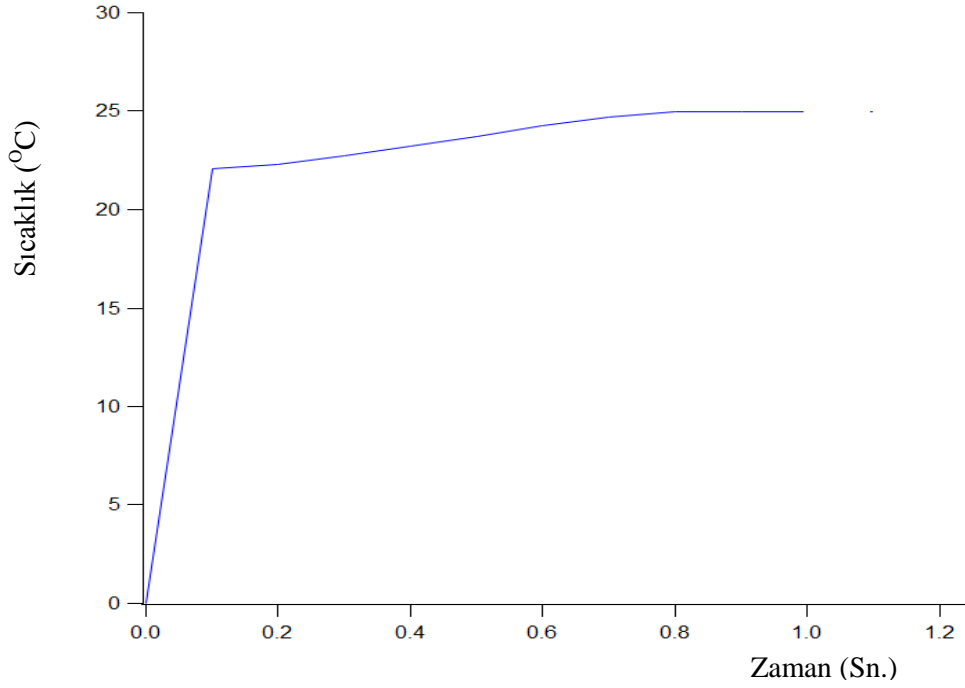
Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) ile ilgili Katı Hal Termal verilerinin yer aldığı ısı iletim gücü Çizelge 5.8'de, zamana göre sıcaklık değişimlerinin yer aldığı veriler Çizelge 5.9'de ve bu verilerle ilgili soğurma grafik eğrisi Şekil 5.16'da gösterilmiştir. AS2 Soğutucu modelle ilgili ısı artış grafiği eğrisi Şekil 5.17'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Haznesi Özellikleri

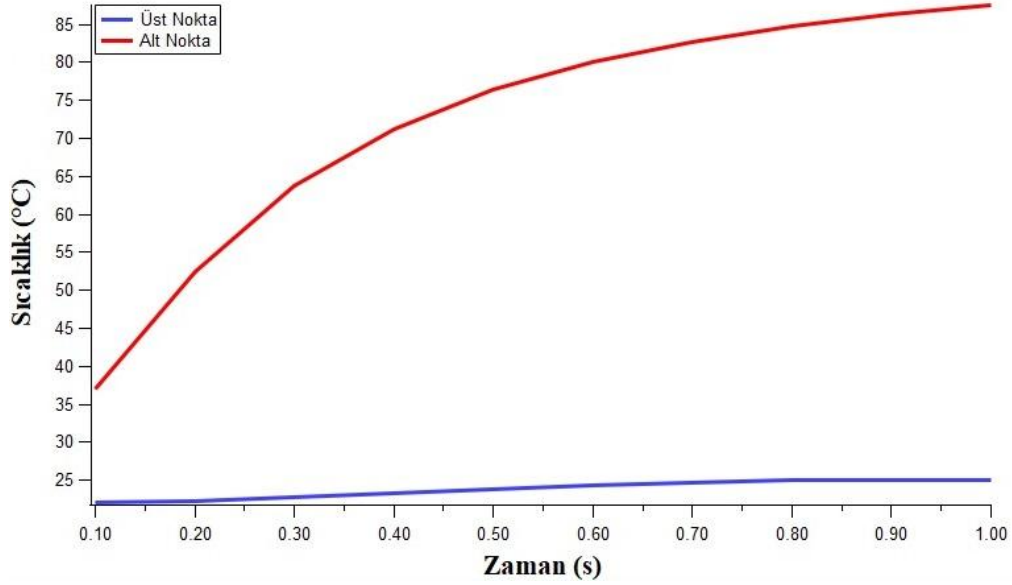
| Ayarlar | | |
|---|-----------|-----------|
| Display Time | End Time | |
| | Sonuçlar | |
| Sıcaklık | -99,846 W | -99,846 W |
| Maksimum Değerdeki Zamandaki Sonuç | | |
| Sıcaklık | -99,846 W | -99,846 W |
| Minimum Değerdeki Zamandaki Sonuç | | |
| Sıcaklık | 99,846 W | -99,846 W |
| Bilgi | | |
| Zaman Ölçütü | 1 sn | |
| Referans değer | 22 °C | |

Çizelge 5.9: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Zamana Göre Isı 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 5.16: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2)'nin Isıl Grafiği



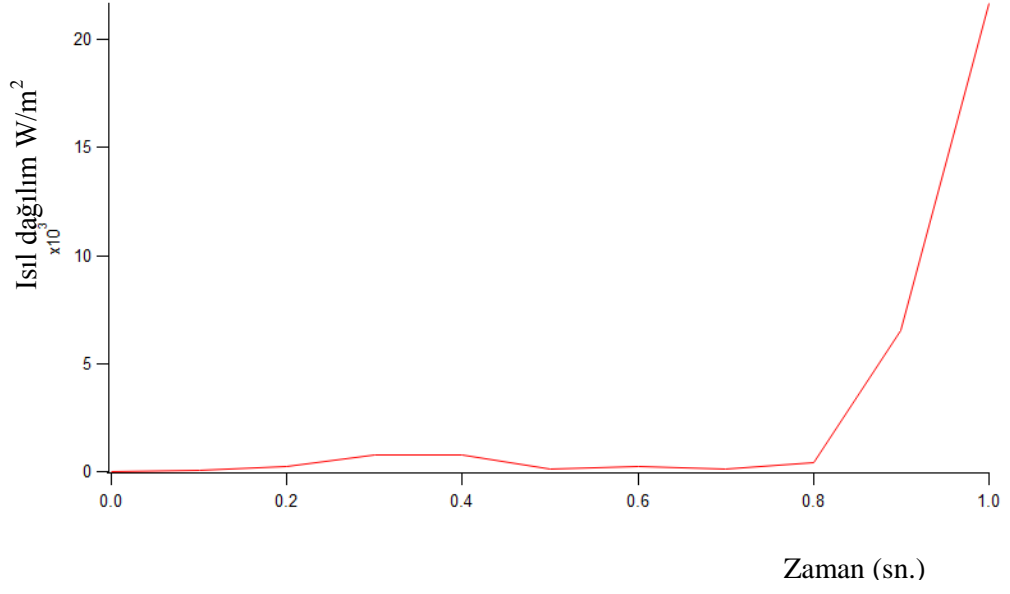
Şekil 5.17: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Kararlı Isıl Dengeye Erişim Grafiği

AS2 ısı grafiğinde 0 ile 0,1 saniyeden sonraki ısı iletimi hızlı artmıştır. AS2 soğutucu için 0,1sn den sonra ısı artışı ilk anda hızla devam etmiş olsa bile zaman periyotlarında artış hızı azalarak devam etmiştir. Aynı oranda artış hızı üst nokta için 0,3 sn.' ye kadar çok yavaş seyretmekle birlikte 0,3sn. ile 0,6 sn. arasında ısınma hızı artmış olup, bu süreden sonra artış hızı çok yavaş seyretmektedir.

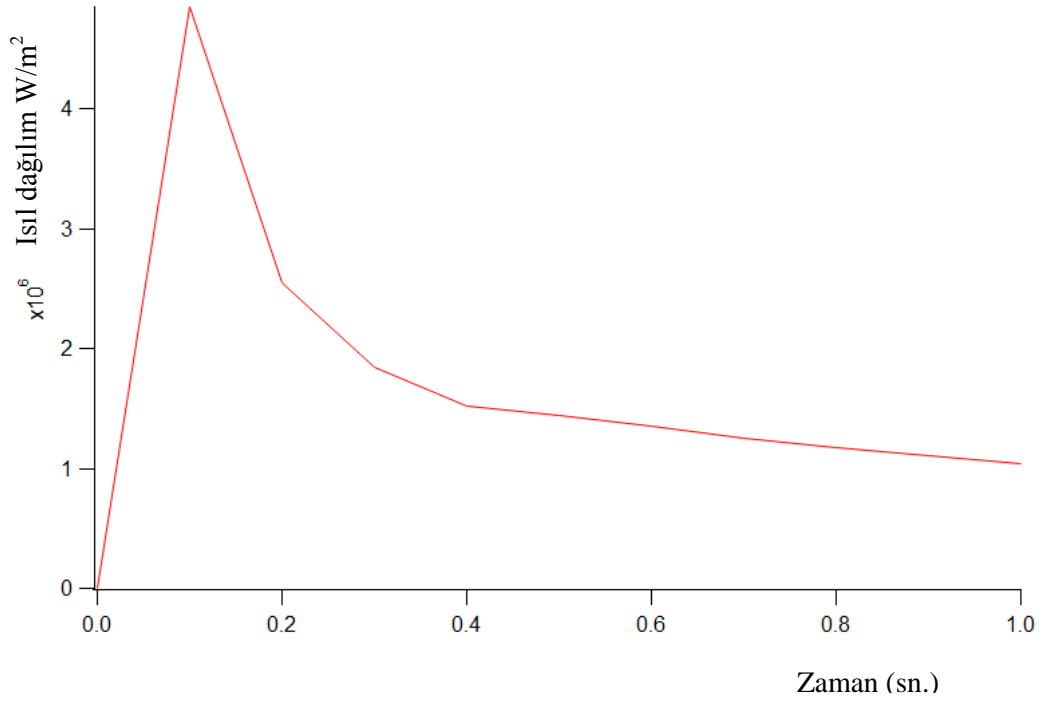
Alüminyum soğutucu – 2 (AS2)'nin yapılan analizinde her bir kesit ölçüsünde yapılan ısı iletim zamana bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. ısı iletim zamana bağlı olarak verileri Çizelge 5.10'de, bu verilere ait olan grafik de Şekil 5.18, Şekil 5.19, ısı iletimi Şekil 5.20'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.10: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Zamana Göre Isı İletim Tablosu

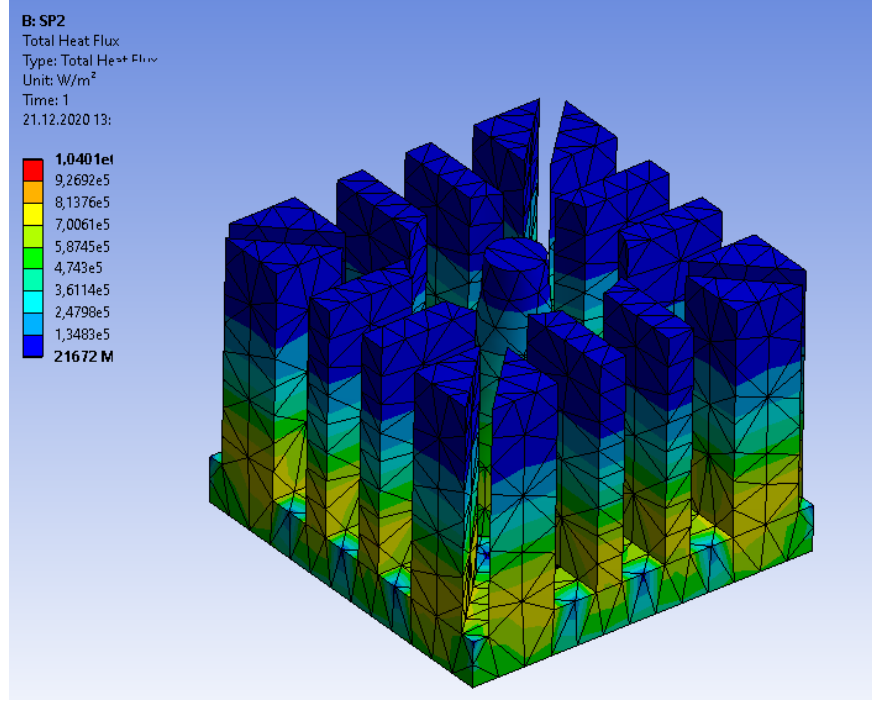
| Zaman | Minimum W/m ² | Maksimum W/m ² |
|---------|--------------------------|---------------------------|
| 0,1 sn. | 58,729 | 4,8517. 10 ⁶ |
| 0,2 sn. | 239,92 | 2,5493. 10 ⁶ |
| 0,3 sn. | 787,23 | 1,8471. 10 ⁶ |
| 0,4 sn. | 756,86 | 1,5184. 10 ⁶ |
| 0,5 sn. | 101,13 | 1,4428. 10 ⁶ |
| 0,6 sn. | 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 5.18: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Minimum W/m^2 Isıl Dağılım Analizi



Şekil 5.19: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) maximum W/m^2 Isıl Dağılım Analizi



Şekil 5.20: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Isıl İletimi

5.3 Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) Analiz Sonuçları

Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)'ün yapısal özelliği analiz programında Alüminyum alaşım olarak tanımlanmıştır. Tanımlama ile ilgili veriler Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)'ün analiz sonuçları ve yapısal özellikleri ilgili veriler Çizelge 5.11'de teknik ölçülerin yer aldığı veriler Çizelge 5.12'de belirtilmiştir.

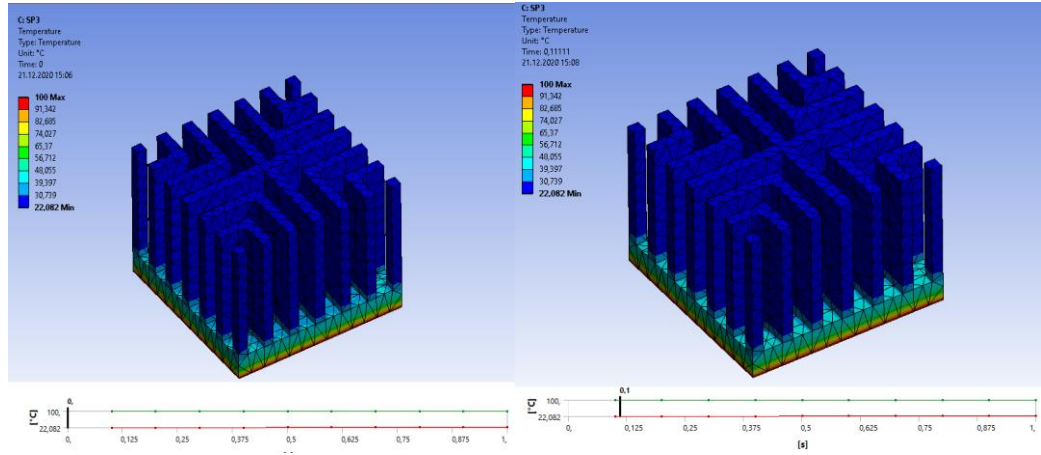
Çizelge 5.11: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) ile İlgili Teknik Veriler

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

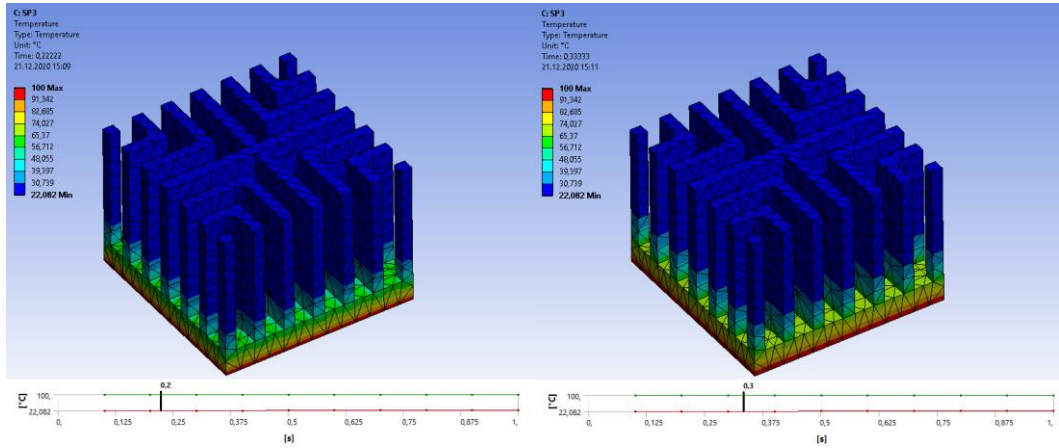
Çizelge 5.12: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)’ün Şekil Özellikleri

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

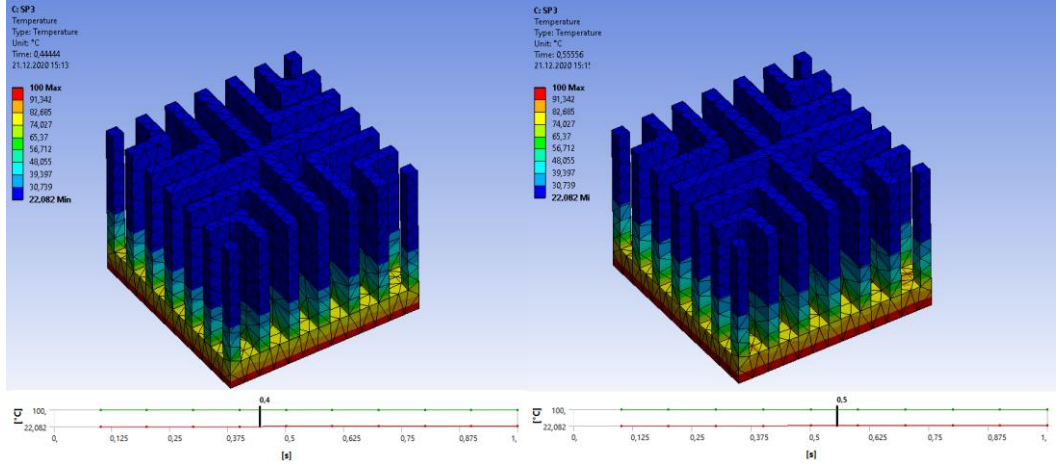
Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) için ısıl dağılımının zaman periyodu sıfır ile bir saniye zaman aralığında belirtilmiştir. Bu süre aralığında geçen ısıl iletim zaman silimi 0,1 sn. aralıklarla değerlendirilen sıcaklık değişimleri ve değişimleri gösteren zaman periyotları Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24, ve Şekil 5.25’de gösterilmiştir.



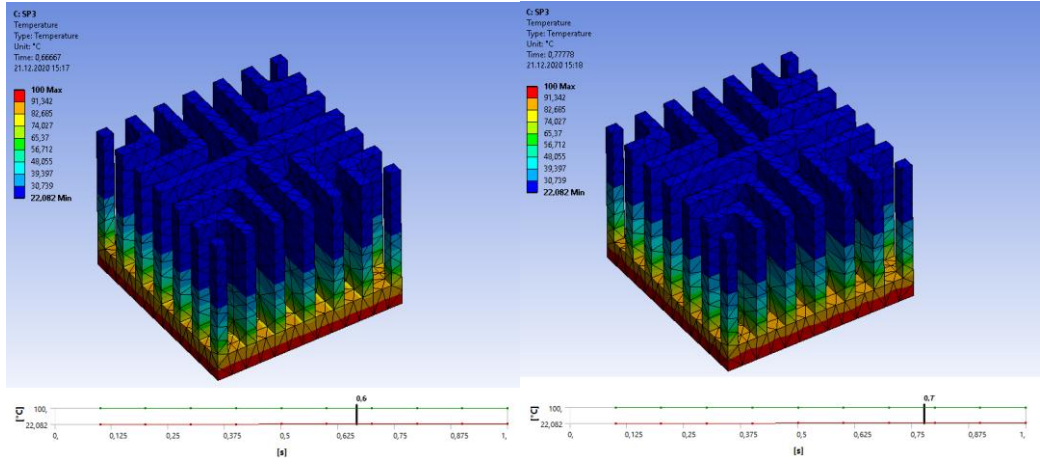
Şekil 5.21: AS3’ün 0 ve 0.1 Saniyedeki Isıl Dağılımı



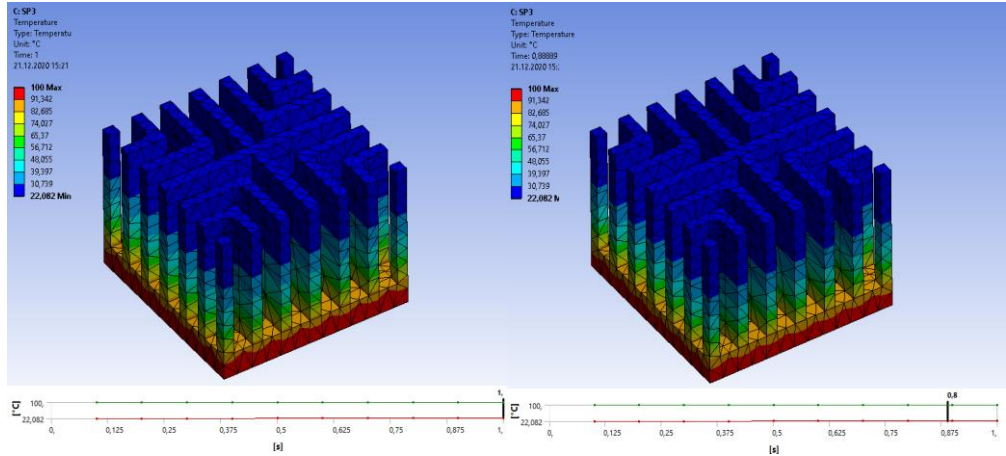
Şekil 5.22: AS3’ün 0.2 ve 0.3 Saniyedeki Isıl Dağılımı



Şekil 5.23: AS3'ün 0.4 ve 0.5 Saniyedeki Isıl Dağılımı



Şekil 5.24: AS3'ün 0.6 ve 0.7 Saniyedeki Isıl Dağılımı



Şekil 5.25: AS3'ün 0.8 ve 1 Saniyedeki Isıl Dağılımı

Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) ile ilgili Katı Hal Termal verilerinin yer aldığı ısı iletim gücü Çizelge 5.13'de, zamana göre sıcaklık değişimlerinin yer aldığı veriler Çizelge 5.14'de ve bu verilerle ilgili soğurma grafik eğrisi Şekil 5.26'de

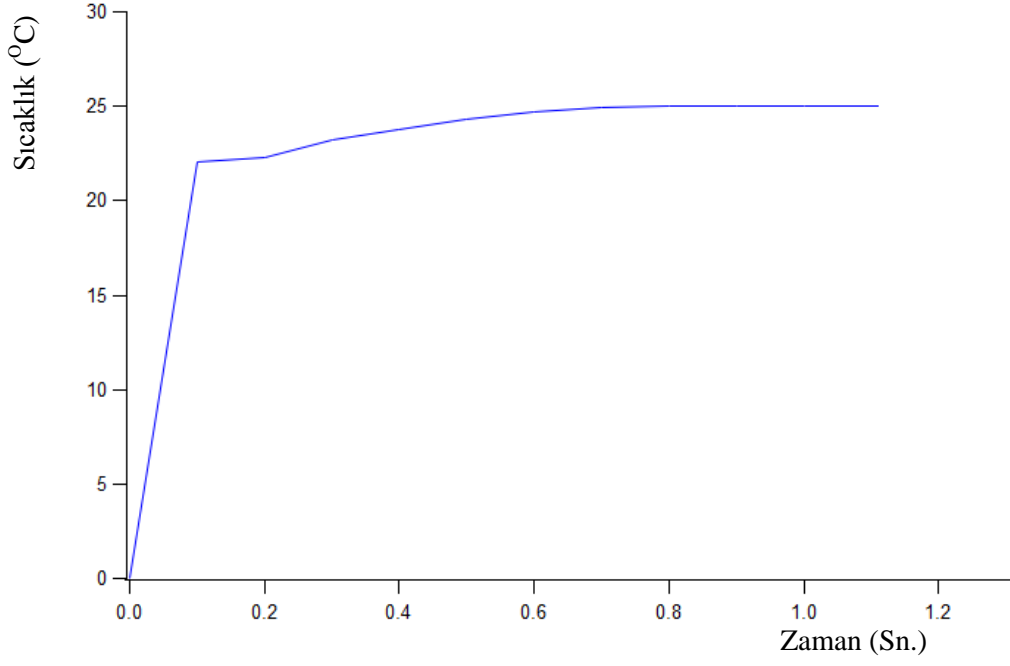
gösterilmiştir. AS3 Soğutucu modelle ilgili ısı artış grafiği eğrisi Şekil 5.27’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.13: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)’ün (SP3) Isıl İletim Tablosu

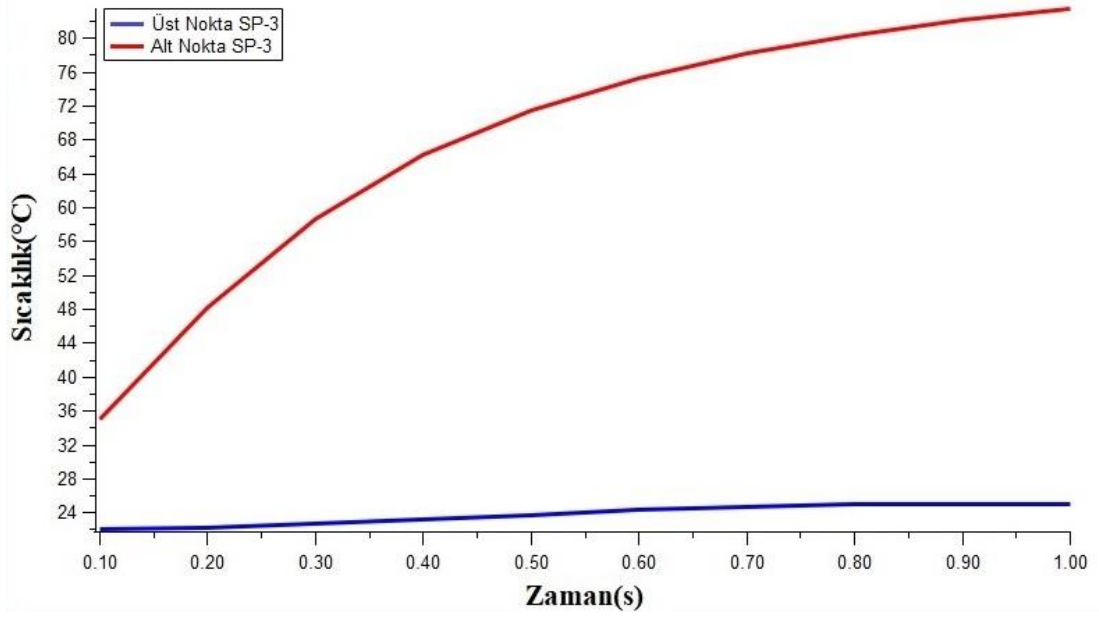
| Ayarlar | | |
|--------------------------------|----------|----------|
| Display Time | End Time | |
| | | Sonuçlar |
| Sıcaklık | 237,1 W | -237,1 W |
| Maksimum Değer Zamandaki Sonuç | | |
| Sıcaklık | 257,57 W | -237,1 W |
| Minimum Değer Zamandaki Sonuç | | |
| Sıcaklık | 237,1 W | -237,1 W |
| | Bilgi | |
| Referans Değer | 22 °C | |

Çizelge 5.14: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)’ün 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 5.26: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) Isı Grafiği



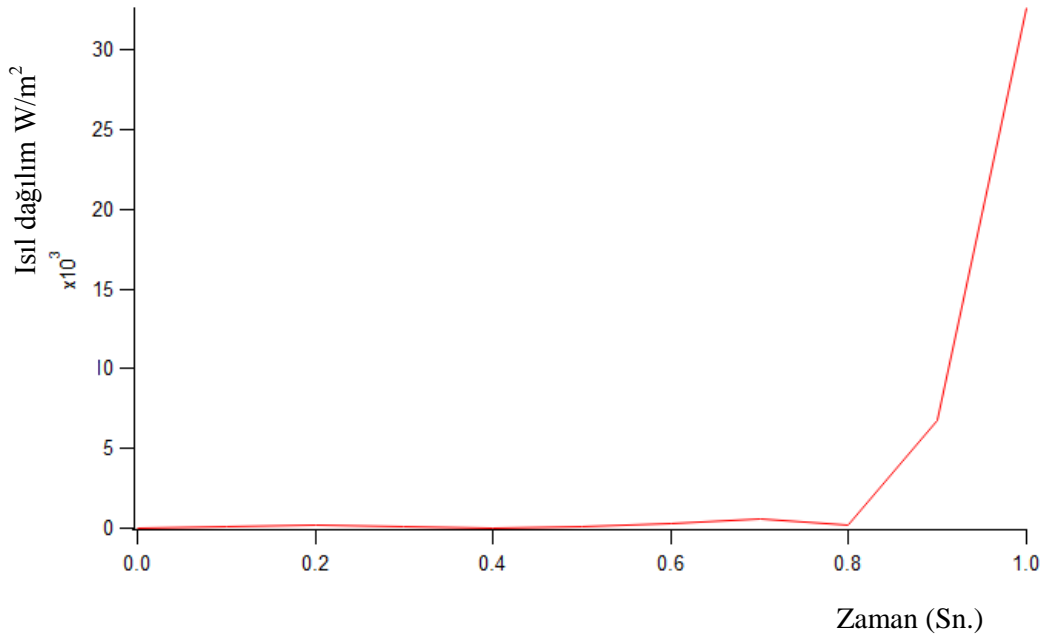
Şekil 5.27: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) Kararlı Isıl Dengeye Erişim Grafiği

Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)'ün yapılan analizinde her bir kesit ölçüsünde yapılan ısı iletim zamana bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Isıl iletim zamana bağlı olarak verileri Çizelge 5,15'de, bu verilere ait olan grafik de Şekil 5,28'de ve

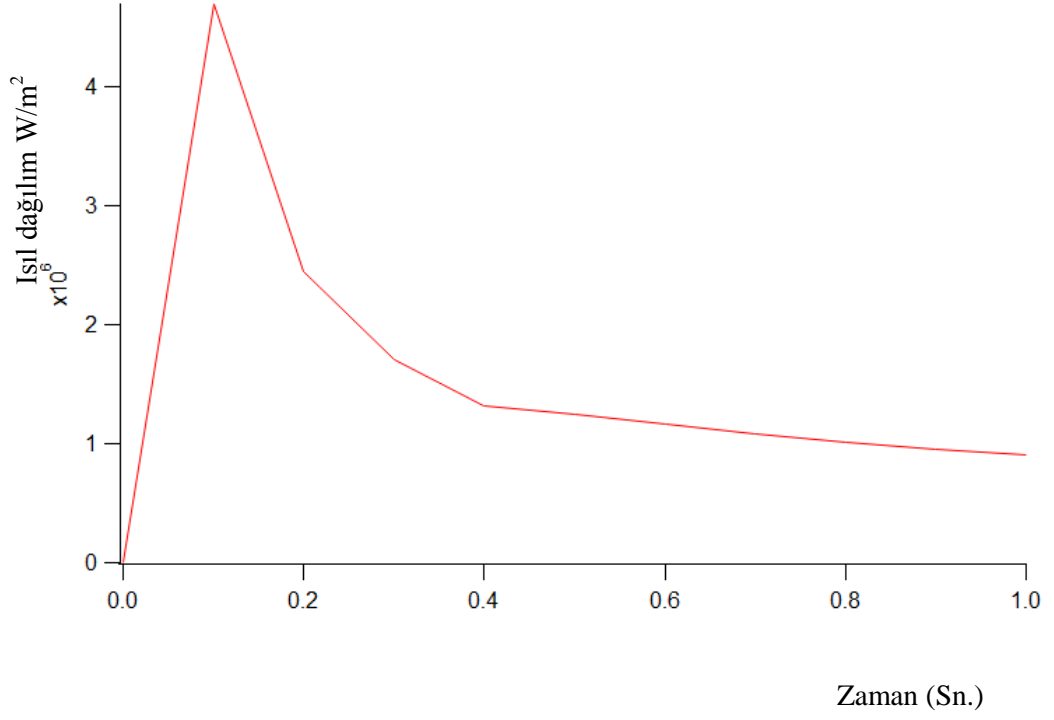
Şekil 5,29'da gösterilmiştir. Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)'ün ısı iletim grafiği Şekil 5,30'da verilmiştir.

Çizelge 5.15: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) Zamana Göre Isıl İletimi

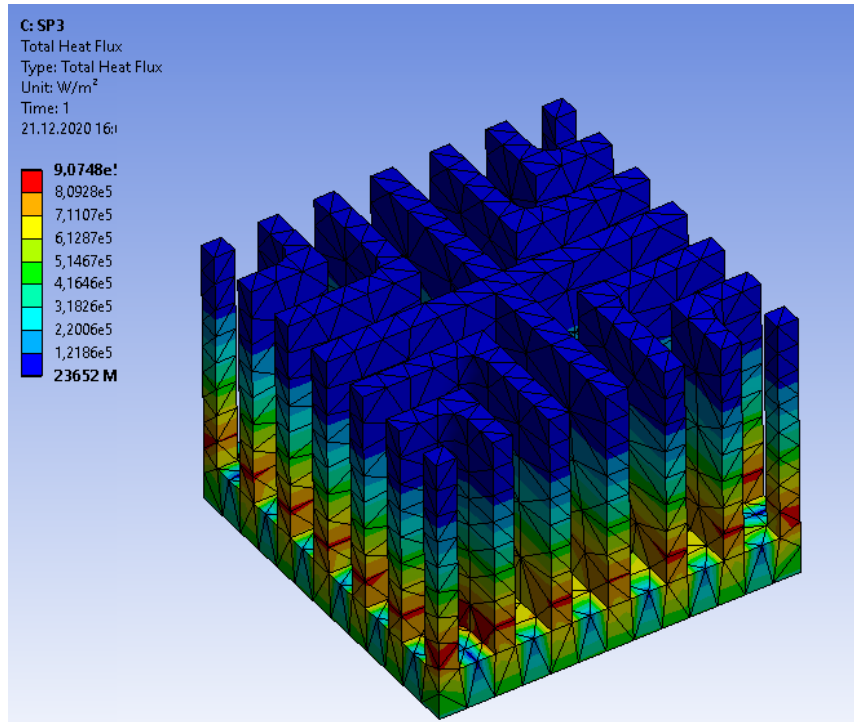
| Zaman | Minimum W/m ² | Maksimum W/m ² |
|---------|--------------------------|---------------------------|
| 0,1 sn. | 52,045 | 4,6939.10 ⁶ |
| 0,2 sn. | 154,03 | 2,4527.10 ⁶ |
| 0,3 sn. | 74,605 | 1,7028.10 ⁶ |
| 0,4 sn. | 40,424 | 1,32.10 ⁶ |
| 0,5 sn. | 52,118 | 1,2496.10 ⁶ |
| 0,6 sn. | 336,32 | 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 5.28: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)'ün Minimum W/m² Isıl Dağılım Analizi



Şekil 5.29: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)'ün Maksimum W/m² Isıl Dağılım Analizi



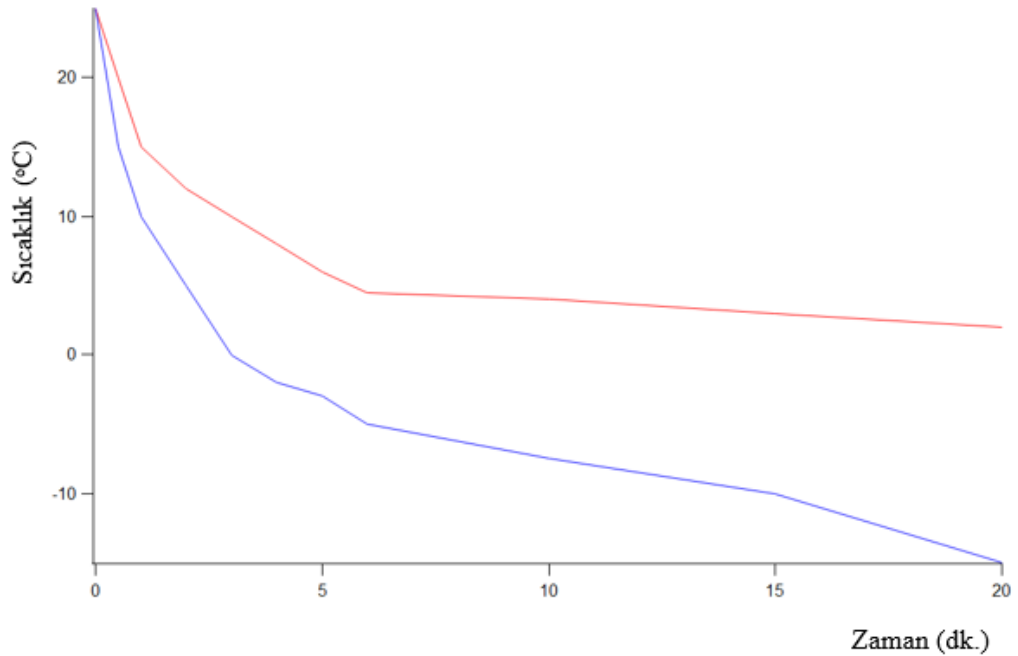
Şekil 5.30: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3)'ün Isıl İletimi

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 de etkilediği ve soğuma verimliliğini ciddi şekilde etkilediği görülmüştür. Bu etkileri değişik yük ve akımda termoelektrik modül yüzeyinde aynı etkiyi yaptığı gözlemlenmiştir.

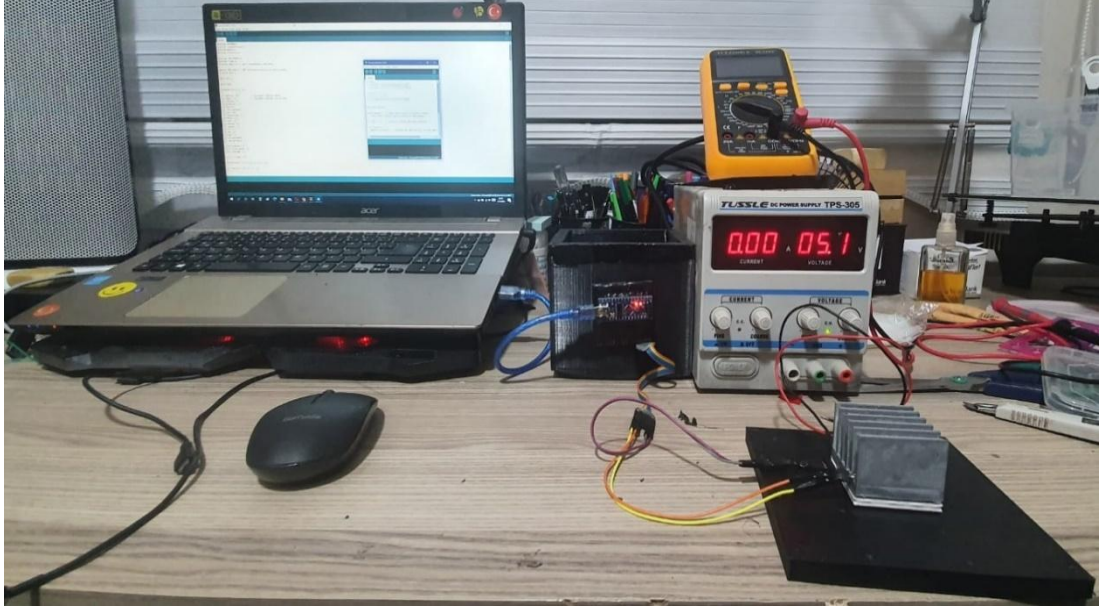
Soğutma haznesinde, soğutma tekniğini etkili kullanmak adına TEC için çeşitli voltajlarda ekleme yapılarak geometrik şekildeki alüminyum soğutucuların değerlerini ölçerek gözlemlenmiştir. Buna göre termoelektrik modüle verdiğimiz yük ve buna bağlı çekilen akım değerlere karşılık elde ettiğimiz ısı değerleri birer dakikalık aralıklarla gözlemlenmiş olup Şekil 6.1’de gösterilmiştir



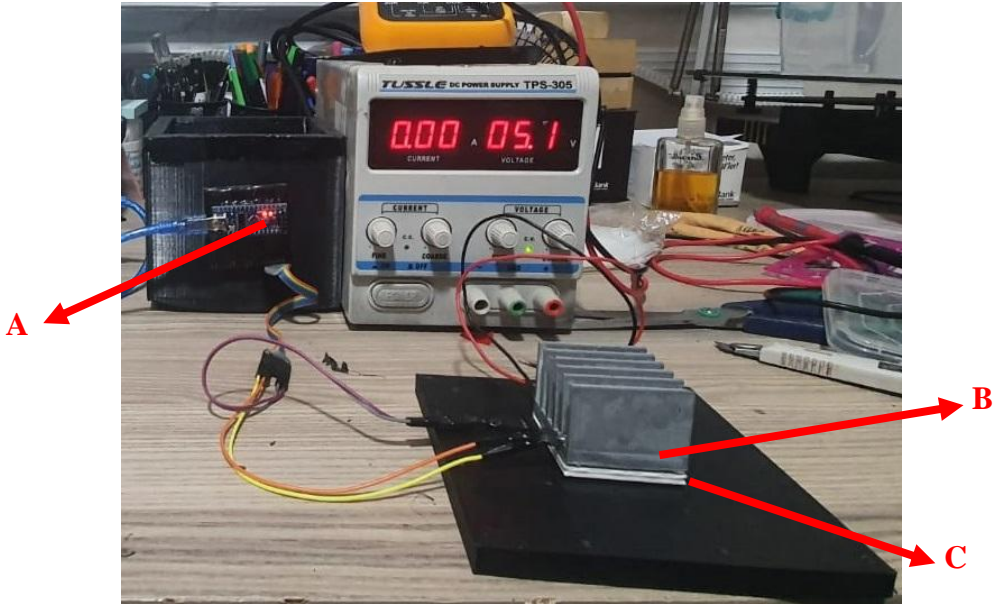
Şekil 6.1: Zamana Göre Isı Parametreleri

6.2 Soğutucuların Isı Dağılımı

Termoelektrik modülün ısınan yüzeyine eklenen, alüminyumdan yapılmış çeşitli geometrik şekillerdeki soğutucular, yapılan test sonucunda kapladığı yüzey alana göre değişiklikler gösterebilmektedir. Ölçüm yapılan alüminyum soğutucular yer aldığı görsel Şekil 6.2’de ve Şekil 6.3’de yer almaktadır.



Şekil 6.2: Test Düzenegi



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

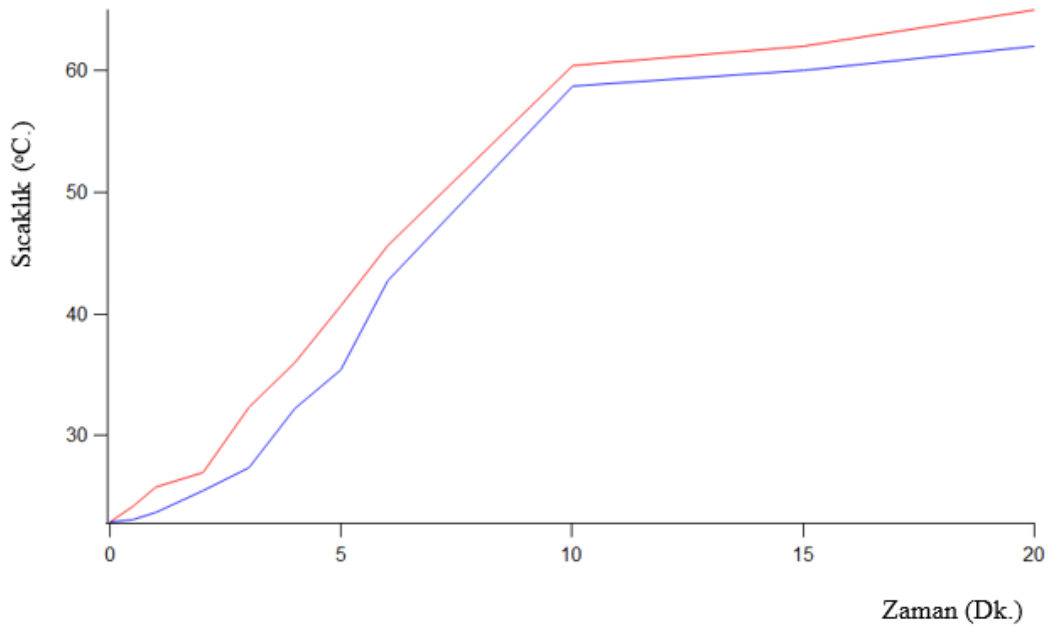
Şekil 6.3: Test Bağlantıları

6.2.1 Alüminyum soğutucu – 1 (AS1)'in Isı Dağılım Verileri

Termoelektrik modül yüzeyine bağlanmış olan alüminyum soğutucu – 1 (AS1)'in zamana göre ölçümleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 6.1'de gösterilmiştir. Buna göre yer alan veriler Şekil 6.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1)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 |



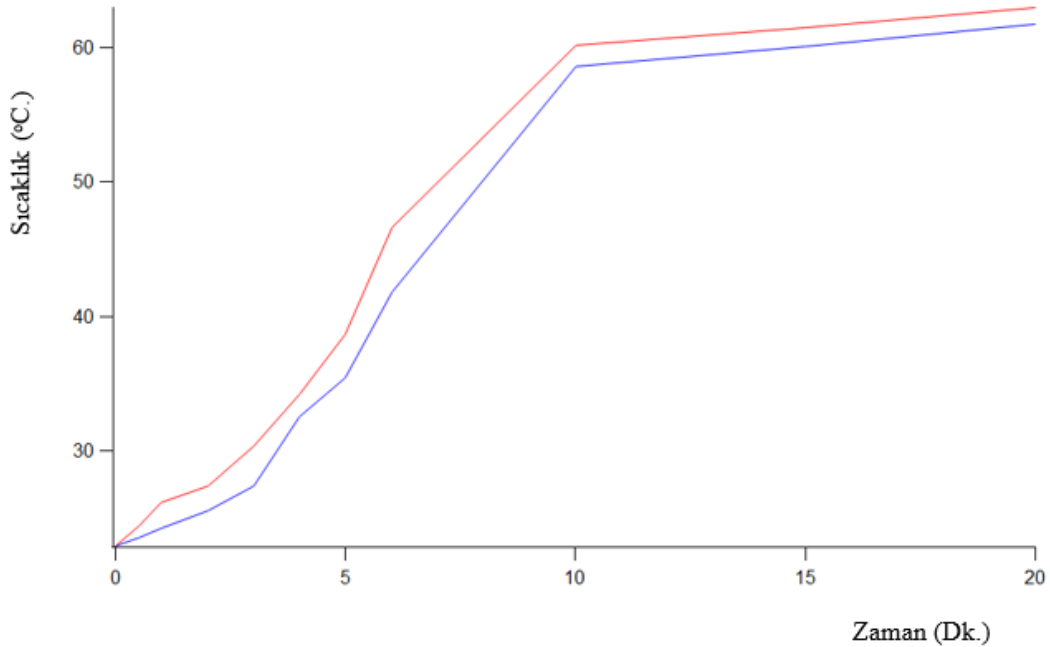
Şekil 6.4: Alüminyum soğutucu – 1 (AS1) Isı Dağılım Grafiği

6.2.2 Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) ısı dağılım verileri

Termoelektrik modül yüzeyine bağlanmış olan alüminyum soğutucu – 2 (AS2)'in zamana göre ölçümleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 6.2'da gösterilmiştir. Buna göre yer alan veriler Şekil 6.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) 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 |



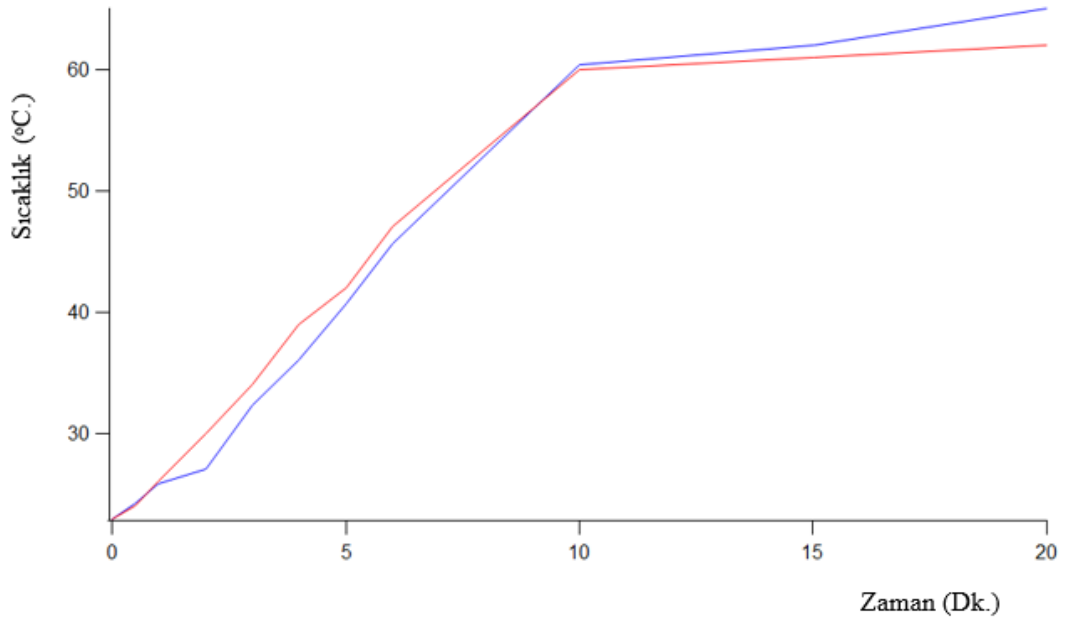
Şekil 6.5: Alüminyum soğutucu – 2 (AS2) Isı Dağılım Grafiği

6.2.3 Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) ısı dağılım verileri

Termoelektrik modül yüzeyine bağlanmış olan alüminyum soğutucu – 3 (AS3)'ün zamana göre ölçümleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 6.3'de gösterilmiştir. Buna göre yer alan veriler Şekil 6.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.3: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) Isı 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 6.6: Alüminyum soğutucu – 3 (AS3) 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 soğutucuların çalışma prensibi, termoelektrik modül 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 modellerinin, 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. Bunun nedeni AS1 soğutucusunun yapısının ısınma anında ısı iletiminin hava ile teması ile fazla olması ve ısı iletimindeki sürecin hızlı olması ile ilgili sonucuna varılmıştır. AS1 soğutucusunun ısı grafiğine göre sıcaklık değerleri ufak değerlerde farklılık göstermektedir. AS2 soğutucusunun AS1'e göre ısı iletiminin hava ile etkileşimi, AS2'nin geometrik şekilden kaynaklı ısı kesişmesine neden olduğu için, AS2'nin alt yüzeydeki ısı derecelerinin etkisi üst yüzey ısı etkisi AS1' e göre daha az olduğu ve

ısı iletimin AS1'e göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. AS3'ün üst yüzey ısısı diğer iki soğutucu parçaya göre daha fazladır. Geometrik yapısından kaynaklanan ısı iletim az olması soğutucu parçanın soğutma hızını diğer parçalara göre daha az olmasına neden olmaktadır. 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. Isıl iletimi en hızlı şekilde kaynağından başka bir ortama aktaran maddeler genelde metal elementlerinin yer aldığı bileşiklerden oluşan soğutma hazneleridir. 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 Alüminyum soğutucular (AS1, AS2, AS3), 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, alüminyum soğutucular 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 alüminyum soğutucular üzerindeki dağılımı analiz edilerek, ısı grafiği soğutucular üzerindeki dağılımı ayrıntılı bir şekilde

incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda, test modülü geliştirilerek model olarak alınan soğutucular termoelektrik modüle bağlanmış, gerçek ısı dağılımı ölçülendirmeleri yapılmıştır. Alınan alüminyum soğutucular TEC modülüne termal macun ile yapıştırılarak, analiz programında girilen sayısal verilere eşit veya çok yakın oranda ortam oluşturulmuştur. TEC modül alüminyum soğutucular üzerinde oluşan ısı, elektronik sensör ile ölçülendirmeler sonunda veri olarak bilgisayarda işlenmiş ve grafiklerle alüminyum soğutuculardaki 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 alüminyum soğutucular, hızla ısıyı çektiği ve geometrik modelin belli zaman aralıklarında homojen olarak dağılım yaptığı tespit edilmiştir. Alüminyum soğutucu ilk ısıya maruz kaldığında yüksek oranda soğurma yaparken alüminyum soğutucu zamana bağlı olarak ısınmasıyla, soğuma hızı da zamana göre azalmaktadır.

TEC alana eklenen soğutma haznelerinin et kalınlık yoğunluğu, yüzey alana doğru fazla olması, alüminyum soğutucuların 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. Ayrıca direk (doğrudan) lazer sinterleme eklemeli imalat yöntemi ile üretilen bu ve buna benzer gelecek çalışmalarda, eklemeli imalat doluluk oranı, değerlendirilme yapılırken göz önüne alınmalıdır. Bununla birlikte işlem sırasında ısı veya başka etkenlerden kaynaklı alüminyum alaşımında oluşabilecek gözenekli yapılar ve yine alüminyumda oluşabilecek oksitlenme gibi mikro yapı analizlere yer verilerek bu çalışmaların yapılmasında yarar görülmektedir. Yapılacak bu çalışmalar termoelektrik modülde önemli bir sorun olan verimliliğin, 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 AISI10Mg*. 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). *Ekllemeli 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., Namhongs, 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: Internitonal 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

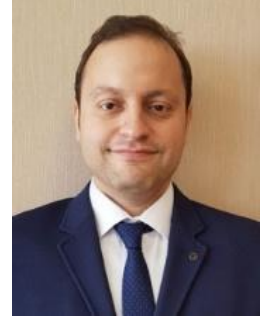
- URL – 1** <<https://www.elektrikde.com/peltier-etkisi-termoelektrik-sogutucu-nedir/>> Alındığı tarih 06.09.2020
- URL – 2** <<http://eklemeliimalat.info.tr>>, alındığı tarih 06.09.2020
- URL – 3** <<http://www.nature.com/nature/journal/v413/n6856/images/413577aa.2.jpg>> alındığı tarih 06.09.2020
- 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/benotech-gm320-lazer-termometre> alındığı tarih
20.09.2020

URL – 7 <<https://customthermoelectric.com/26311-5p31-17cw-thermoelectric-peltier-module.html>> Alındığı tarih 20.09.2020

ÖZGEÇMİŞ

Ömer Buğra DEMİRÖZ
34000 İstanbul, Türkiye
E-Posta: omer89bugra@gmail.com
Telefon: +90-506-547-69-24



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 (Arduinio kullanılarak çeşitli karmaşık elektronik sensörlerin kontrolü ve kullanılması).