

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖRNEK BİR ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON İMALAT  
TESİSİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mert COŞKUN**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ**  
**Tez Danışmanı : Dr. Öğretim Üyesi Ünal UYSAL**

**Mayıs 2019**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖRNEK BİR ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON İMALAT  
TESİSİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mert COŞKUN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Bu tez 20/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Dr. Öğretim Üyesi  
Ünal UYSAL  
Jüri Başkanı



Prof.Dr.  
Nedim SÖZBİR  
Üye



Dr. Öğretim Üyesi  
Gökhan ERGEN  
Üye

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mert COŞKUN

18.04.2019

## TEŞEKKÜR

Tüm yaşintım boyunca desteklerini hiçbir zaman için esirgemeyen aileme, yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden ve aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Ünal UYSAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Alüminyum Test Eğitim ve Araştırma Merkezi Müdürü Dr. Öğretim Üyesi Ebubekir KOÇ'a, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Yaşar AKÇA'ya, ölçümler esnasında destek veren Savaş ÖNDER'e, tez yazımında önemli olan kısımların belirlenmesi konusunda desteklerinden dolayı Zafer Çağatay ÖTER'e, Mustafa Safa YILMAZ'a ve Mustafa Enes BULDUK'a teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLOLAR LİSTESİ .....	xi
ÖZET .....	xiii
SUMMARY .....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	4
BÖLÜM 3.	
TÜRKİYE'DE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE TÜKETİMİ .....	7
3.1. Enerji .....	7
3.2. Enerji Verimliliği .....	7
3.3. Türkiye'de Enerji Verimliliği .....	8
3.4. Türkiye'de Enerji Tüketimi .....	11
3.5. Binalarda Enerji Verimliliği .....	13
3.6. Sanayide Enerji Verimliliği .....	14

BÖLÜM 4.	
ALÜMİNYUM SEKTÖRÜ .....	16
BÖLÜM 5.	
ALÜMİNYUM ÜRETİMİ VE ÜRETİMDE KULLANILAN EKİPMANLAR ..	21
5.1. Termik ve Homojenizasyon Fırınları .....	22
5.2. Biyet Tav Fırınları .....	23
5.3. Kalıp Tav Fırınları .....	24
5.4. Presler .....	25
5.5. Statik Toz Boya Sistemleri .....	25
5.6. Eloksal Sistemi .....	26
5.7. Ergitme ve Bekletme Ocakları .....	27
BÖLÜM 6.	
YALITIM VE YALITIM ÇEŞİTLERİ .....	28
6.1. Yalıtım Çeşitleri .....	28
6.1.1. Isı yalıtımı.....	28
6.1.2. Ses yalıtımı .....	28
6.1.3. Su yalıtımı .....	29
6.2. Kullanılan Yalıtım Malzemeleri.....	29
6.2.1. Isı yalıtım malzemeleri .....	29
6.2.1.1. Polietilen köpüğü .....	30
6.2.1.2. Elastomerik kauçuk köpüğü .....	31
6.2.1.3. Cam yünü .....	32
6.2.1.4. Taş yünü .....	32
6.2.1.5. Seramik yünü .....	33
6.2.1.6. Ekstrüde polistren köpük (XPS).....	34
6.2.1.7. Ekspande polistren köpük (EPS).....	34
6.2.1.8. Cam köpüğü .....	35
6.2.1.9. Kalsiyum silikat .....	36
6.2.1.10. Fenol köpüğü.....	36
6.2.1.11. Poliüretan .....	37

6.2.2. Ses yalıtım malzemeleri.....	38
6.2.3. Su yalıtım malzemeleri .....	38

## BÖLÜM 7.

TERMAL KAMERA İLE ÖLÇÜM YÖNTEMİ .....	40
7.1. Termal Kamera Çalışma Prensipleri.....	40
7.2. Termal Kameranın Özellikleri .....	41
7.3. Görüntü İşleme Programı.....	42
7.4. Enerji Kayıplarının Hesaplanması .....	43

## BÖLÜM 8.

TERMAL ÖLÇÜMLER VE SONUÇLAR .....	46
8.1. Biyet Tav Fırını .....	46
8.1.1. Biyet tav fırını ölçümleri.....	46
8.1.1.1. Biyet tav fırını ilk ölçümleri .....	46
8.1.1.2. Biyet tav fırını revize önerileri.....	49
8.1.1.3. Biyet tav fırını revize sonrası ölçümleri ve sonuçlar .....	49
8.1.2. Biyet tav fırını 2 ölçümleri.....	51
8.1.2.1. Biyet tav fırını 2 ilk ölçümleri .....	51
8.1.2.2. Biyet tav fırını 2 revize önerileri.....	54
8.1.2.3. Biyet tav fırını 2 revize sonrası ölçümleri ve sonuçlar ...	54
8.1.3. Biyet tav fırını 3 ölçümleri.....	56
8.1.3.1. Biyet tav fırını 3 ilk ölçümleri .....	56
8.1.3.2. Biyet tav fırını 3 revize önerileri .....	58
8.1.3.3. Biyet tav fırını 3 revize sonrası .....	59
8.2. Kalıp Tav Fırını .....	59
8.2.1. Kalıp tav fırını ölçümleri .....	59
8.2.1.1. Kalıp tav fırını ilk ölçümleri .....	59
8.2.1.2. Kalıp tav fırını revize önerileri .....	62
8.2.1.3. Kalıp tav fırını revize sonrası ölçümleri ve sonuçlar .....	62
8.3. Boya Kurutma Fırını .....	65
8.3.1. Boya kurutma fırını ölçümleri .....	65

8.3.1.1. Boya kurutma fırını ilk ölçümleri .....	65
8.3.1.2. Boya kurutma fırını revize önerileri .....	67
8.3.1.3. Boya kurutma fırını revize sonrası ölçümleri .....	67
8.4. Termik Fırın.....	69
8.4.1. Termik fırın ölçümleri.....	69
8.4.1.1. Termik fırın ilk ölçümleri.....	69
8.4.1.2. Termik fırın revize önerileri.....	71
8.4.1.3. Termik fırın revize sonrası ölçümleri ve sonuçlar .....	72
8.5. Boya Kürleme Fırını .....	75
8.5.1. Boya kürleme fırını ölçümleri.....	75
8.5.1.1. Boya kürleme fırını ilk ölçümleri .....	75
8.5.1.2. Boya kürleme fırını revize önerileri.....	77
8.5.1.3. Boya kürleme fırını revizyon sonrası ölçümleri ve sonuçlar.....	77
8.6. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	79
8.7. Enerji Verimliliği Açısından Değerlendirme .....	86

## BÖLÜM 9.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	88
KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİŞ.....	96



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$A_{1-6}$	: Fırının ön, arka, sağ, sol, üst ve boru yüzey alanları ( $m^2$ )
$d$	: Boru çapı (m)
$e$	: Fırın duvarı radyan oranı
ECB	: Etilen kopolimer bitüm
EPDM	: Etilen propilen dien monomer
EPS	: Ekspande polistren köpük
GSYH	: Gayri safi yurtiçi hasıla
GWh	: Gigawatt saat
$h_{t\ 1-4}$	: Fırının ön, arka, sağ, sol yüzeyinden olan ısı taşınım katsayısı ( $W/m^2\text{°C}$ )
$h_{t\ 1-6}$	: Fırının ön, arka, sağ, sol, üst ve boru yüzeyinden olan ısı taşınım katsayısı ( $W/m^2\text{°C}$ )
$h_{t5}$	: Fırının üst yüzeyinden olan ısı taşınım katsayısı ( $W / m^2\text{°C}$ )
$h_{t6}$	: Boru yüzeyinden olan ısı taşınım katsayısı ( $W / m^2\text{°C}$ )
IAI	: Uluslararası alüminyum enstitüsü
K	: Kelvin
kPa	: Kilopascal
kWh	: Kilowatt saat
kJ	: Kilojoule
m	: Metre
$m^2$	: Metrekare
MTEP	: Milyon ton eşdeğer petrol
PVC	: Polivinil klorür
$q_3$	: Fırın ön yüzeyinden ısı yayılımı (kJ)
$q_{3-8}$	: Fırın ön, arka, sağ, sol, üst ve boru yüzeyinden ısı yayılımı (kJ)

q <sub>4</sub>	: Fırın arka yüzeyinden ısı yayılımı (kJ)
q <sub>5</sub>	: Fırın sağ yüzeyinden ısı yayılımı (kJ)
q <sub>6</sub>	: Fırın sol yüzeyinden ısı yayılımı (kJ)
q <sub>7</sub>	: Fırın üst yüzeyinden ısı yayılımı (kJ)
q <sub>8</sub>	: Fırın boru yüzeyinden ısı yayılımı (kJ)
t	: Isı dengesi için gerekli zaman (h)
TALSAD	: Türkiye alüminyum sanayicileri derneği
TEP	: Ton eşdeğer petrol
TL	: Türk lirası
TWh	: Terawatt saat
TPO	: Termoplastik poliolefin
T <sub>S</sub>	: Standart Sıcaklık +273 (K)
T <sub>3-8</sub>	: Fırının ön, arka, sağ, sol, üst ve boru yüzeylerindeki ortalama sıcaklığı +273 (K)
T <sub>5</sub>	: Fırının sol yüzeyindeki ortalama sıcaklık +273 (K)
T <sub>7</sub>	: Fırının üst yüzeyindeki ortalama sıcaklık +273 (K)
T <sub>8</sub>	: Boru yüzeyindeki ortalama sıcaklık +273 (K)
UEVEP	: Ulusal enerji verimliliği eylem planı
W	: Watt
XPS	: Ekstrüde polistren köpük
°C	: Santigrat derece
μ	: Mikron
μgm/Nh	: Su buharı direnç katsayısı birimi
λ	: Isı iletim katsayısı (W / mK)

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Alüminyum üretim aşamalarında ürün maliyetine etki eden parametreler.....	2
Şekil 3.1. Enerji verimliliği ile ilgili yapılan kanunlar ve planlar.....	9
Şekil 3.2. Yıllar itibari ile Türkiye birincil enerji tüketimi.....	11
Şekil 3.3. Yıllara göre üretim sanayi enerji tüketimleri.....	15
Şekil 5.1. Termik fırın.....	22
Şekil 5.2. Homojenizasyon fırını.....	22
Şekil 5.3. Tünel tipi biyet tav fırını.....	23
Şekil 5.4. Kutu tipi biyet tav fırını.....	23
Şekil 5.5. Önden kapaklı kalıp tav fırını.....	24
Şekil 5.6. Üstten kapaklı kalıp tav fırını.....	24
Şekil 5.7. Ekstrüzyon pres şematik gösterimi.....	25
Şekil 5.8. Ekstrüzyon pres.....	25
Şekil 5.9. Eloksoal havuzu.....	26
Şekil 5.10. Ergitme ocağı.....	27
Şekil 5.11. Bekletme Ocağı.....	27
Şekil 6.1. Polietilen köpüğü.....	30
Şekil 6.2. Elastomerik kauçuk köpüğü.....	31
Şekil 6.3. Cam yünü.....	32
Şekil 6.4. Taş yünü.....	32
Şekil 6.5. Seramik yünü.....	33
Şekil 6.6. Ekstrüde polistren köpük.....	34
Şekil 6.7. Ekspande polistren köpük.....	34
Şekil 6.8. Cam köpüğü.....	35
Şekil 6.9. Kalsiyum silikat.....	36

Şekil 6.10. Fenol köpüğü .....	36
Şekil 6.11. Poliüretan .....	37
Şekil 7.1. Termal kamera .....	41
Şekil 7.2. Termal kamera T650SC .....	42
Şekil 7.3. FLIR programı arayüzü.....	42
Şekil 7.4. Hesaplamaların gösterimi. ....	43
Şekil 8.1. Biyet tav fırını ön yüzey. ....	47
Şekil 8.2. Biyet tav fırını arka yüzey.....	47
Şekil 8.3. Biyet tav fırını yan yüzey.....	48
Şekil 8.4. Biyet tav fırını yan yüzey.....	48
Şekil 8.5. Biyet tav fırını revize sonrası yan yüzey.....	50
Şekil 8.6. Biyet tav fırını revize sonrası arka yüzey. ....	50
Şekil 8.7. Biyet tav fırını 2 ön yüzey. ....	52
Şekil 8.8. Biyet tav fırını 2 yan yüzey.....	52
Şekil 8.9. Biyet tav fırını 2 yan yüzey.....	53
Şekil 8.10. Biyet tav fırını 2 alt yüzey. ....	53
Şekil 8.11. Biyet tav fırını 2 revize sonrası yan yüzey.....	55
Şekil 8.12. Biyet tav fırını 2 revize sonrası ön yüzey .....	55
Şekil 8.13. Biyet tav fırını 3 yan yüzey.....	57
Şekil 8.14. Biyet tav Fırını 3 arka yüzey.....	57
Şekil 8.15. Biyet tav fırını 3 üst yüzey.....	58
Şekil 8.16. Kalıp tav fırını ön yüzey. ....	60
Şekil 8.17. Kalıp tav fırını arka yüzey. ....	60
Şekil 8.18. Kalıp tav fırını üst yüzey.....	61
Şekil 8.19. Kalıp tav fırını yan yüzey. ....	61
Şekil 8.20. Kalıp tav fırını revize sonrası üst yüzey. ....	63
Şekil 8.21. Kalıp tav fırını revize sonrası ön yüzey. ....	63
Şekil 8.22. Kalıp tav fırını revize sonrası yan yüzey. ....	64
Şekil 8.23.. Boya kurutma fırını yan yüzey. ....	65
Şekil 8.24. Boya kurutma fırını üst yüzey. ....	66
Şekil 8.25. Boya kurutma fırını yan yüzey. ....	66
Şekil 8.26. Boya kurutma fırını revize sonrası yan yüzey. ....	68

Şekil 8.27. Boya kurutma fırını revize sonrası üst yüzey. ....	68
Şekil 8.28. Termik fırını ön yüzey. ....	70
Şekil 8.29. Termik fırını arka yüzey. ....	70
Şekil 8.30. Termik fırını yan yüzey. ....	71
Şekil 8.31. Termik fırını revize sonrası ön yüzey. ....	72
Şekil 8.32. Termik fırını revize sonrası ön kapak. ....	73
Şekil 8.33. Termik fırını revize sonrası arka yüzey. ....	73
Şekil 8.34. Termik fırını revize sonrası yan yüzey. ....	74
Şekil 8.35. Boya kütleme fırını yan yüzey. ....	75
Şekil 8.36. Boya kütleme fırını yan yüzey. ....	76
Şekil 8.37. Boya kütleme fırını revize sonrası yan yüzey. ....	77
Şekil 8.38. Boya kütleme fırını revize sonrası yan yüzey. ....	78
Şekil 8.39. Biyet tav fırını 1 ilk ölçüm. ....	79
Şekil 8.40. Biyet tav fırını 1 ikinci ölçüm. ....	79
Şekil 8.41. Biyet tav fırını 2 ön yüzey ilk ölçüm. ....	80
Şekil 8.42. Biyet tav fırını 2 ön yüzey ikinci ölçüm. ....	80
Şekil 8.43. Biyet tav fırını 2 yan yüzey ilk ölçüm. ....	80
Şekil 8.44. Biyet tav fırını 2 yan yüzey ikinci ölçüm. ....	80
Şekil 8.45. Kalıp tav fırını yan yüzey ilk ölçüm. ....	81
Şekil 8.46. Kalıp tav fırını yan yüzey ikinci ölçüm. ....	81
Şekil 8.47. Boya kurutma fırını üst yüzey ilk ölçüm. ....	82
Şekil 8.48. Boya kurutma fırını üst yüzey ikinci ölçüm. ....	82
Şekil 8.49. Termik fırın ön yüzey ilk ölçüm. ....	83
Şekil 8.50. Termik fırın ön yüzey ikinci ölçüm. ....	83

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Enerjinin endüstriyel tüketim miktarları.....	12
Tablo 4.1. Alüminyum ithal edilen ülkeler ve payları . .....	16
Tablo 4.2. Alüminyum ihraç edilen ülkeler ve payları. ....	17
Tablo 4.3. En çok alüminyum ithal eden ülkeler ve payları. ....	18
Tablo 4.4. En çok Alüminyum ihraç eden ülkeler ve payları. ....	19
Tablo 4.5. Alüminyum üretim sektörleri ve bu sektördeki firmaların üretimdeki payları .....	20
Tablo 6.1. Sıcaklıklara göre yalıtım malzemesi kullanımları. ....	30
Tablo 6.2. Polietilen köpüğü özellikleri.....	31
Tablo 6.3. Elastomerik kauçuk köpüğü. ....	31
Tablo 6.4. Cam yünü özellikleri.....	32
Tablo 6.5. Taş yünü özellikleri. ....	33
Tablo 6.6. Seramik yünü özellikleri.....	33
Tablo 6.7. Ekstrüde polistren köpük özellikleri. ....	34
Tablo 6.8. Ekspande polistren köpük özellikleri.....	35
Tablo 6.9. Cam köpüğü özellikleri.....	35
Tablo 6.10. Kalsiyum silikat özellikleri.....	36
Tablo 6.11. Fenol köpüğü özellikleri. ....	37
Tablo 6.12. Poliüretan özellikleri.....	37
Tablo 8.1. Biyet tav fırını ilk ölçüm sonuçları. ....	49
Tablo 8.2. Biyet tav fırını revize sonrası ölçüm sonuçları. ....	51
Tablo 8.3. Biyet tav fırını 2 ilk ölçüm sonuçları .....	54
Tablo 8.4. Biyet tav fırını 2 revize sonrası ölçüm sonuçları. ....	56
Tablo 8.5. Biyet tav fırını 3 ilk ölçüm sonuçları .....	58
Tablo 8.6. Kalıp tav fırını ilk ölçüm sonuçları.....	62
Tablo 8.7. Kalıp tav fırını revize sonrası ölçüm sonuçları.....	64

Tablo 8.8. Boya kurutma fırını ilk ölçüm sonuçları.....	67
Tablo 8.9. Boya kurutma fırını revize sonrası ölçüm sonuçları.....	69
Tablo 8.10. Termik fırını ilk ölçüm sonuçları.....	71
Tablo 8.11. Termik fırını revize sonrası ölçüm sonuçları.....	74
Tablo 8.12. Boya kütleme fırını ilk ölçüm sonuçları.....	76
Tablo 8.13. Boya kütleme fırını revize sonrası ölçüm sonuçları.....	78
Tablo 8.14. Birinci biyet tav ölçüm sonuçları karşılaştırılması.....	79
Tablo 8.15. İkinci biyet tav ölçüm sonuçları karşılaştırılması.....	80
Tablo 8.16. Kalıp tav ölçüm sonuçları karşılaştırılması.....	81
Tablo 8.17. Boya kurutma fırını ölçüm sonuçları karşılaştırılması.....	82
Tablo 8.18. Termik fırın ölçüm sonuçları karşılaştırılması.....	83
Tablo 8.19. Boya kütleme fırını ölçüm sonuçları karşılaştırılması.....	84
Tablo 8.20. Tüm sonuçların karşılaştırılması.....	84
Tablo 8.21. Sıcaklık düşüşü en fazla olan makine sonuçları.....	85
Tablo 8.22. Enerji verimliliği en yüksek makine sonuçları.....	85
Tablo 8.23. Gelecekteki değer tablosu.....	86
Tablo 8.24. Enerji verimliliğinin değerlendirilmesi.....	86

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Alüminyum, Ekstrüzyon, Enerji Verimliliği

Alüminyum imalatı sırasında enerji ihtiyacının yüksek olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, ekstrüzyonla Alüminyum üretimi yapan tesislerde üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan enerji verimliliğinin sağlanması, ısı transferinde kayıpların en aza indirgenerek yüksek verimin elde edilmesi ve tesislerde önemli bir maliyet unsuru haline gelen enerji talebinin azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda mevcut olan ve ısı kaybına neden olan makinalar belirlenmiştir. Belirlenen her bir makina için termal kamera ile ölçümler yapılmıştır. Termal kamera ile elde edilen sonuçlar programa işlenerek ısı kaybına neden olan kısımlar tespit edilip, ısı kaybının gerçekleştiği yere bağlı olarak çeşitli izolasyon ve mekanik tamir önerilerinde bulunulmuştur. Öneriler doğrultusunda yapılan revize çalışmaları sonrası tekrar ölçümler yapılmıştır. Revize öncesi ve revize sonrası olacak şekilde tüm makinalar için enerji kayıpları hesaplanmış ve durumlar arasındaki enerji tasarrufu belirlenmiştir. Mekanik tamir ve izolasyon için yapılan revize maliyetleri hesaplanmıştır. Revize maliyetleri ile makinanın ısı kaybının engellenmesiyle oluşan ekonomik girdi karşılaştırılıp, revize maliyetlerinin her makina için kendini ne kadar sürede amorti edeceği hesaplanmıştır. Ayrıca revize önerileri gerçekleştirilmeyen makinalar için de tekrar ölçüm gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda makinaların iki ölçüm arasındaki sürede ne kadar enerji kaybı yaşadığı belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre enerji verimliliği için revize yapılması önerilen makinalarda varan 33240,5 kWh/Ay'lık ısı kayıpları ve buna tekabül eden 8510 TL/Ay'lık maliyet engellenmiştir.



# INVESTIGATION OF ENERGY EFFICIENCY IN A PILOT ALUMINUM EXTRUSION MANUFACTURING PLANT

## SUMMARY

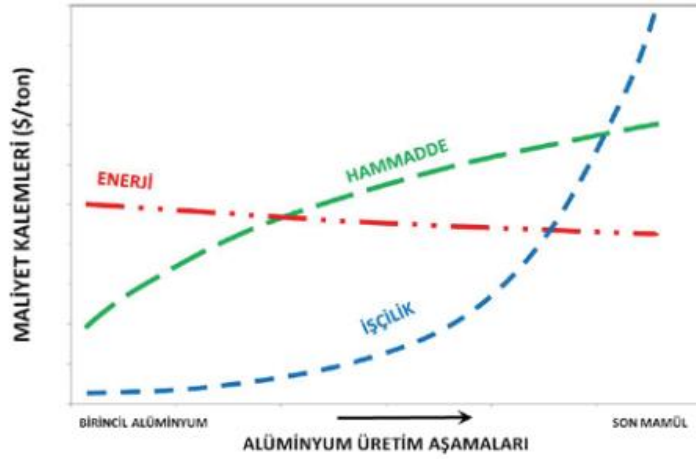
Keywords: Aluminium, Extrusion, Enerji Efficiency

It is known that the energy requirement during the manufacturing of aluminium is high. Aim of this study was to achieve the highest possible heat energy efficiency and to decrease the total energy demand without any decrease in the production quality and quantity in Aluminum extrusion facilities. For this purpose, machines with the highest heat loss were determined. Measurements were made via a thermal camera for each machine. The results obtained by the thermal camera were processed in a software and the parts causing heat loss were detected. Various isolation and mechanical repair suggestions were made depending on the location of the heat loss. After the revisions made in accordance with the recommendations, thermal camera measurements were repeated. The energy losses for all machines were calculated before and after the revisions and the ultimate energy saving obtained after revisions were determined. Revision costs for mechanical repair and isolation were also calculated. The economic input caused by the heat loss of each machine were compared to the revision costs to determine the pay-off period of each revision. In addition, measurements were also performed for machines that did not undergo any revision to calculate the amount of the energy loss experienced the two measurements in these machines. According to the results obtained in the study, 33240,5 kWh / Month heat losses and the corresponding cost of 8510 TL / Month were prevented in the machines revised for increased energy efficiency.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılayan fosil yakıtların kullanım oranı gün geçtikçe artmaktadır. Nüfusun artmasıyla birlikte enerjiye olan talep de artmıştır. Ancak enerji talebi karşısında fosil yakıt rezervleri bu talebe karşılık göstermemekle birlikte her geçen gün azalmaktadır. 2011’de yayımlanan Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi enerji raporunda belirtildiği gibi Türkiye’de giderek artan nüfusla birlikte ekonomik ve sosyal açıdan enerji talebi ile karşı karşıyadır [1]. Tüm dünyada geçerli olan bu durum karşısında ülkelerin enerji verimliliği çalışmaları yapma gerekliliğini ortaya koymuştur. Ülkemizde bu kapsamda sanayide enerji verimliliği ve son zamanlarda ise binalarda enerji verimliliği çalışmaları hız kazanmıştır. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda 02.05.2009 tarihinde yürürlüğe giren 5627 sayılı kanun ile tüm işletmelerin ve yeni yapıların enerji verimliliği ile ilgili, tanımları, kapsamı, tarafları, yükümlülükleri ve yaptırımları belirlenmiştir [2].

Alüminyum sektörü dünyada olduğu gibi Türkiye’de de hızla gelişmektedir. IAI’nın 2030 yılı için öngördüğü verilere göre alüminyum sektöründeki büyüme oranı % 7 olarak beklenmektedir [3]. Türkiye’nin ihracattaki en önemli sektörlerinden biri olan ekstrüzyon sektörü dünyada 7. sırada olmasıyla birlikte dünya ticaretinin %4’ünü oluşturmaktadır [3]. Alüminyum sektöründeki firmalar son yıllarda üretim prosesinde önemli bir maliyet olan enerjinin artmasından dolayı farklı alanlara yönelmeye başlamıştır. Bu kapsamda, özellikle enerji verimliliği konusunda çalışmalara odaklanılmıştır.



Şekil 1.1. Alüminyum üretim aşamalarında ürün maliyetine etki eden parametreler [4].

Şekil 1.1.'de görüldüğü üzere özellikle ülkemizin üretiminde kaynaklarının yetersiz olduğu birincil alüminyumda enerji faktörü ciddi bir maliyet oluşturmaktadır. Bu yüzden üretimlerdeki maliyetleri azaltmak adına enerji verimliliği kapsamında çalışmalar hız kazanmalıdır.

Bu çalışmanın amacı katma değeri yüksek olan Alüminyum ekstrüzyon sektöründe ülkemizde yer alan tüm işletmelerin enerjisi daha verimli kullanmaları, maliyet avantajı aracılığıyla dünyadaki rekabet güçlerini artırmaları ve enerji verimliliğinin artırılmasıdır.

Bu çalışmada, ikinci bölümde daha önce yalıtım özelinde yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, ülkemizde enerji verimliliği hakkında oluşturulan kanunlardan, stratejilerden ve çalışmalardan bahsedilmiştir. Bunu takiben ülkemizde enerji tüketimi ve sektörlere göre dağılımından bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde alüminyum sektörünün oluşumundan, ihracat ve ithalat rakamlarından bahsedilmiştir. Beşinci bölümde ekstrüzyonla alüminyum üretim tesislerinde kullanılan ekipmanlardan bahsedilmiştir. Altıncı bölümde yalıtım, yalıtım çeşitleri ve yalıtımda kullanılan malzemeler açıklanmıştır. Yedinci bölümde kullanılan yöntem ve bu yöntemde veri elde edilebilmesi için hangi programların kullanılması gerektiğinden bahsedilmiştir. Sekizinci bölümde kullanılan makinalarda ısı kayıplarının termal

kamera ile ölçülmesi, ölçülen sonuçlar hakkında yorumlar ve hesaplamalar yapılması izolasyon ve mekanik tamir önerilerinde bulunulması, ikinci ölçüm sonuçlarında kullanılan makinaların ısı kayıplarındaki azalmalar tespit edilerek enerji verimliliği kapsamında tasarrufları belirlenmiş ve kıyaslanmıştır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlardan ve sonuçların etkilerinden bahsedilmiştir.

## BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Enerji verimliliğini sağlamak amacıyla yapılabilecek oldukça fazla işlem mevcuttur. Bu işlemler arasında atık ısı kazanımı, daha verimli sistemlerin kullanımı ve yalıtım yapılması gibi örneklerden bahsedebiliriz. Aşağıdaki literatür taramasında konumuzun amacına uygun olarak yalıtım özelinde daha önce yapılmış olan çalışmalar ele alınmıştır. Bu çalışmalardaki kullanılan malzemeler, hangi yöntemle ısı kayıplarının tespit edildiği, sağlanan enerji verimlilikleri ve elde edilen kazancın ne kadar sürede geri döneceği hakkında açıklamalardan bahsedilmiştir.

Toygarlar, 2014 yılında yüksek lisans tezinde endüstriyel bir tesiste üç farklı makine için yalıtım çalışması yapmıştır.

İlk olarak soğutma hattı üzerinde yaptığı izolasyon çalışmasında elastomerik kauçuk kullanmıştır. Bu malzeme ile 10 m<sup>2</sup>'lik bir alan ve 27 m'lik bir boru yalıtımlı hale getirilmiştir. Yatırım maliyeti 1197 TL olan bu çalışmada yıllık 7668 TL'lik bir enerji tasarrufu elde edilmiştir. Bu çalışmadaki yapılan yatırım kendini yaklaşık 2 ay içinde amorti etmiştir [1].

İkinci olarak fırın duvarı izolasyonu çalışmasında fırın gövdesindeki ısı kaçakları termal kamera yöntemiyle tespit etmiştir. Tespit edilen fırın brülör duvarlarındaki ısı kayıplarını engellemek amacıyla cam yünü yalıtım malzemesi kullanmıştır. Yatırım maliyeti 292 TL olan bu çalışmada yıllık 4544 TL'lik bir enerji tasarrufu elde edilmiştir. Bu çalışmadaki yapılan yatırım kendini yaklaşık 1 ay içinde amorti etmiştir [1].

Üçüncü olarak ise sıcak su hattı yalıtımı çalışmasında ısı kaçakların kaynaklandığı yerleri tespit etmiştir. Bu çalışmada, 19 m<sup>2</sup> izolasyonsuz boru ve 3 adet eşanjör yalıtımı

yapılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak cam yünü ve vana ceketini kullanılmıştır. Yatırım maliyeti 3843 TL olan bu çalışmada yıllık 5679 TL'lik bir enerji tasarrufu elde edilmiştir. Bu çalışmadaki yapılan yatırım kendini yaklaşık 8,5 ay içinde amorti etmiştir [1].

Cabak, 2018 yılında yüksek lisans tezinde tekstil sektöründeki bir firmada enerji verimliliği çalışmaları gerçekleştirmiştir. Isıl kayıplarını termal kamera ile tespit ettiği dijital baskı makinesinde uyguladığı yalıtım işlemleri sonucunda 3750 TL'lik bir yatırımla yıllık 8479,8 TL'lik bir enerji tasarrufu elde etmiştir. Bu çalışmadaki yatırım geri dönüş süresi yaklaşık 5,5 aydır. Cabak, ikinci çalışmasında ise vana ceketini uygulaması gerçekleştirmiştir. Vana ceketini uygulamalarında genellikle cam yünü, taş yünü ve seramik yünü kullanıldığını belirtmiştir. Yalıtımsız vanalardaki ısı kayıpları termal kamera yöntemiyle tespit etmiştir. Yatırım maliyeti 63349 TL olan yalıtım çalışmaları sonrasında yıllık 66150 TL'lik bir enerji tasarrufu elde etmiştir. Yatırımın geri dönüş süresi yaklaşık 11,5 ay'dır [5].

Rüşen ve Topçu, 2016 yılında gıda sektöründeki bir firmada buhar kazanı yalıtımı ve buhar hattında bulunan vanaların yalıtımı üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında kazan yüzeyine yalıtım yapılması durumunda yıllık 2667 dolar ve vanalara yalıtım uygulanması durumunda ise yıllık 7035 dolar kazanç sağlanacağını belirtmişlerdir [6].

Yalçınkaya, 2016 yılında yüksek lisans tezinde tekstil sektöründeki bir firmada enerji verimliliği çalışmaları gerçekleştirmiştir. Yaptığı çalışmada boru, vana ve flanşlar üzerindeki ısı kayıpları termal kamera yöntemiyle tespit etmiştir. Elde ettiği sonuçlar ışığında izolasyonlu ve izolasyonsuz durum arasında %20'lik bir enerji tasarrufu potansiyelini hesaplamıştır. Aynı sistem için hazırladığı maliyet tablosundaki değerlerin, elde edilen kazanca oranından yaklaşık 3 yıl içinde yapılan yatırımın kendini amorti ettiğini belirlemiştir [7].

Ünlü, 2009 yılında Tekstil sektöründe bir firmada buhar dağıtım hatları ve vanalarına yalıtım işlemi uygulamıştır. Bu uygulamada buhar dağıtım hatları normal ve vanalar özel ceketlerle yalıtılmıştır. Sonuç olarak 106,3 TEP değerinde enerji tasarrufu edilmiş

olup, elde edilen bu tasarrufla birlikte, yapılan yatırım kendini 6 ay içinde amorti etmiştir [8].

Demir-çelik sektöründe faaliyetler gösteren İSDEMİR 2005 yılında yaptığı bir çalışmada kızgın su ve buhar hatlarındaki tam yalıtılmamış kısımlara yalıtım işlemi uygulamıştır. Bu çalışma sayesinde 20160 TEP değerinde enerji tasarrufu edilmiş olup, elde edilen bu tasarrufla birlikte, yapılan yatırım kendini 11 günde içinde amorti etmiştir [8].

Yapılan literatür araştırmasında farklı metal imalat sektörleri izolasyonun enerji tüketimine etkisini araştırıldığı görülmüştür. Ancak alüminyum imalatı ile ilgili herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle, böyle bir çalışma yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

## **BÖLÜM 3. TÜRKİYE’DE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE TÜKETİMİ**

Bu başlık altında enerji ve enerji verimliliği tanımlarından, ülkemizde oluşturulan kanunlardan, stratejilerden ve çalışmalardan, binalarda ve sanayideki enerji verimliliğinin öneminden bahsedilecektir.

### **3.1. Enerji**

Enerji “bazen iş yapabilme yeteneği olarak karşımıza çıkarken bazen sıvı yakıt doğalgaz ve kömür gibi yakıt şekilleriyle bunlardan elde edilen ısı ve elektrik olarak veya konforlu ve rahat bir geçim sağlamak için gerekli olan para” olarak ifade edilmiştir [9].

Enerji, sistemlerin çalışması için ne kadar gerekli ise ileri teknolojileri gelişimi günlük ihtiyaçlarımız ve sanayide talep edilen üretimin sağlanması için de bir o kadar gereklidir [1]. Birçok çeşidiyle kullandığımız enerji güvenilir, kesintisiz ve düşük maliyetli olmalıdır [10].

Ülkelerin birbirleriyle olan rekabetlerinde sanayilerini ayakta tutabilmek ve gelişimindeki sürekliliği sağlamaları için ciddi bir maliyet unsuru olan enerjiyi etkin kullanma konusunda dikkatli ve hassas davranmaları gerekmektedir. Bu açıdan ülkelerin birbirlerinin gerisinde kalmaması için dikkat edilmesini hususlardan biri enerji tüketimi ve üretimidir [11].

### **3.2. Enerji Verimliliği**

Enerji verimliliği, ürünlerin kalitelerinden ödün vermeden, makina, sistem ve yapılardaki enerji kayıplarını önlemek, her türlü atığın geri kazanımı, her geçen gün



azalan kaynakların daha verimli kullanılması gibi enerji geri kazanımlarının bütünüdür [12].

Enerji verimliliğinin temel amacı; “kullanılması gereken limitler kapsamında mümkün olan en az enerji ihtiyacıdır. Bu bağlamda enerji verimliliği, tasarruf edilen enerji ile bu tasarrufa etken olan gerekli harcamalar arasında bir denge ölçütüdür.” [9]. Bu açıdan, “enerji verimliliğini etkileyen olumsuzlukların ortadan kaldırılarak, enerji verimliliğinde davranışın geliştirilmesi, geliştirme ve iyileştirme yöntemlerinin kullanılması, ileri teknolojileri de kullanarak enerjinin etkin kullanılması” gerekmektedir [9].

Nüfusun artışı, sanayinin ve yeni teknolojilerin gelişmesi, enerjiye olan talebin artması, enerji kaynaklarının zamanla tükenecek olması ve bu tüenecek kaynakların fiyatlarının zaman içinde dalgalanması enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Enerji verimliliği uygulamaları ile birlikte fosil yakıtlara olan ihtiyaç azaltılabilir, bu sayede gelecekte tüenecek olan enerji kaynakları koruma altına alınabilir, yeni teknolojilerin üretimi ve gelişmesindeki maliyetler azaltılabilir, dışa bağımlı kalmadan ülkelerin refah seviyeleri artabilir [5].

### **3.3. Türkiye’de Enerji Verimliliği**

Ülkemiz enerjiyi verimli kullanamamakla birlikte diğer ülkelere göre de enerji verimliliği düşüktür. Ortaya çıkan yeni teknolojileri eski sistemlere uyarlayarak enerji verimliliği sağlanabilir [13]. Enerji verimliliği çalışmaları ile birlikte üretimdeki en önemli unsurlardan biri olan enerji maliyetleri azalacak ve ülkemiz ekonomisine katkı sağlayarak sektöre göre rekabet gücünü artıracaktır [14].

Ülkemizde ilk enerji verimliliği çalışmalarına yönelik olarak iki yönetmelik 19.9.1972 tarihli ve 3.11.1972 tarihli Resmi Gazete’lerde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nca yayınlanmıştır. Bu yönetmeliklerde bağlayıcı ve katı kurallar olmadığından dolayı verimlilik elde edilememiştir [2].

Ülkemiz 24 Mayıs 2004 tarihinde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine ve 2009 yılında Kyoto Protokolü'ne taraf olmuştur. Ülkemiz bu iki küresel düzenlemeye taraf olarak enerji verimliliği konularında stratejisini belirlemiştir.

Ülkemizde enerji verimliliği ile ilgili ifadeler 7. ve 8. Beş Yıllık Kalkınma Planları'nda yer almıştır. 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda, “Yurtiçi enerji kaynaklarının miktar ve kalite olarak yetersiz ve yüksek maliyetli olması, ithal enerji kaynakları için gerekli döviz ihtiyacı, aşırı enerji kullanımının çevre sorunu yaratması gibi nedenlerden dolayı, sanayide ve toplumsal yaşamın her kesiminde enerji yoğunluk değerlerinin aşağıya çekilmesi, verimliliğin artırılması ve tasarruf programlarının hayata geçirilmesi sağlanacaktır.” denilmektedir [15].

8. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda ise “Günümüzde, kişi başına enerji tüketimi bir gelişmişlik göstergesi olmaktan çıkmıştır. Amaç, kişi başına enerji tüketimini artırmak değil, bir birim enerji tüketimi ile en fazla üretimi ve refahı yaratmak” denilmektedir. 7. Ve 8. Beş Yıllık Kalkınma Planında enerji verimliliğinin artırılması konusunda çeşitli çalışmalar yapılması amaçlanmıştır [15].



Şekil 3.1. Enerji verimliliği ile ilgili yapılan kanunlar ve planlar [16].

Şekil 3.1.'de gösterilen gelişmelerde 2007 yılında çıkan 5627 numaralı Enerji Verimliliği Kanunu ile enerji verimliliği konusunda önemli bir sürece girilmiştir. 5627 numaralı kanunun amacı enerji kaynaklarının korunması ve enerji verimliliğinin artırılması olarak belirlenmiştir [17]. Bu kanunda önemli özelliklerinden biri de bağlayıcı kurallar bulunmakla birlikte uygulamayanlara cezai işlem verilmesi durumu söz konusudur.

2010 ve 2023 yıllarını kapsayan strateji belgeleri olarak Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi ve Enerji Verimliliği Strateji Belgesi belirlenmiştir. Bu belgelerde özet olarak enerji verimliliğinin yaygınlaşması ve Türkiye'nin enerji verimliliği hedeflerine ulaşması için yapılması gereken çalışmalar belirlenmiştir [18].

Belirtilen kanunlar, planlar ve stratejik durumlar arasında ülkemizin 2014 ve 2018 yılları arasındaki 10. Kalkınma Planı'nda enerji verimliliğinin geliştirilmesi programı başlığı ön plana çıkmıştır.

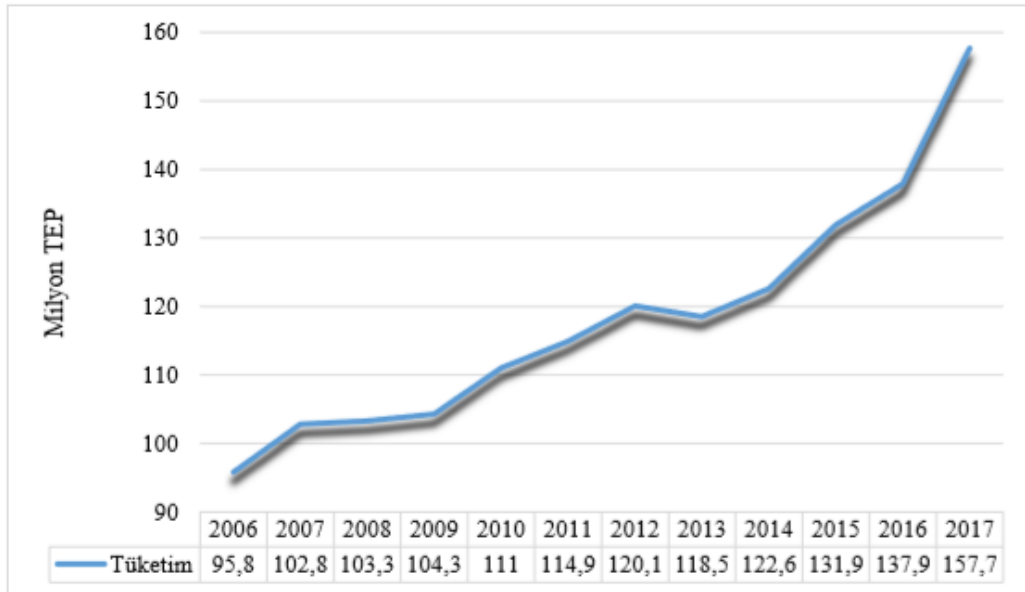
Ülkemizin 2015-2019 yıllarını kapsayan Stratejik Belgesinde yer alan Enerji Verimliliği ve Enerji Tasarrufu başlıklarında enerjisini verimli kullanan bir Türkiye enerji verimliliğine ve tasarrufuna yönelik gelişmiş kapasite olarak belirlenen amaçlar enerji verimliliği ve enerji tasarrufu konularında atılmış bir diğer önemli adım olarak görülmektedir.

Ülkemizde enerji verimliliği konusundaki en son yayınlanan strateji belgesi 2017 ve 2023 yıllarını kapsayan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'dır. Bu eylem planına göre 2023 yılına kadar 23,9 milyon MTEP enerji tasarrufu sağlanması beklenmekte ve bu tasarrufla birlikte birincil enerji tüketiminde %14 oranında bir azalma öngörülmektedir. 2033 yılına kadar enerji tasarruf miktarının 30,2 milyar dolara ulaşması beklenmektedir [19].

### 3.4. Türkiye’de Enerji Tüketimi

Ülkemizde 2016 yılında 278,4 milyar kWh’lık elektrik tüketimi gerçekleşmiştir [20]. Elektrik tüketimi 2017 yılı Temmuz ayında 2016 yılının Temmuz ayına göre %4,7 artmıştır [21].

Ülkemizin artan nüfusu ve gelişen sanayisiyle birlikte enerji tüketimi Şekil 3.2.’de görüldüğü gibi her geçen yıl artmaktadır. Ülkemizin küresel rekabette yer alabilmesi için üretim maliyetlerinde ciddi bir maliyet olan enerjinin tüketimine dikkat etmesi ve son zamanlarda uygulamış olduğu enerji programlarını daha etkin bir şekilde sürdürmesi gerekmektedir. Enerji tüketimindeki artış son yıllarda daha çok belirgin hale gelmiştir. 2017 yılında enerji tüketimindeki yaklaşık %14’lük artış grafikteki tüm yıllardaki artıştan oldukça fazla olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3.2. Yıllar itibari ile Türkiye birincil enerji tüketimi [6].

Türkiye gelişmekte olan bir ülkedir. Gelişen ülkelerin de buna paralellik göstererek enerji tüketimleri de artmaktadır. Yıllık olarak enerji tüketimi yaklaşık %4-5, oranında artmakta ve bu oran yaklaşık olarak dünya ortalamasının iki katıdır [22].

Son yıllarda ülkemizde enerji verimliliği kavramı, çeşitli sempozyumlar, paneller konferanslar ve projeler ile desteklenmiş, bazı kanun ve politik düzenlemelerinin içine dahil edilmiştir [23]. Örnek vermek gerekirse gelişmekte olan ülkemizde kaynakların sınırlı olması, artan nüfus ve sanayiyle birlikte enerji talebinin hızla büyümesi, enerji verimliliği çalışmalarındaki önemi ciddi bir şekilde göstermektedir [24].

Tablo 3.1. Enerjinin endüstriyel tüketim miktarları [5].

Endüstri	Endüstriyel Tüketim Miktarı (%)	Toplam Maliyette Enerji Oranı (%)
Demir Çelik	34,9	11,5-48
Demir Olmayan Metaller	2,3	6,2-47,5
Seramik	4,5	32,5
Çimento	19,7	55
Cam	1,7	22-42
Kağıt ve Selüloz	3,4	9-30
Tekstil	5,9	8-10
Petrokimya	4,6	28,5
Ana Kimyasallar	2,2	24
Suni Gübre	5,2	40
Petrol Rafineleri	2,9	4
Boya	0,05	1,6
İlaç	0,12	1,5
Sabun, Temizlik	0,3	2,1
LPG	0,24	1
Diğerleri	4	-
Orman Ürünleri	0,52	6
Metal Mobilyalar	0,3	4
Un Sanayi	0,06	4
Çay	0,52	3,5
Şeker	2,99	8,5
Yağ	0,99	3,7-6
Sebze ve Meyve	0,47	6,44
Endüstrisi		
Tütün Sanayi	0,77	0,7-6
Toplam	100	

Tablo 3.1.'de görüldüğü gibi alüminyum üretim sistemlerinin de içinde bulunduğu Demir olmayan metaller grubunun toplam maliyetteki oranı oldukça yüksektir. Bu sektörlerde uygulanacak enerji verimliliği ile birlikte birim maliyetlerde büyük düşüşler yaşanabilir. Bu sayede ülkemizin alüminyum sektöründeki rekabet gücü daha da üst seviyelere taşınacaktır.

### **3.5. Binalarda Enerji Verimliliği**

Binaların enerji verimliliği ile ilgili en önemli yasal düzenleme, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğidir [25]. Bu yönetmelikte bir binanın enerji verimliliği ile ilgili olarak tüm çalışmalara yer verilmiştir. Örnek olarak, enerji hesaplarının belirlenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının yapılara entegre edilmesi, çevreye duyarlı yapılar ve ısıtma-soğutma sistemlerinin kontrolü gibi uygulama esasları belirlenmiştir. Çalışmalarla binalardaki enerjinin verimli hale getirilmesi ile birlikte daha sonradan yapılacak binalar ve yapılar için bu durum bir ışık olacaktır. Bu sayede binalardaki enerji verimliliği daha yapılar yapılmadan önce sağlanmış olacak, ekstra maliyetlerden kaçılmış olacaktır.

Ülkemizde 2010 yılında tüketilen birincil enerjinin %26,4'ünü konutlar ve hizmetler oluşturmaktadır [26]. Binalarda enerjinin çoğu ısınma amaçlı kullanılmakta ve ülkemiz nüfusun %43,3'ünün oturduğu yapılarda ve binalarda ısı yalıtım sorunları mevcuttur. Isı yalıtımı sağlanması halinde ciddi bir enerji verimliliği ortaya çıkacaktır [26].

Konut sektöründe %30 enerji tasarruf potansiyeli olduğu tespit edilmiştir [27]. 2011 yılı Ocak ayı itibarıyla binalarda Enerji Kimlik Belgesi uygulaması başladı. 2020 yılı için yapılan enerji verimliliği çalışmalarında 222 MTEP'lik enerji ihtiyacının yaklaşık 33,3 MTEP'lik değerini azaltabilecek bir potansiyel olduğu görülmüştür [28].

2017 – 2023 yılları arasını kapsayan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı verilerine göre, artan nüfus ve gelişen teknolojiler nedeniyle bina sektörünün nihai enerji tüketimi son 15 yılda %66 oranında artış göstermiştir [29]. Nüfusun artması, gelişen

inşaat sektörü ve gelişen teknolojinin evlerde çokça kullanımı ile birlikte enerji tüketiminin önümüzdeki yıllarda da artış göstermesi beklenmektedir [23].

### **3.6. Sanayide Enerji Verimliliği**

Türkiye’de sanayide enerji verimliliği çalışmaları, belirli bir süre Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi üzerinden yürütülmüştür [22]. Bu birimin kapanmasının ardından enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’ne aktarılmıştır. Günümüzde hala teşvik ve destekleri bulunan YEGM, sanayide enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik birçok çalışma yürütmektedir.

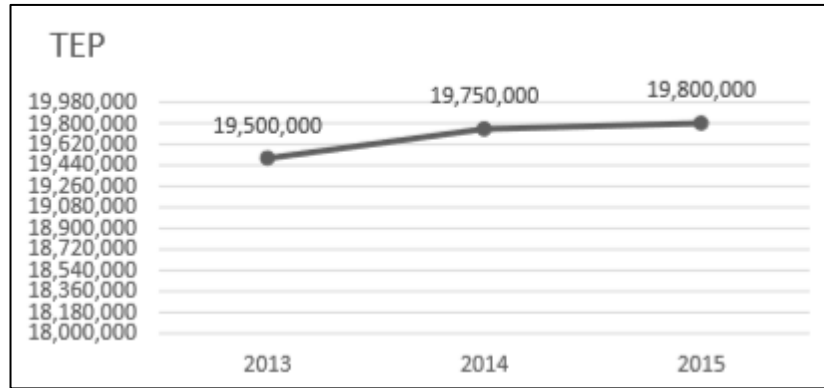
11 Kasım 1995 tarihinde “Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketiminde Verimliliğinin Artırılması Hakkında Yönetmelik” yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikte birlikte sanayide yıllık 2000 TEP üzerinde enerji tüketimi olan yaklaşık 600 fabrika enerji tüketimlerinin azaltılması konusunda belirli çalışmalar yapmak zorundadır [24].

Sanayi işletmelerinde enerji verimliliği uygulanması ciddi bir maliyet ve oluşum gerektirmektedir. Bu konuda sanayideki işletmelerdeki ve fabrikalardaki enerji verimliliği kapsamında çalışma yapmak istemeleri ve belirli şartları sağlamaları durumunda devlet tarafından destekler verilmektedir. Önemli bir enerji tasarrufu bulunan sanayi sektöründe devlet firmaları teşvik etmektedir. Bu teşvikler ve desteklerle birlikte hem ülkemiz hem de enerji verimliliği sistemini adapte olacak sanayi kuruluşu bu işlemde kazançlı olarak çıkacaktır. Ülkemizde ekonomik olarak rahatlama sağlayacak ve firma içinse rekabet gücünü artıracak bir çalışma olacaktır.

ETKB tarafından Talep Tarafı Yönetimi Senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryoya göre 2020 yılı itibarı ile elektrik tüketiminin yapılarda ve binalarda 20 TWh, sanayide 34 TWh azaltılabileceği hesaplanmıştır [30]. Bu değerler ışığında konut ve sanayi sektörünün enerji tasarruf değerleri diğer sektörlerle göre fazlalık göstermektedir. Bu nedenle çalışmalar konut ve sanayi sektörüne yoğunlaşmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda ülkemizdeki 529 sanayi tesisinin büyük bir çoğunluğunda %10 - 44 arasında değişen oranlarda bir enerji kaybı söz konusudur. Geriye kalan tesislerde ise enerji kaybı oranı %10'un altındadır [31]. Bu oranlar incelendiğinde sanayimizde kullanılan birincil enerjinin büyük bir oranı kayıplara gitmektedir. Bu orana denk gelen enerji kaybı ise ürünlerin maliyetleri artırmakta ve firmaların rekabet gücünü azaltmaktadır.

2016 yılında GSYH'daki imalat sektörü %16,6 payıyla birlikte ikinci yüksek paya sahiptir [32]. Bu durumda gösteriyor ki sanayi sektörü ülkemizin lokomotif görevini üstlenen sektörlerden biridir. UEVEP' e göre 2015 yılında yapılan çalışmada sektörlere göre dağılımda sanayi sektörünün enerji tüketimindeki payı %32,4 ve elektrik tüketimindeki payı ise %47,6'dır [29]. Bu da Türkiye'de sanayi sektörünün Türkiye'nin enerji tüketiminde önemli yer tutan bir sektör olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 3.3. Yıllara göre üretim sanayi enerji tüketimleri [23].

Şekil 3.3'te de görülebileceği üzere imalat sanayisindeki enerji tüketimi yıllara artış göstermektedir. Bu artan enerji tüketimi ile birlikte neden sanayide enerji verimliliği çalışmalarına önem veriliyor sorusunun cevabı olarak gösterilebilir.



## BÖLÜM 4. ALÜMİNYUM SEKTÖRÜ

Ülkemiz 1950 yılında alüminyum sektörüne giriş yapmıştır. İlk zamanlarda oldukça az bir miktarda alüminyum işleniyordu. Kullanım alanlarının artması ile birlikte alüminyuma olan ihtiyaç günden güne artış göstermekteydi [33]. Gün geçtikçe artan alüminyum ihtiyacı nedeniyle ve kısıtlı alüminyum rezervlerinden dolayı firmalar ithalata yöneliyordu. Yerli firmaların dünya rekabetine girebilmeleri ve ithalat miktarlarının düşürülmesi amacıyla boksit rezervi araştırmalarına başlanmıştır. Bunun sonucunda Maden Tetkik Arama tarafından Seydişehir'in Mortaş Doğankuzu mevkiilerinde işletilebilir boksit rezervleri tespit edildi. 1974 yılında Etibank Seydişehir Alüminyum Tesisleri birincil alüminyumun işlenmesi ve üretilmesi amacıyla kurulmuştur [33].

Seydişehir Alüminyum Tesislerinin birincil alüminyum üretiminde tek kuruluş olması artan talepler ve kapasiteye yetişememesinden dolayı 1985 yılında ithalat yapılmaya başlanmıştır. Gelişen alüminyum sektörünün sonucu olarak dernekler kurulmaya başlanmıştır. Bu derneklerden biri olan Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği 1992'de Avrupa Alüminyum Birliği'ne üye oldu [34].

Türkiye 87 milyon ton boksit rezervine sahiptir. Bu oran ise dünya rezervlerinin sadece %0,4'ünü oluşturmaktadır. Üretilebilecek toplam birincil alüminyum miktarı 87 milyon ton boksit rezervinin üçte biri kadardır [35]. Bu nedenle yerli üretim için alüminyum yetersiz kalmakta ve ülkemizin ithalatını artırmaktadır. Bu yüzden ithal ettiğimiz alüminyum madenini katma değerli işlerde kullanmamız gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4.1. Alüminyum ithal edilen ülkeler ve payları [36].

Alüminyum Sektörü İthalatı Ükelere Göre (USD)				
Ülkeler	2015	2016	Değişim (%)	Pay (%)
Rusya	868411,713	584689,379	-32,7	20,4

Tablo 4.1. (Devamı)

Malezya	61690,957	202148,680	227,7	7,1
Almanya	237428,485	199130,933	-16,1	7,0
Çin	156228,525	133677,242	-14,4	4,7
BAE	182786,500	130014,574	-28,9	4,6
Katar	193235,325	125688,605	-35,0	4,4
Tacikistan	162001,340	116814,304	-27,9	4,1
Hindistan	139647,591	99015,014	-29,1	3,5
Güney Afrika	99802,450	98875,321	-0,9	3,5
İtalya	78001,488	80564,718	3,3	2,8
Diğer	1154298,058	1087039,303	-5,8	38,0
Toplam	3333532,432	2865840,092	-14,3	

Tablo 4.1.'de görüldüğü gibi ülkemizin alüminyum ithalatı 2016 yılında bir önceki yıla göre %14 azalışla 2,9 milyar dolar olurken, bu rakamla Türkiye dünya toplam ithalatından %2 pay alırken, dünya toplam ithalatındaki sıralaması 18 olmuştur.

Tablo 4.2.'de görüldüğü gibi 2016 yılında alüminyum en çok ihraç ettiğimiz ülkelerin başında Almanya, İtalya, İngiltere ve Fransa gelmektedir. 2016 yılında Almanya listede ikinci sırada bulunan İngiltere'ye göre yaklaşık üç kat ihracat payına sahip olmuştur. 2016 yılındaki ihracatıyla birlikte İngiltere bu senenin %13,9 artışla en büyük artışın yakalamıştır. Payı yüksek olan diğer ülkelerdeki durum ise 2015 yılına göre %23,6 azalma göstermiştir. Ülkelere ihraç edilen alüminyumun 2016 yılı genel toplamında %5,8'lik bir azalma meydana geldiği görülmüştür.

Tablo 4.2. Alüminyum ihraç edilen ülkeler ve payları [36].

Alüminyum Sektörü İhracatı Ülkelere Göre (USD)				
Ülkeler	2015	2016	Değişim (%)	Pay (%)
Almanya	387927,383	380451,637	-1,90%	17,18%
Birleşik Krallık	116154,012	132275,981	13,90%	5,97%
İtalya	123392,290	113822,679	-7,80%	5,14%
Fransa	108383,255	110572,135	2,00%	4,99%
Irak	122478,784	100767,813	-17,70%	4,55%
Polonya	86717,392	88290,471	1,80%	3,99%

Tablo 4.2. (Devamı)

İspanya	80603,078	69727,849	-13,50%	3,15%
İsviçre	65360,530	66159,230	1,20%	2,99%
Türkmenistan	77485,567	63660,606	-17,80%	2,88%
Hollanda	55502,477	56281,351	1,40%	2,54%
Diğer	1120598,202	1032177,147	-23,60%	46,62%
Toplam	2344598,721	2214186,898	-5,80%	

Tablo 4.3.'te görüldüğü gibi dünyada en çok alüminyum ithal eden ülkeler arasında Almanya, ABD ve Hollanda yer almaktadır. Özellikle listenin ilk iki sırasındaki ülkelerin ithalattan aldıkları pay diğer ülkelere göre oldukça fazladır. Bir önceki seneye göre özellikle ABD ve Vietnamın bu konudaki paylarının artışı dikkat çekmektedir. Türkiye 2014 yılında dünya alüminyum hammadde ithalatının % 4,4'ü seviyesinde, 2,5 milyar dolar değerinde 1,09 milyon ton alüminyum ithalatı ile 7. sırada yer almıştır.

Tablo 4.3. En çok alüminyum ithal eden ülkeler ve payları [36].

Dünya Alüminyum İthalatında İlk 10 Ülke (USD Bin)	2014	2015	2016	Toplam İthalattan Alınan Pay (%)
ABD	17114460	17868410	18740342	11,9%
Almanya	18210897	16834704	16737777	10,6%
Hollanda	8765569	7585552	7280114	4,6%
Japonya	8844401	7964572	6922992	4,4%
Fransa	7143837	6468279	6265182	4,0%
Çin	8039030	6929554	5946234	3,8%
Vietnam	1693916	2571530	5898972	3,8%
Güney Kore	6229697	5992145	5421818	3,4%
İtalya	6106084	5643246	5325613	3,4%
Meksika	5294712	5481743	5265643	3,3%
Toplam	172395633	162981343	157200181	

Tablo 4.4.'te görüldüğü gibi dünya alüminyum ihracatındaki başlıca ülkeler Çin Almanya ve ABD'dir. Alüminyum ihracatında son yıllarda azalma meydana gelmektedir. Ülkemiz dünya alüminyum satışındaki %1,5 payı ile 21. sırada yer almaktadır. Türkiye toplam alüminyum ithalatında dünyada %2 pay ile 15. sırada yer almaktadır.

Tablo 4.4. En çok Alüminyum ihraç eden ülkeler ve payları [36].

Dünya Alüminyum İhracatında İlk 10 Ülke (USD Bin)	2014	2015	2016	Toplam İthalattan Alınan Pay (%)
Çin	22615470	23808388	21208479	13,4%
Almanya	16965740	15562181	15331800	9,7%
ABD	12736128	12047474	12240318	7,7%
Kanada	8851104	8220300	8079492	5,1%
Hollanda	8383227	7135085	7179405	4,5%
Rusya	6325357	7060108	5980102	3,8%
İtalya	6545213	5788957	5775526	3,6%
BAE	4393954	5290379	5372458	3,4%
Fransa	5433370	4857735	4859589	3,1%
Avusturya	4148033	3935899	3748739	2,4%
Toplam	176005280	165502392	158778808	

Birincil alüminyum üretimi az olan ülkeler dışarıdan ithal ettiği alüminyumu katma değerli bir şekilde ürün haline getirmelidir. Ülkemiz alüminyum hammadde ihtiyacının %95'ini ithal ederken, ithal ettiği hammaddeyi katma değerli bir şekilde ürün haline getirmesi sayesinde ara-mamül ve son-mamül seviyelerinde dünyada ihracatta önemli bir konuma gelmiştir. Giriş bölümünde de bahsedildiği gibi ülkemiz ekstrüzyon sektöründe dünya ticaretinin %4'ünü gerçekleştirirken bu sayede dünyada 7. sıradadır. Yassı mamülde dünya ticaretinin %2,2'si ile dünyada 11. sırada alüminyum folyo ihracatında da %2,5 pay ile 7. sırada yer almaktadır [4].

TALSAD'daki verilere göre Türkiye'deki alüminyum üretiminde ekstrüzyon %27 yassı ürünler %20, ikincil alüminyum %9, iletken %8, folyo %7 ve birincil alüminyumun %3 oranında pay aldığı görülmektedir [36].

Tablo 4.5.'te verilen değerlere göre ISO-1000 listesindeki 12 firmanın ekstrüzyon sektöründeki üretimlerdeki payı %78'dir. Ekstrüzyon firmalarının büyüklüklerinin artması ile birlikte kapasite kullanım oranları da artmaktadır.

Tablo 4.5. Alüminyum üretim sektörleri ve bu sektördeki firmaların üretimdeki payları [4].

Sektör	İSO-1000 Firma Sayısı	Üretimden Satışlar (MilyonTL)	Sektörde Toplam Firma Sayısı	Toplam Sektörel Büyükük (MilyonTL)	Payı
Ekstrüzyon	12	2,894	78	3,705	78%
Döküm	9	2,868	195	3,108	92%
Yassı ve Folyo	2	1,842	57	3,477	53%
İletken	4	922	7	1,150	80%
Son Mamül	6	985	1100	5,448	12%
İkincil	4	672	125	2,019	36%
Birincil	1	262	1	262	100%
Toplam	38	10,445	1563	19,169	54%

ISO-1000 listesinde bulunan 9 firmanın döküm sektöründeki üretimlerdeki payı %92'dir. Döküm sektöründeki firma sayısı yaklaşık 195'tir. Sektörde en fazla firma sayısı yaklaşık 1100 firma ile son-mamul üreten firmalardır. Birincil alüminyum üretiminde sadece bir tane firmamız bulunmaktadır. Son rakamlar itibarıyla alüminyum üretim sektöründe yaklaşık olarak 1563 firma bulunmaktadır.

Birincil alüminyum üretimlerindeki ülkemizin yaşadığı kısıtlardan dolayı bu konuda rekabet edilebilecek düzeye çıkılması oldukça zor olmaktadır. Ancak daha önce belirtildiği gibi ülkemiz özellikle ekstrüzyon ve yassı mamul üretimlerinde önemli bir düzeye sahiptir. En çok ihracat yaptığımız ve katma değerli ürünler üretilen alanlar bu şekildedir. Diğer sektörlerde de bu düzeyi sağlamamız durumunda ülkemizin ihracat oranı artacak ve ekonomik olarak katkı sağlayacaktır.

## **BÖLÜM 5. ALÜMİNYUM ÜRETİMİ VE ÜRETİMDE KULLANILAN EKİPMANLAR**

Alüminyum ekstrüzyonla üretimde alüminyuma tasarlanmış olan ve pres üzerinde bulunan bir kalıp içinde şekillendirilmiş bir kesit boyunca akış için zorlanması ile malzemeye şekil verilmesinin tanımıdır [37].

Alüminyumun genel olarak avantajları hafifliği, yüksek mukavemet değerleri, bazı alaşımlarındaki yüksek korozyon dirençleri, ısıyı iyi iletmesi, işlenebilirliğinin kolay olması, esnekliği ve yüksek elektrik iletkenliğine sahiptir. Bu sebeplerden dolayı alüminyumun ekstrüzyonu ile üretilmiş parçalar bir çok sektörde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Alüminyum ekstrüzyon prosesinin avantajlarıysa, yüzey kalitesi zorlu parçaların kolayca üretilmesi, ürünlerin daha hassas toleranslarda üretilmesi kalıp tasarımlarından sonraki süreçlerin hızlı ve çoklu metrajlarda üretilmesi ile birlikte üretim maliyetlerinin uygun olması olarak sıralanabilir [38].

Alüminyum ekstrüzyonla üretim sistemlerinde üretilecek parçaların kesitlerine göre seçilmekle birlikte çeşitli tonajlarda presler, alüminyumun akışını kolaylaştırması amacıyla ön ısıtmayı gerçekleştiren Biyet tav fırınları, alüminyumun akışı kolaylaştıracak şekilde kalıplara da bir ön ısıtma gerekmektedir. Bu ön ısıtmayı sağlayan makine ise kalıp tav fırınlarıdır. Ürünler ekstrüzyon preslerinden çıktıktan sonra bir kesici yardımıyla kesilmektedir. Daha sonra mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesi ve malzemenin homojen bir yapıya ulaşması için termik fırınlar kullanılmaktadır. Yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi ve estetik olarak görüntü katmak amacıyla alüminyum profiller, boyama ve eloksal kaplama işlemlerine tabi tutulabilirler. Statik toz boya sistemleri ve eloksal sistemleri de alüminyum ekstrüzyon üretim sistemlerinde kullanılan makineler olarak adlandırılabilir.

### 5.1. Termik ve Homojenizasyon Fırınları

Şekil 5.1.'de bir örneği bulunan termik fırınlar alüminyum profillerin mekanik özelliklerinin artırılmasında (yaşlandırma) kullanılmaktadır. Termik fırınların ortalama çalışma sıcaklığı 180°C'dir. Bu sistemlerde sisteme verilen ısı doğalgazdan elde edilmektedir.



Şekil 5.1. Termik fırın [39].

Homojenizasyon fırınları ise döküm sonrasında biyetlerin mekanik özelliklerinin artırılması ve yapının daha homojen hale gelerek ekstrüzyon için uygun hale getirilmesi için kullanılmaktadır. Çalışma sıcaklığı 500°C'dir. Bu iki sistemde de ısı doğalgazdan elde edilmektedir. Şekil 5.2.'de homojenizasyon fırınına ait bir görsel bulunmaktadır.



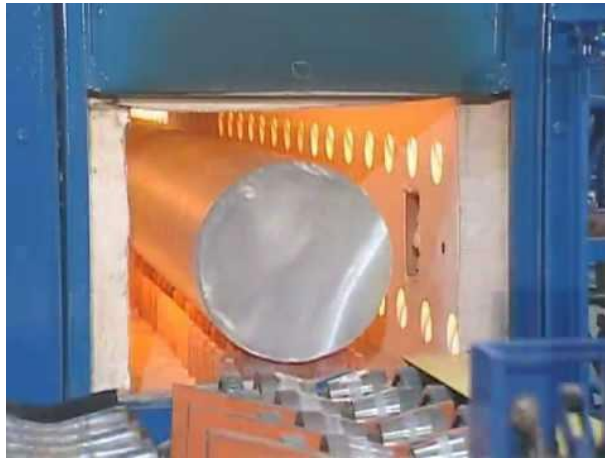
Şekil 5.2. Homojenizasyon fırını [40].

## 5.2. Biyet Tav Fırınları

Ekstrüzyon preslerinden hammadde olarak kullanılan çeşitli boyutlarda, presin tonajına ve ölçülerine göre kullanılan biyetlerin şekillendirilme sıcaklığına çıkartmak için kullanılan fırınlara biyet tav fırını denmektedir. Biyet tav fırınları alaşıma göre 350-500°C arasında sıcaklıklarda çalışmaktadır. Biyet tav fırınlarında hammaddeyi şekillendirmek sıcaklığına ulaştırmak için verilen ısı doğalgazdan elde edilmektedir. Genel olarak kullanılan kutu tipi ve tünel tipi biyet fırınları mevcuttur. Tünel tipi ve kutu tipi biyet tav fırınları sırasıyla Şekil 5.3. ve Şekil 5.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Tünel tipi biyet tav fırını.

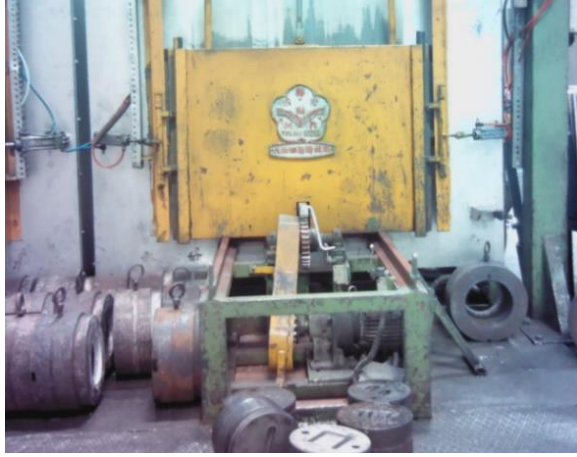


Şekil 5.4. Kutu tipi biyet tav fırını [41].



### 5.3. Kalıp Tav Fırınları

Alüminyum ekstrüzyon işleminde temel şekillendirici olarak elde edilecek profilin şekline uygun olarak tasarlanan solid ve zıvanalı olarak adlandırılan kalıpları alüminyum alaşımlarına göre değişmekle birlikte şekillendirme sıcaklığına çıkaran fırınlara verilen genel addır. Çalışma sıcaklıkları 400-500°C'lere çıkabilmektedir. Kalıp fırınlarının kalıpları istenilen sıcaklıklara çıkartması için kullanılan ısı %95 oranla elektrik enerjisinden elde edilmektedir. Kalıp tav çeşitleri olarak sırasıyla Şekil 5.5. ve Şekil 5.6.'da örnekleri verilmiş olan önden ve üstten kapaklı kalıp tav fırınları bulunmaktadır.



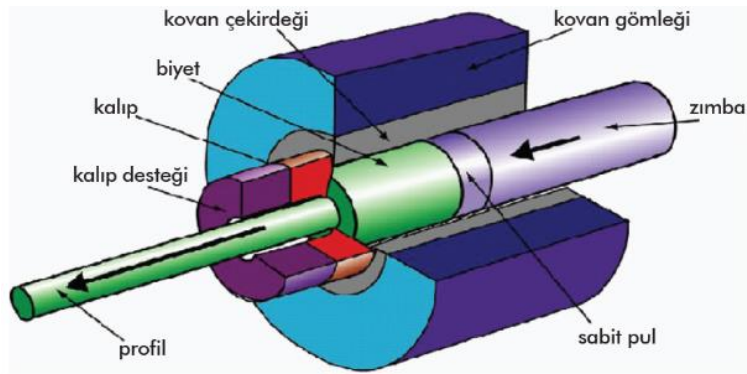
Şekil 5.5. Önden kapaklı kalıp tav fırını.



Şekil 5.6. Üstten kapaklı kalıp tav fırını [42].

#### 5.4. Presler

Alüminyum ekstrüzyon sistemlerinde, Şekil 5.7.'de görüldüğü gibi daha önceden ekstrüzyon sıcaklığına getirilmiş olan Biyete zımba denilen elemanıyla baskı uygulayarak ana şekillendirici olan kalıp içinde malzemenin akmasını ve şekil değiştirmesini sağlayan makinelere verilen addır. Çeşitli tonajlarda bulunan bu presler üretilecek parçanın kesidini ve en/boy oranına göre belirlenmektedir. Genellikle hidrolik sistemle çalışmaktadırlar. Şekil 5.8.'de makinanın ana görseli bulunmaktadır.



Şekil 5.7. Ekstrüzyon pres şematik gösterimi [43].



Şekil 5.8. Ekstrüzyon pres.

#### 5.5. Statik Toz Boya Sistemleri

Alüminyum profillerin yüzeylerinin reçineyle kaplanması ile; pigment ve diğer malzemelerden oluşan toz partiküllerin elektriksel olarak yüklenerek profil yüzeyine

yapışması sağlanmaktadır [3]. Parçada estetik bir görüntü oluşturması amacıyla yapılan bu işlem yüzeylerin çeşitli kimyasallar ile temizlenmesi ve bu işlemden sonra fırınlanması olarak iki adımda gerçekleştirilir. Yüzeylerin kimyasalla temizleme işleminden sonra nemin parça üzerinden alınması için kurutma fırınları, boyanın kürlenmesi ve yapışmasını sağlamak amacıyla ise kürlenme fırınları kullanılmaktadır. Kurutma fırınları yaklaşık 100°C çalışma sıcaklıklarına sahipken, kürlenme fırınları 140-220°C arası sıcaklıklarda çalışmaktadır.

### 5.6. Eloksal Sistemi

Alüminyuma özel bir kaplama çeşididir. Statik toz boya uygulamaları gibi yüzey özelliklerinin iyileştirilmesinde ve estetik bir görünüm katması amacıyla kullanılmaktadır. Alüminyumun bir çeşit oksitlenme olayı ile eloksal kaplama oluşmaktadır. Eloksal sisteminin bileşenleri olarak buhar kazanı, buhar taşıma boruları, havuzlar ve yüzey kurutma fırınları bulunmaktadır. Eloksal sisteminin bileşenlerinden olan Şekil 5.9.'da gösterilen eloksal havuzlarında alüminyum profiller veya parçalarda kaplama işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 5.9. Eloksal havuzu [44].

### 5.7. Ergitme ve Bekletme Ocakları

Hurda olarak ayrılan alüminyumların eritilerek geri kazanımı için Şekil 5.10.'da gösterilen ergitme ocakları kullanılmaktadır. Şekil 5.11.'de gösterilen bekletme ocakları ise sıvı alüminyumun dökümünün uzun vakitler alacağı işlemlerde alüminyumun sıcaklığının hedef sıcaklığın altına düşmemesi için kullanılan ocaklardır. Ocaklarda ısı kaynağı olarak doğalgaz kullanılmaktadır.



Şekil 5.10. Ergitme ocağı [45].



Şekil 5.11. Bekletme Ocağı [46].

## **BÖLÜM 6. YALITIM VE YALITIM ÇEŞİTLERİ**

Yalıtım, istenmeyen durumların bir bölgeden diğer bölgeye geçmesini engellemek adına yapılan her türlü işlem ve sistemlerdir [47]. Bir başka deyişle bir nesneyi veya varlığı dışarıdan gelebilecek her türlü ses ve gürültüye, suya ve rutubete, içerideki ısının kaybına ve dışarıdaki soğuğa karşı korumak için alınan önlemlere yalıtım denir [48].

Yalıtımın amaçları olarak konforun sağlanması, çevre kirliliğinin azaltılması ve enerji tasarrufu gibi durumlar sıralanabilir. Enerji tasarrufu durumu göz önünde bulundurulduğunda yalıtımın enerjiye olan ihtiyacı azaltmasıyla birlikte ekonomiye katkısından da söz edilebilir.

### **6.1. Yalıtım Çeşitleri**

Yukarıda da bahsedildiği gibi ses, ısı ve su gibi nesneye ve ya varlığa zarar verebilecek ve işlevselliğini etkileyecek etmenlere karşı yalıtım yapılmaktadır.

#### **6.1.1. Isı yalıtımı**

Sistemlerde, yapılarda ve tesisatlarda ısı kayıplarının engellenmesi için yapılan her türlü işlemlere ısı yalıtımı denir. Teknik olarak, ısı akış yönü sıcaktan soğuğa doğru gerçekleşmektedir. Isı yalıtımı ortamlar arasında ısı geçişini azaltmak için uygulanır. Bu sayede iç yapıdaki değişimler sınırlandırılmaktadır [31].

#### **6.1.2. Ses yalıtımı**

Nesneleri veya varlıkları gürültünün zararlı etkilerinden korumak ve gürültüyü azaltmak amacı ile yapılan uygulamalara ses yalıtımı denir. Makine, ekipman, tesisat

ve duvarlara, ses yalıtım malzemeleri uygulanabilir. Basit bir örnek vermek gerekirse ağır sanayide çalışan insanların makinanın ve sistemin gürültülerinden korunması için kulaklık takması da ses yalıtımı olarak gösterilebilir.

### **6.1.3. Su yalıtımı**

İnsanların sağlıklı ortamlarda kalmalarını sağlamak ve yapıların suyla birlikte gelebilecek olumsuzlukları engellemek amacıyla suya veya neme karşı korunmaları için yapılan tüm işlemlere su yalıtımı denir. Binalarda su yalıtımı yapılmaması takdirde zaman içerisinde nem yüzünden rutubet yapmaya başlayacak ve bu da çeşitli hastalıklara sebep olacaktır.

## **6.2. Kullanılan Yalıtım Malzemeleri**

### **6.2.1. Isı yalıtım malzemeleri**

Isı yalıtım malzemeleri; ısı kayıplarının azaltılmasında kullanılan yüksek ısı dirence ve düşük ısı iletkenliği sahip malzemelerdir. Düşük ısı iletkenliği ile birlikte içerideki ısının dışarıya, dışarıdaki ısının da içeri geçmesini engellemekte, geciktirmektedir. Belirlenen standartlara göre  $\lambda = 0,06-0,10$  W/mK'nin altında olan yani ısı iletkenliği düşük olan malzemeler, ısı yalıtım malzemeleri tanımına girmektedir [49].

Isı yalıtımı ortamlar arasında ısı geçişini azaltmak için kullanılırlar. Bu nedenle yapıda veya tesisattaki iyi yalıtım durumunu ısı iletim katsayıları belirler. Isı iletim katsayısı ne kadar düşükse olursa o ürünün yalıtım özelliği artar. Bunların yanında ısı yalıtım malzemelerinden beklenen diğer özellikler ise kullanılan yere bağlı olarak; yangına tepki sınıfı, buhar difüzyon direnç katsayısı basma dayanımları, kullanım kolaylığı ve maliyetlerinin düşük olması olarak belirlenebilir.

Sanayide kullanılan yalıtım malzemeleri 3'e ayrılmaktadır.

Soğuk hatlar için;  $-40^{\circ}\text{C}$  ile  $+20^{\circ}\text{C}$  arası, ılık hatlar için;  $+20^{\circ}\text{C}$  ile  $+70^{\circ}\text{C}$  arası, sıcak hatlar için;  $+70^{\circ}\text{C}$  ile  $1250^{\circ}\text{C}$  arasıdır. Tablo 6.1.'de sanayide kullanılan yalıtım malzemelerinin sıcaklıklara göre kullanımları gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Sıcaklıklara göre yalıtım malzemesi kullanımları.

Soğuk Hatlar	Ilık Hatlar	Sıcak Hatlar
Polietilen	Polietilen	Cam Yünü
Kauçuk Köpüğü	Kauçuk Köpüğü	Taş Yünü
Cam Yünü*	Cam Yünü*	Seramik Yünü
Taş Yünü*	Taş Yünü*	Kauçuk Köpüğü**
Cam Köpüğü		

\* Alüminyum folyo veya sac kaplı

\*\* Özel üretilen  $+170^{\circ}\text{C}$ 'e kadar dayanıklı kauçuk köpüğü

### 6.2.1.1. Polietilen köpüğü



Şekil 6.1. Polietilen köpüğü [50].

Şekil 6.1.'de polietilen köpüğüne ait bir göstel paylaşılmıştır. Boru veya levha olarak ekstrüzyon metoduyla üretilen polietilen esaslı malzemelerdir. Tesisat yalıtımında kullanılmak üzere alüminyum folyo kaplamalı veya kaplamasız olarak üretilirler. Soğuk ve ılık hatlarda kullanılırlar [31]. Tablo 6.2.'de polietilen köpük malzeme özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Polietilen köpüğü özellikleri.

Isı iletkenlik hesap değeri	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
Kullanım sıcaklığı	$-80/+105 \text{ }^\circ\text{C}$
Yangına tepki sınıfı	C veya D
Buhar difüzyon direnç katsayısı	$\mu \geq 5000 \text{ } \mu\text{gm/Nh}$
Gözenek yapısı	Kapalı gözenekli

### 6.2.1.2. Elastomerik kauçuk köpüğü



Şekil 6.2. Elastomerik kauçuk köpüğü [51].

Şekil 6.2.'de elastomerik köpüğüne ait bir gösel paylaşılmıştır. Boru veya levha olarak ekstrüzyon metoduyla üretilen elastomerik kauçuk köpüğü esaslı malzemelerdir. Tesisat yalıtımında kullanılmak üzere alüminyum folyo kaplamalı veya kaplamasız olarak üretilirler. Soğuk ve ılık hatlarda kullanılırlar [31]. Tablo 6.3.'te elastomerik kauçuk köpük malzemesine ait özellikler gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Elastomerik kauçuk köpüğü.

Isı iletkenlik hesap değeri	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
Kullanım sıcaklığı	$-40/+105 \text{ }^\circ\text{C}$
Yangına tepki sınıfı	C Sınıfı
Buhar difüzyon direnç katsayısı	$\mu \geq 7000 \text{ } \mu\text{gm/Nh}$
Gözenek yapısı	Kapalı gözenekli



### 6.2.1.3. Cam yünü



Şekil 6.3. Cam yünü [52].

Şekil 6.3.'te cam yününe ait bir göstel paylaşılmıştır. Silis kumunun yüksek basınç ve yüksek sıcaklık altında ergitilerek geçirilip elyaf haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir. Farklı yoğunluklarda levha ve boru olarak üretilirler. Sıcak hatlar, klimalar ve havalandırma kanallarında kullanılırlar [49]. Tablo 6.4.'te cam yünü malzemesine ait özellikler gösterilmiştir.

Tablo 6.4. Cam yünü özellikleri.

Isı iletkenlik hesap değeri	$\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$
Kullanım sıcaklığı	$-50 \text{ }^\circ\text{C}/+250 \text{ }^\circ\text{C}$ (Bakalitsiz $+450 \text{ }^\circ\text{C}$ )
Yangına tepki sınıfı	A1-A2 sınıfı
Buhar difüzyon direnç katsayısı	$\mu = 1 \text{ } \mu\text{gm/Nh}$
Gözenek yapısı	Açık gözenekli

### 6.2.1.4. Taş yünü



Şekil 6.4. Taş yünü [53].

Şekil 6.4.'te taş yününe ait bir göstel paylaşılmıştır. Bazalt ve diabez taşlarının yüksek sıcaklıklarda elyaf haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir. Farklı yoğunluklarda, levha ve boru olarak üretilirler. Sıcak hatlar klimalar, havalandırma kanalları ve yangın yalıtımında kullanılırlar [49]. Tablo 6.5.'te taş yünü malzemeye ait özellikler paylaşılmıştır.

Tablo 6.5. Taş yünü özellikleri.

Isı iletkenlik hesap değeri	$\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$
Kullanım sıcaklığı	$-50 \text{ }^\circ\text{C}/+650 \text{ }^\circ\text{C}$
Yangına tepki sınıfı	A1
Buhar difüzyon direnç katsayısı	$\mu = 1 \text{ } \mu\text{gm/Nh}$
Gözenek yapısı	Açık gözenekli

#### 6.2.1.5. Seramik yünü



Şekil 6.5. Seramik yünü [54].

Şekil 6.5.'te seramik yününe ait bir göstel paylaşılmıştır. Seramik yünü, seramik elyafların inorganik bağlayıcılar kullanılarak vakum ile şekillendirilmesi ile üretilirler. Sıcak hatlarda kullanılırlar [49]. Tablo 6.6.'da seramik yünü malzemeye ait özellikler gösterilmiştir.

Tablo 6.6. Seramik yünü özellikleri.

Isı iletkenlik hesap değeri	$\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$
Kullanım sıcaklığı	$1200-1400 \text{ }^\circ\text{C}$
Yangına tepki sınıfı	A sınıfı

Tablo 6.6. (Devamı)

Buhar difüzyon direnç katsayısı	$\mu=1 \mu\text{gm/Nh}$
Gözenek yapısı	Açık gözenekli

### 6.2.1.6. Ekstrüde polistren köpük (XPS)



Şekil 6.6. Ekstrüde polistren köpük [55].

Şekil 6.6.'da ekstrüde polistren köpüğüne ait bir göstel paylaşmıştır. Polistiren malzemenin ekstrüzyon yöntemiyle üretilmesiyle oluşan kapalı gözenekli ısı yalıtım malzemeleridir. Farklı yoğunluklarda levha olarak üretilirler [56]. Tablo 6.7.'de ekstrüde polistren köpük malzemesine ait özellikler gösterilmiştir.

Tablo 6.7. Ekstrüde polistren köpük özellikleri.

Isı iletkenlik hesap değeri	$\lambda= 0,030-0,035 \text{ W/mK}$
Kullanım sıcaklığı	$-50 / +75 \sim +80^\circ\text{C}$
Yangına tepki sınıfı	E sınıfı
Buhar difüzyon direnç katsayısı	$\mu=80-250 \mu\text{gm/Nh}$
Basma dayanımı	100-1000 kPa

### 6.2.1.7. Ekspande polistren köpük (EPS)



Şekil 6.7. Ekspande polistren köpük [57].

Şekil 6.7.'de ekspande polistren köpüğüne ait görsel paylaşılmıştır. Polistren malzemesinin su buharı teması sonucu yapısında bulunan pentan gazının genişmesiyle büyük bloklar halinde şişirilip ve daha sonra sıcak tel ile kesilerek üretilirler [56]. Tablo 6.8.'de ekspanda polistren köpük malzemesine ait özellikler gösterilmiştir.

Tablo 6.8. Ekspande polistren köpük özellikleri.

Isı iletkenlik hesap değeri	$\lambda = 0,031-0,040 \text{ W/mK}$
Kullanım sıcaklığı	$-50 / +75 \sim +80 \text{ }^\circ\text{C}$
Yangına tepki sınıfı	E sınıfı TS EN 13501
Buhar difüzyon direnç katsayısı	$\mu = 20-40 \text{ } \mu\text{gm/Nh}$
Basma dayanımı	30-150 kPa

### 6.2.1.8. Cam köpüğü



Şekil 6.8. Cam köpüğü [58].

Şekil 6.8.'de cam köpüğüne ait görsel paylaşılmıştır. Levha ve boru şeklinde üretilir. Suya ve yüksek basınca karşı dayanıklıdır. Endüstriyel tesislerin boru, tank ve yüzeylerinde, stoklama tankları taban yalıtımında kullanılırlar [59]. Tablo 6.9.'da cam köpük malzemesine ait özellikler gösterilmiştir.

Tablo 6.9. Cam köpüğü özellikleri.

Isı iletkenlik hesap değeri	$\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$
Kullanım sıcaklığı	$-250^\circ\text{C} +400 \text{ }^\circ\text{C}$
Yangına tepki sınıfı	Class 1
Buhar difüzyon direnç katsayısı	$\mu = 0 \text{ } \mu\text{gm/Nh}$

### 6.2.1.9. Kalsiyum silikat



Şekil 6.9. Kalsiyum silikat [60].

Şekil 6.9.'da kalsiyum silikata ait görsel paylaşılmıştır. Levha ve boru şeklinde üretilen mineral esaslı izolasyon malzemesidir. Yüksek basınç ve yüksek sıcaklığa karşı dayanımı yüksek olduğundan dolayı bu tür alanların izolasyonunda kullanılır. Petrokimya, kimya, rafineri ve endüstriyel tesislerde yüksek sıcaklıklarda kullanılırlar [61]. Tablo 6.10.'de kalsiyum silikat malzemesine ait özellikler gösterilmiştir.

Tablo 6.10. Kalsiyum silikat özellikleri.

Isı iletkenlik hesap değeri	$\lambda = 0,055 \text{ W/mK}$
Kullanım sıcaklığı	1000 °C

### 6.2.1.10. Fenol köpüğü



Şekil 6.10. Fenol köpüğü [62].

Şekil 6.10.'da fenol köpüğüne ait görsel paylaşılmıştır. Formaldehit bakalitinin yardımcı malzemeler kullanılarak oluşmasından elde edilir. Basınca karşı çok

dayanıklı değillerdir [59]. Tablo 6.11.'de fenol köpük malzemesine ait özellikler gösterilmiştir.

Tablo 6.11. Fenol köpüğü özellikleri.

Isı iletkenlik hesap değeri	$\lambda= 0,028 \text{ W/mK}$
Kullanım sıcaklığı	$-150 \text{ }^\circ\text{C}+100 \text{ }^\circ\text{C}$
Yangına tepki sınıfı	Class 1
Buhar difüzyon direnç katsayısı	$\mu=10 \text{ } \mu\text{gm/Nh}$

### 6.2.1.11. Poliüretan



Şekil 6.11. Poliüretan [63].

Şekil 6.11.'de poliüretana ait görsel paylaşılmıştır. Poliollerin ve İzosiyanatlar aralarında oluşturdukları kimyasal reaksiyon sonucu elde edilmektedir. Endüstriyel tesislerin düşük sıcaklıkta çalışan boru, tank ve yüzeylerinde, soğutma tesisleri ve soğuk hava depoları sistemlerinde kullanılırlar [64]. Tablo 6.12.'de poliüretana ait malzeme özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 6.12. Poliüretan özellikleri.

Isı iletkenlik hesap değeri	$\lambda= 0,025 \text{ W/mK}$
Kullanım sıcaklığı	$- 160 \text{ }^\circ\text{C} + 110 \text{ }^\circ\text{C}$
Yangına tepki sınıfı	B1 ve B2
Buhar difüzyon direnç katsayısı	$\mu=20 \text{ } \mu\text{gm/Nh}$

### **6.2.2. Ses yalıtım malzemeleri**

Ses yalıtım malzemeleri sesi veya gürültüyü mekanik ve ısı enerjisine dönüştüren malzemelerdir [65].

#### **Duvar, döşeme, çatı uygulamaları;**

Cam yünü, taş yünü, ahşap yünü, yumuşak poliüretan esaslı köpükler, melamin köpüğü, keçeler, delikli metaller, delikli ahşaplar, delikli alçı panolar, mantar.

#### **Döşeme uygulamaları (sadece darbe sesinin önlenmesi için):**

-Poliyeten, kauçuk köpüğü, tekstil atığından mamul malzemeler.

#### **Yalıtım camı üniteleri**

-Akustik laminasyonlu cam çözümleri.

#### **Teknik (Endüstriyel) yalıtım**

-Cam yünü, taş yünü, poliyeten, poliüretan, kauçuk köpüğü, yaylar, askılar susturucular vb.

### **6.2.3. Su yalıtım malzemeleri**

Temel olarak suyun geçişini engelleyen malzemelere su yalıtım malzemeleri denir. Su yalıtımında kullanılan malzemeler, kullanım alanlarına ve özelliklerine göre su yalıtım örtüleri, sürme esaslı malzemeler ve yapısal su yalıtım malzemeleri olarak 3 grupta incelenebilir.

**Su yalıtım örtüleri**

- Bitümlü örtüler: Okside Bitümlü Örtüler, Polimer Bitümlü Örtüler.
- Sentetik örtüler: PVC, EPDM, TPO, ECB vb.

**Sürme esaslı malzemeler**

- Çimento esaslı malzemeler, akrilik esaslı malzemeler, bitüm esaslı malzemeler poliüretan esaslı malzemeler.

**Yapısal su yalıtım malzemeleri**

Yapı kimyasalları ve derz malzemeleri.



## **BÖLÜM 7. TERMAL KAMERA İLE ÖLÇÜM YÖNTEMİ**

Alüminyum ekstrüzyon sektöründe kullanılan ekipmanlardan enerji verimliliği kapsamında üretim maliyetlerini ve kaliteyi etkileyen biyet tav fırınları, kalıp tav fırınları, boya kurutma fırınları, boya kütleme fırınları ve termik fırınlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar termal kamera yöntemi ile birlikte elde edilen verilerin işlenmesi esas alınmıştır. Fırınların yüzeylerinden termal kamera ile alınan veriler excel ortamında ısı transfer formülleri ile birlikte değerlendirilerek net enerji kayıpları her makina için revize öncesi ve sonrası olacak şekilde ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu çalışmada 7 farklı makine için toplamda 13 ölçüm gerçekleştirilmiştir.

### **7.1. Termal Kamera Çalışma Prensibi**

-273°C'nin üstünde ısıya sahip olan tüm nesnelere kızıl ötesi termal radyasyon yayarlar. Nesnelere yayılan kızıl ötesi termal radyasyonlar termal kameranın görüntüsünden görülebilir. Buradan ölçülecek nesnenin sıcaklığı hesaplanır. Termal kameralar kızılötesi radyasyonu elektrik sinyallerine çevirir ve onları görünür yapar. Termal görüntü, ölçüm yapılan yüzeydeki sıcaklık dağılımını gösterir [66,67]. Enerji verimliliği termal kamera ölçümlerinde radyasyonun ve sonuçların ölçümlerin doğruluğu açısından, ortamdaki nem ve sıcaklığı ölçmek için cihazlar bulundurulmalıdır. Ayrıca ölçülecek fırının özelliklerine bağlı olarak çalışma sıcaklıkları ve yüzeylerindeki kaplamalar iyi bilinmelidir. Makinanın çalışma sıcaklığına göre ölçüm aralığı seçilerek en doğru görüntü ve sonuçlar elde edilmelidir.



Şekil 7.1. Termal kamera [66,67].

Şekil 7.1. 'de termal kameraya ait bir görsel bulunmaktadır.

## 7.2. Termal Kameranın Özellikleri

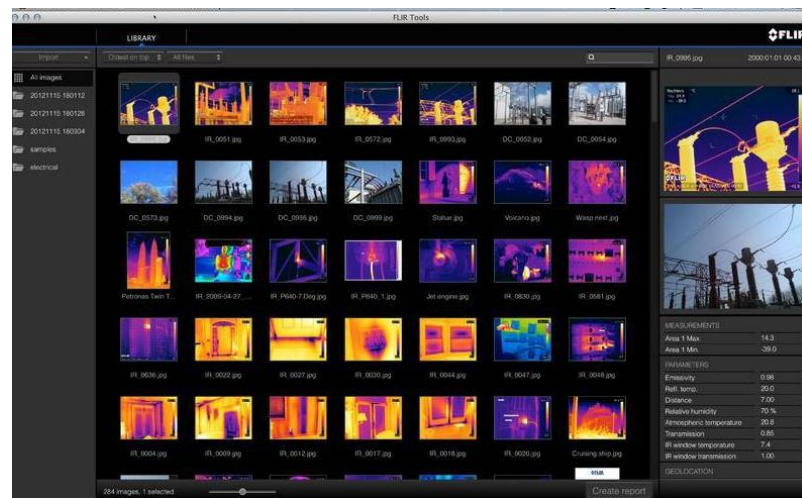
Çalışmada kullanılan başlıca ekipman Şekil 7.2.'de görseli verilen FLIR T650SC marka termal kameradır. Kameranın özellikleri olarak termal hassasiyeti  $\pm 30$  mK'nin aşağısındadır. Termal dedektör çözünürlüğü 640x480 pikseldir. Cihaz  $-40^{\circ}\text{C}$  -  $2000^{\circ}\text{C}$  arası ölçüm yapabilmektedir. Ayarlanabilir sıcaklık skalası mevcuttur. Skalalar,  $-40^{\circ}\text{C}$  -  $150^{\circ}\text{C}$ ,  $100^{\circ}\text{C}$  -  $650^{\circ}\text{C}$  ve  $300^{\circ}\text{C}$  -  $2000^{\circ}\text{C}$  arası ölçümler yapabilecek şekilde üç farklı skala mevcuttur [68]. Skalaların doğru seçilmemesi durumunda yüzeyden alınacak değerler sapma göstermektedir. Termal kamera ile makinenin ölçülecek yüzeyinin tamamını alacak şekilde ölçüm yapılması gerekmektedir. Termal kamera ölçümleri yapılmadan önce skala iyi belirlenmeli, ortam sıcaklığı tespit edilmeli ve makinenin yüzeyindeki malzeme öğrenilerek kamera arayüzündeki malzeme listesinden seçilerek emisyon değeri belirlenmelidir. Bu sayede sonuçların doğruluk oranı artacaktır. Ölçüm yapılan makinelerde genelde alt yüzey haricinde tüm yüzeyler için ölçümler alınabilmektedir. Bazı durumlarda ise üst yüzeylerden de ölçüm almak mümkün olmayabilir. Her makine için ayrı yüzeylerden alınan sonuçlar bir SD kart yardımıyla kameranın görüntü işleme programı olan FLIR programına aktarılarak ortalama sıcaklık değerleri tespit edilir.



Şekil 7.2. Termal kamera T650SC [68].

### 7.3. Görüntü İşleme Programı

Çalışmada termal kamera ile çekilmiş olan yüzeylerdeki veriler kullanılan termal kameranın görüntü işleme FLIR programına resim olarak aktarılmıştır. FLIR programında her makine için oluşturulan klasörlerde tüm yüzeyler için ölçümler alınmıştır. Belirlenen yüzeylerdeki ortalama ölçüm değerleri excelde hazırlanmış olan formüllerdeki yerlerine yazılarak ortalama enerji tüketimleri ve kayıpları hesaplanmıştır.



Şekil 7.3. FLIR programı arayüzü [69].

Şekil 7.3.'te arayüzü görünen programda termal kamera ile görüntüleri alınan makinalardaki yüzeylerin sıcaklık ortalamaları dikdörtgen, çizgi ve elips kesitleriyle belirlenmiştir. Yüzeğe bağlı olarak bu seçim kesitleri değişiklik göstermektedir. Yüzeğe sıcaklık ortalaması etkileyecek bir durum mevcut ise (boru ve etiket) bu kısımlar gözardı edilecek şekilde seçimler yapılmıştır. Her seçim kesidinin sıcaklık ortalamaları not edilerek Şekil 7.4.'de gösterilen exceldeki çalışma alanlarına değerleri girilmiştir. Termal kamera ölçümlerinde malzemeye göre belirlenen emisyon değerlerinde yanlışlık olması durumunda bu programın arayüzünde değiştirilebilmektedir.

Ölçüm Bilgileri										
	Alanı (m <sup>2</sup> )	Yüzey Sıcaklığı (C)	Ortam Sıcaklığı ( C )	Çap (m)	Çalışma Süresi (saat/ay)	TY(K)	TO(K)	h(t)	h(i)	Isı Yayılımı (kcal - kJ)
1. Yan Yüzey	2,45	35	26		260	308	299	3,810512	4,366579299	46879,263
2. Yan Yüzey	2,45	35	26		260	308	299	3,810512	4,366579299	46879,263
3. Yan Yüzey	2,31	35	26		260	308	299	3,810512	4,366579299	44200,448
4. Yan Yüzey	2,31	35	26		260	308	299	3,810512	4,366579299	44200,448

Şekil 7.4. Hesaplamaların gösterimi.

#### 7.4. Enerji Kayıplarının Hesaplanması

Termal kamera ölçümleri sonucunda elde edilen sıcaklık verileri ısı transferi bağlantıları kullanılarak bu formüllerin excel ortamına aktarılmasıyla çözümlenmiştir. Her fırın için tüm yüzeylerinde alan ölçümleri yapılmıştır [9].

$$Q_{fd} = q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8 \quad (7.1)$$

q <sub>3</sub>	Fırın ön yüzeyinden ısı yayılımı (kJ)
q <sub>4</sub>	Fırın arka yüzeyinden ısı yayılımı (kJ)
q <sub>5</sub>	Fırın sağ yüzeyinden ısı yayılımı (kJ)
q <sub>6</sub>	Fırın sol yüzeyinden ısı yayılımı (kJ)
q <sub>7</sub>	Fırın üst yüzeyinden ısı yayılımı (kJ)
q <sub>8</sub>	Fırın boru yüzeyinden ısı yayılımı (kJ)
Q <sub>fd</sub>	Toplam ısı yayılımı (kJ)

Eşitlik (1)'den tüm yüzeylerden gelen ısı yayılımının toplamı bulunabilir.

$$q_{3-8} = \left( \frac{ht_{1-6} + h_{1-6}}{T_{3-8} - T_5} \right) A_{1-6} t \quad (7.2)$$

$A_{1-6}$	Fırının ön, arka, sağ, sol, üst ve boru yüzey alanları ( $m^2$ )
$h_{1-6}$	Fırının ön, arka, sağ, sol yüzeyinden olan ısı taşınım katsayısı ( $W/m^2\text{°C}$ )
$h_{t-6}$	Fırının ön, arka, sağ, sol, üst ve boru yüzeyinden olan ısı taşınım katsayısı ( $W/m^2\text{°C}$ )
$t$	Isı dengesi için gerekli zaman (h)
$T_{3-8}$	Fırının ön, arka, sağ, sol, üst ve boru yüzeylerindeki ortalama sıcaklığı+273 (K)
$T_5$	Fırının sol yüzeyindeki ortalama sıcaklık+273 (K)

Eşitlik (2)'den tüm yüzeyler için ısı yayılımının hesaplanması yapılabilir.

$$ht_{1-4} = 2,2 (T_{3-8} - T_5)^{1/4} \quad (7.3)$$

$h_{t-4}$	Fırının ön, arka, sağ, sol yüzeyinden olan ısı taşınım katsayısı ( $W/m^2\text{°C}$ )
$T_{3-8}$	Fırının ön, arka, sağ, sol, üst ve boru yüzeylerindeki ortalama sıcaklığı+273 (K)
$T_5$	Fırının sol yüzeyindeki ortalama sıcaklık+273 (K)

Eşitlik (3)'ten fırının ön, arka, sağ ve sol duvarından olan ısı taşınım katsayısı hesaplanabilir.

$$ht_5 = 2,8 (T_7 - T_5)^{1/4} \quad (7.4)$$

$h_{t5}$	Fırının üst yüzeyinden olan ısı taşınım katsayısı ( $W / m^2\text{°C}$ )
----------	--

$T_s$	Standart Sıcaklık+273 (K)
$T_7$	Fırının üst yüzeyindeki ortalama sıcaklık+273 (K)

Eşitlik (4)'ten fırının üst duvarından olan ısı taşınım katsayısı hesaplanabilir.

$$h t_6 = 2,2 \left\{ \left( \frac{T_8 - T_s}{d} \right) \right\}^{1/4} \quad (7.5)$$

$d$	Boru çapı (m)
$h_{t6}$	Boru yüzeyinden olan ısı taşınım katsayısı (W / m <sup>2</sup> °C)
$t$	Isı dengesi için gerekli zaman (h)
$T_s$	Standart Sıcaklık+273 (K)
$T_8$	Boru yüzeyindeki ortalama sıcaklık+273 (K)

Eşitlik (5)'ten boru yüzeyinden olan ısı taşınım katsayısı hesaplanabilir.

$$h t_{1-6} = 4,88 \left\{ \left( \frac{T_{3-8}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_s}{100} \right)^4 \right\} \left( \frac{e}{T_{3-8} - T_s} \right) \quad (7.6)$$

$e$	Fırın duvarı radyan oranı
$h_{t1-6}$	Fırının ön, arka, sağ, sol, üst ve boru yüzeyinden olan ısı taşınım katsayısı (W/m <sup>2</sup> °C)
$T_s$	Standart Sıcaklık+273 (K)
$T_{3-8}$	Fırının ön, arka, sağ, sol, üst ve boru yüzeylerindeki ortalama sıcaklığı+273 (K)

Eşitlik (6)'dan fırının ön, arka, sağ, sol, üst ve boru yüzeyinden olan ısı taşınım katsayısı hesaplanabilir.

## **BÖLÜM 8. TERMAL ÖLÇÜMLER VE SONUÇLAR**

### **8.1. Biyet Tav Fırını**

Ekstrüzyon sektöründe kullanılacak olan alüminyum alaşımı kütükleri ekstrüzyon sıcaklığına getiren fırınlarda ölçümler gerçekleştirilmiştir.

#### **8.1.1. Biyet tav fırını ölçümleri**

Toplamda üç adet biyet tav fırını için ölçümler gerçekleştirilmiştir. İki adet fırında ilk ölçüm, revize önerileri ve ikinci ölçümler mevcuttur. Bir adet fırında ise ikinci ölçümler gerçekleştirilmemiştir.

##### **8.1.1.1. Biyet tav fırını ilk ölçümleri**

Biyet tav fırınlarında yapılan ilk ölçüm, ilk ölçüm sonrası mekanik tamir ve izolasyon önerileri, revizyon sonrası ölçüm sonuçları aşağıda verilmiştir. Aşağıda bulunan Şekil 8.1. Şekil 8.2., Şekil 8.3. ve Şekil 8.4. ilk termal kamera ile ölçüm sonuçlarındaki verileri kapsamaktadır.

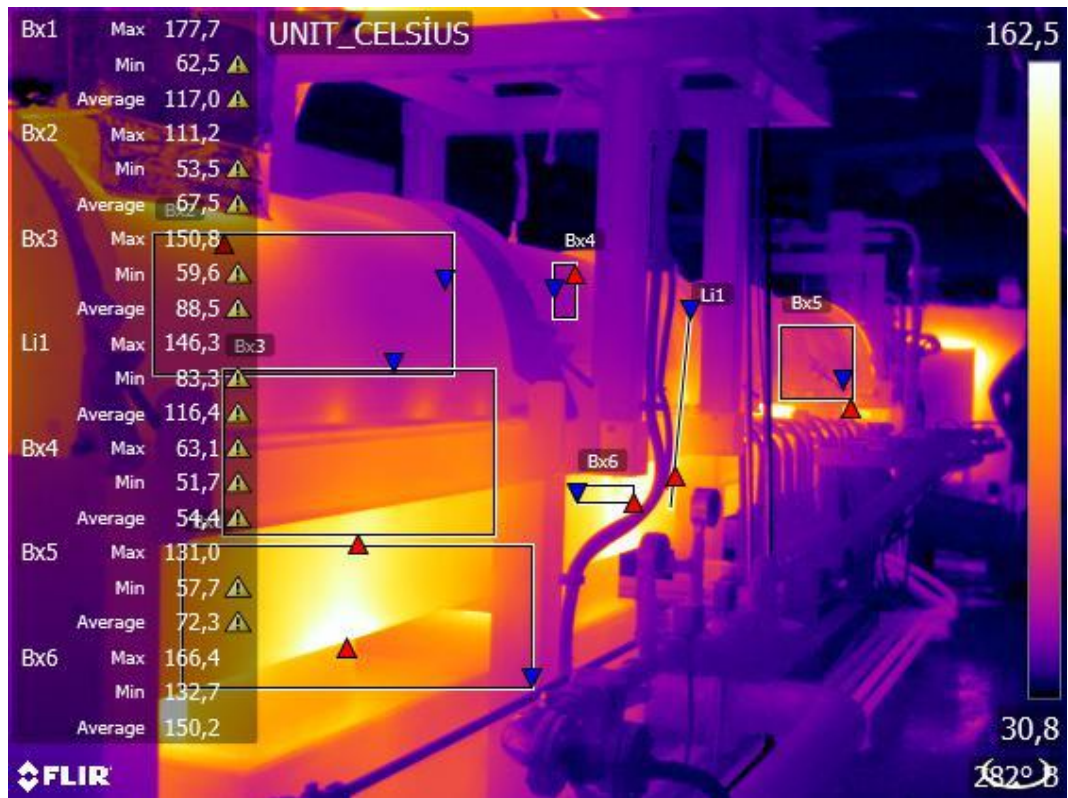


Şekil 8.1. Biyet tav firmı ön yüzeyi.

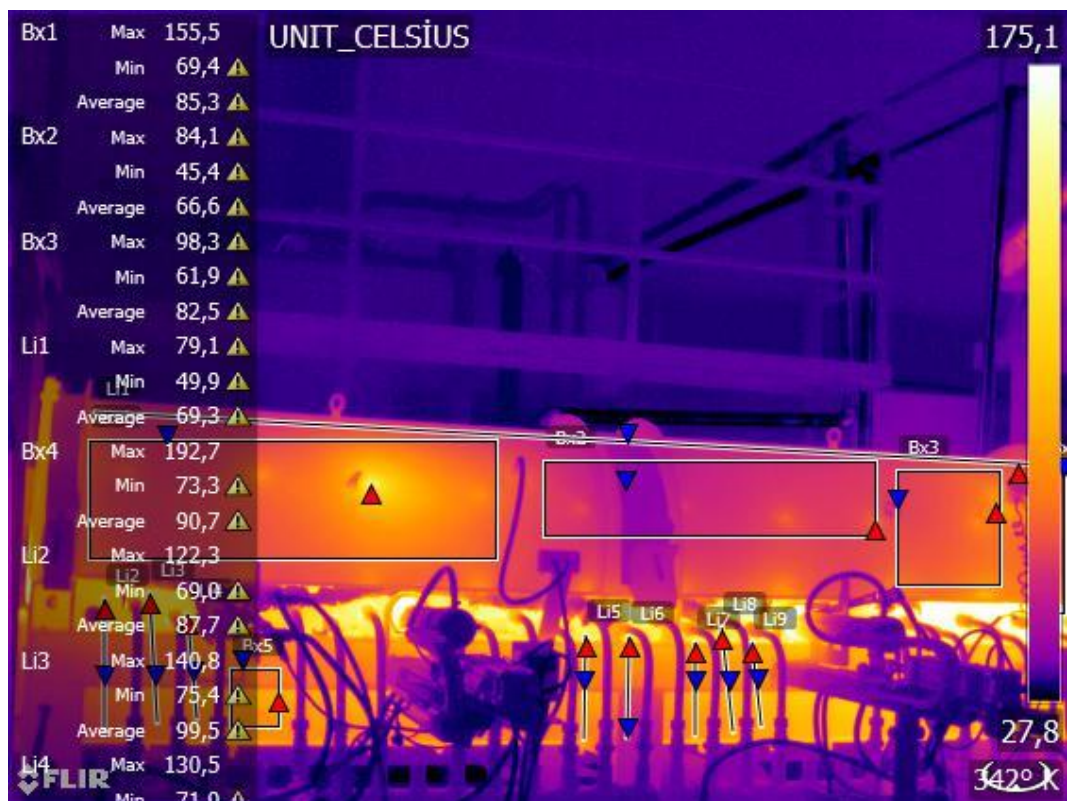


Şekil 8.2. Biyet tav firmı arka yüzeyi.





Şekil 8.3. Biyet tav firmı yan yüzey.



Şekil 8.4. Biyet tav firmı yan yüzey.

Tablo 8.1. Biyet tav fırını ilk ölçüm sonuçları.

Özellikler	Birim	Değer
Hava Sıcaklığı	°C	16
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	102
Enerji Kaybı	kWh /Ay	25730
Maddi Kayıp	TL /Ay	6587
1 kWh	TL	0,256

Tablo 8.1.'deki ilk sonuçlara göre tüm yüzeylerdeki ortalama sıcaklık 102°C'dir. İdeal değeri yaklaşık 30-40°C olması beklenen bu makinalarda enerji verimliliğinin sağlanması amacıyla aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

#### 8.1.1.2. Biyet tav fırını revize önerileri

Fırın kapağı üst yüzeyinde 250,3°C'ye varan sıcak hava kayıpları mevcuttur. Fırın kapağı üst yüzeyindeki contanın cam elyaf fitiller veya muadil malzeme ile kaplanmalıdır. Fırın gövdesinde lokal açılmalar mevcut olup 155,5°C'ye varan ısı kayıpları gerçekleşmektedir. İzolasyon olmayan bölgelerde ise ısı kayıpları 180,7°C'ye kadar ulaşmıştır. Isı kayıplarının ekipman ve bağlantı noktalarının olduğu bölgelerden gerçekleştiğinden bu bölgeler termal macun uygulanabilir. Fırın arka yüzeyinde (biyet girişi) bölümünde 218°C'ye varan sıcak hava kayıplarının olduğu ölçülmüştür. Sıcak hava çevrim sisteminin kontrol edilmesi ve hava yönlendirme klepelerinin iç ortama doğru yapılması gerekmektedir.

#### 8.1.1.3. Biyet tav fırını revize sonrası ölçümleri ve sonuçlar

Biyet tav fırını için mekanik tamir veya izolasyon çalışmaları sonrası yapılan ikinci ölçüm sonuçlarındaki termal kamera görüntüleri ve elde edilen verilerle oluşturulan enerji kaybı ve neden olduğu maddi kayıp tablosu aşağıda verilmiştir. Şekil 8.5. ve Şekil 8.6.'da revizyon sonrası ölçümler verilmiştir. Bu makinada herhangi bir kaplama işlemi yapılmamış olup, mekanik tamir ve termal macun işlemleri uygulanmıştır.



Şekil 8.5. Biyet tav firmı revize sonrası yan yüzey.



Şekil 8.6. Biyet tav firmı revize sonrası arka yüzey.

Tablo 8.2. Biyet tav firmı revize sonrası ölçüm sonuçları.

Özellikler	Birim	Değer
Hava Sıcaklığı	°C	23
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	90
Enerji Kaybı	kWh /Ay	4353
Maddi Kayıp	TL /Ay	1114
1 kWh	TL	0,256

İlk sonuçların verildiği Tablo 8.1. ve revize sonrası sonuçların bulunduğu Tablo 8.2. revize sonrası ölçümlerdeki enerji kayıpları ve maddi kayıplar karşılaştırıldığında karşılaştırıldığında 21400 kWh/Ay'lık ve buna takabul eden 5472 TL/Ay'lık bir kazanç görülmektedir. Ancak bu durum ayrı ayrı değerlendirildiğinde doğru sayılabilir. İlk ölçümlerde makinanın aylık kullanım saati 528 olmakla birlikte ikinci ölçümlerde 260 saat olduğu belirlenmiştir. Eşit şartlarda değerlendirme yapılması amacıyla ikinci ölçümlerdeki aylık çalışma saati ve ortam sıcaklığı ilk ölçümlere eşitlendiğinde enerji kaybı 10328 kWh/Ay olmaktadır. Bu durum için ölçümler karşılaştırıldığında 15400 kWh/Ay'lık ve buna takabul eden 3942 TL/Ay'lık bir kazanç olduğunu söylemek mümkündür. Revize işlemleri (mekanik tamir) sırasında oluşan 2300 TL'lik maliyet bir ay içerisinde kendini amorti edip, daha sonraki süreçler için firmaya enerji kaybının azalması dolayısı ile maddi kaybın azalması olanağını sunmuştur.

### 8.1.2. Biyet tav firmı 2 ölçümleri

#### 8.1.2.1. Biyet tav firmı 2 ilk ölçümleri

Biyet tav firmı için yapılan ilk ölçüm sonuçlarındaki termal kamera görüntüleri, elde edilen verilerle oluşturulan enerji kaybı ve neden olduğu maddi kayıp tablosu aşağıda verilmiştir. Aşağıdaki verilerdeki Şekil 8.7., Şekil 8.8., Şekil 8.9. ve Şekil 8.10. ilk ölçüm sonuçlarındaki verileri kapsamaktadır.



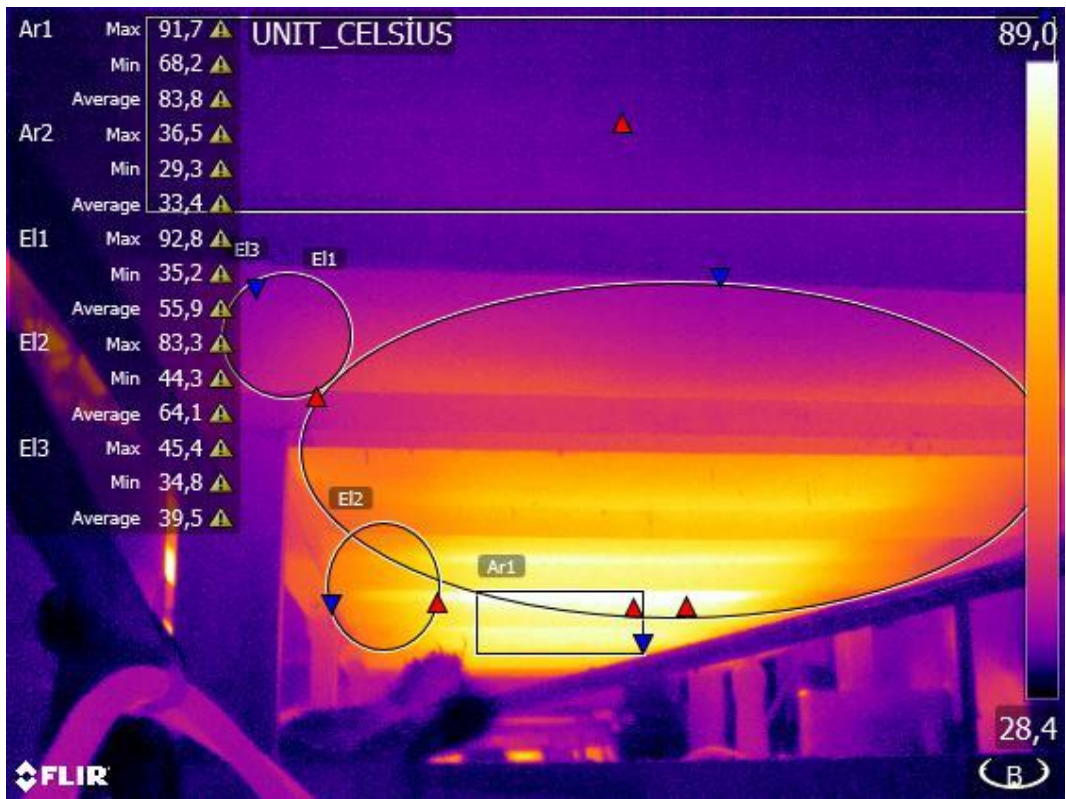
Şekil 8.7. Biyet tav fırını 2 ön yüzey.



Şekil 8.8. Biyet tav fırını 2 yan yüzey.



Şekil 8.9. Biyet tav firmı 2 yan yüzey.



Şekil 8.10. Biyet tav firmı 2 alt yüzey.

Tablo 8.3. Biyet tav fırını 2 ilk ölçüm sonuçları

Özellikler	Birim	Değer
Hava Sıcaklığı	°C	22
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	62.5
Enerji Kaybı	kWh /Ay	3232
Maddi Kayıp	TL /Ay	827
1 kWh	TL	0,256

Tablo 8.3.'teki ilk sonuçlara göre tüm yüzeylerdeki ortalama sıcaklık 62,5°C'dir. İdeal değeri yaklaşık 30 - 40°C olması beklenen bu makinalarda enerji verimliliğinin sağlanması amacıyla aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

#### 8.1.2.2. Biyet tav fırını 2 revize önerileri

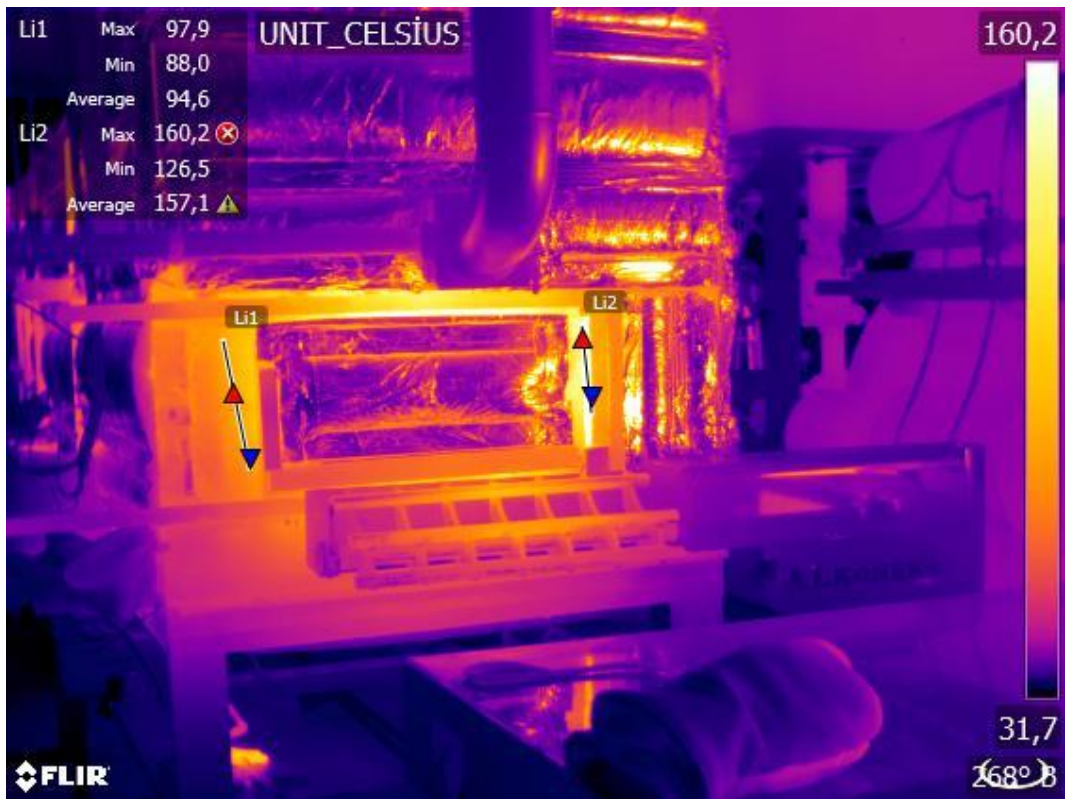
Fırın ön yüzeyinde 217,7°C'ye, alt yüzeyinde ise 91,7°C'ye varan sıcak hava kayıpları mevcuttur. Fırın iç cidarının seramik elyaf kumaşlar veya muadili malzeme ile kaplanması uygun olacaktır. Kapak etrafının cam elyaf fitil veya muadili malzeme ile çift oda oluşturacak şekilde kapatılması çalışma ve izolasyon performansını arttıracaktır.

#### 8.1.2.3. Biyet tav fırını 2 revize sonrası ölçümleri ve sonuçlar

Biyet tav fırını için mekanik tamir ve izolasyon çalışmaları sonrası yapılan ikinci ölçüm sonuçlarındaki termal kamera görüntüleri, elde edilen verilerle oluşturulan enerji kaybı ve neden olduğu maddi kayıp tablosu aşağıda verilmiştir. Şekil 8.11. ve Şekil 8.12.'de revizyon sonrası ölçümler verilmiştir. Bu makinada termal görüntülerde de görüldüğü üzere iç ve dış kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca termal macun uygulaması da yapılmıştır.



Şekil 8.11. Biyet tav fırını 2 revize sonrası yan yüzey.



Şekil 8.12. Biyet tav fırını 2 revize sonrası ön yüzey



Tablo 8.4. Biyet tav fırını 2 revize sonrası ölçüm sonuçları.

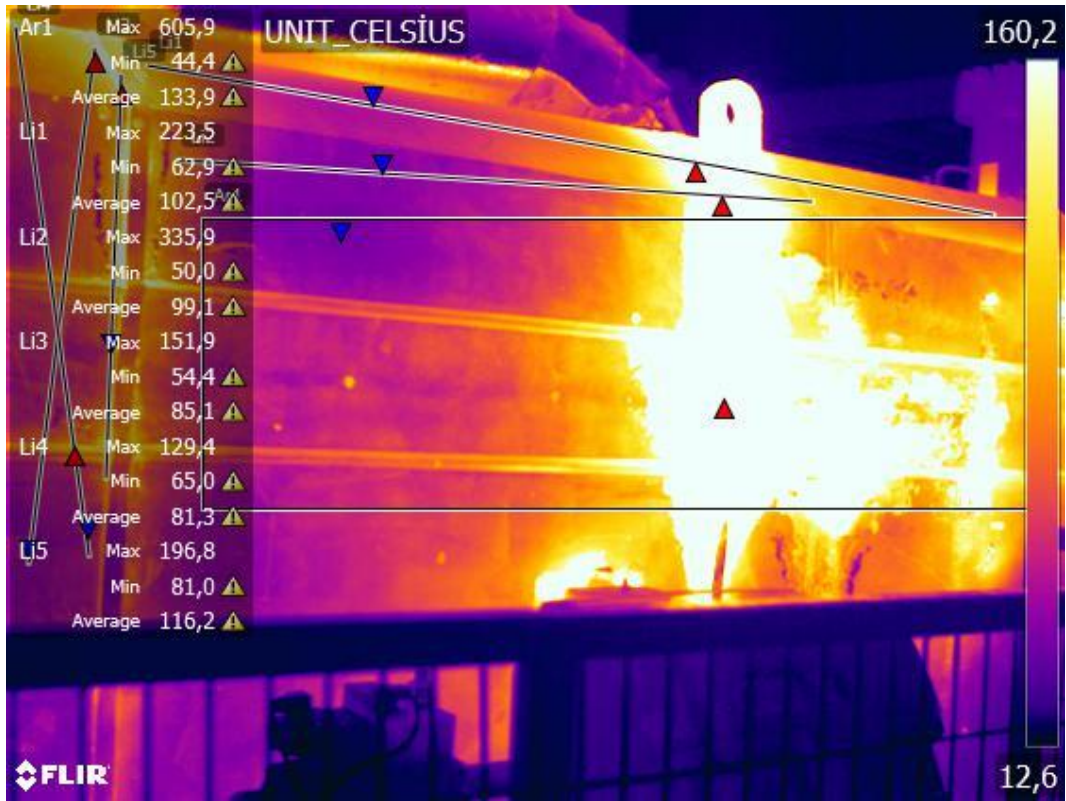
Özellikler	Birim	Değer
Hava Sıcaklığı	°C	25
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	59
Enerji Kaybı	kWh /Ay	2303
Maddi Kayıp	TL /Ay	589,6
1 kWh	TL	0,256

İlk sonuçların verildiği Tablo 8.3. ve revize sonrası sonuçların bulunduğu Tablo 8.4. revize sonrası ölçümlerdeki enerji kayıpları ve maddi kayıplar karşılaştırıldığında 929 kWh/Ay'lık ve buna takabul eden 237,8 TL/Ay'lık bir kazanç görülmektedir. İlk ölçümlerde ve ikinci ölçümlerde makinanın aylık kullanım saati 312 saat olduğu belirlenmiştir. Revize işlemleri (izolasyon ve mekanik tamir) sırasında oluşan 500 TL'lik maliyet 1-2 ay içerisinde kendini amorti edip, daha sonraki süreçler için firmaya enerji kaybının azalması dolayısı ile maddi kaybın azalması olanağını sunmuştur.

### 8.1.3. Biyet tav fırını 3 ölçümleri

#### 8.1.3.1. Biyet tav fırını 3 ilk ölçümleri

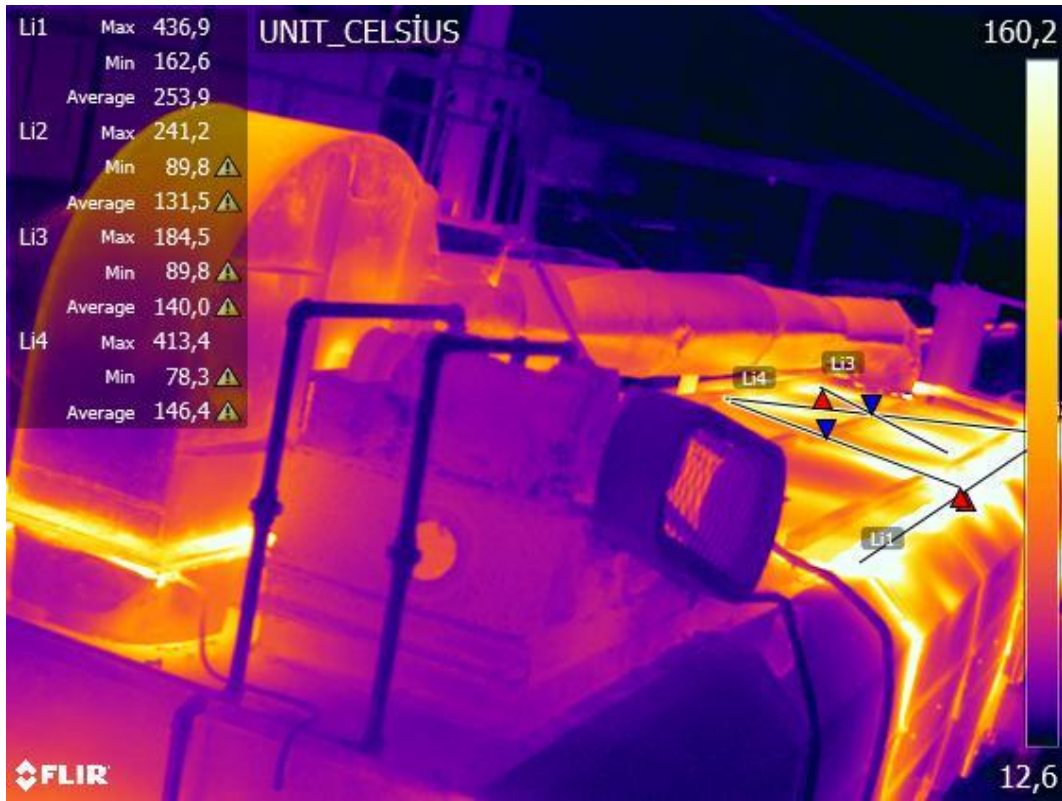
Biyet tav fırınlarında yapılan ilk ölçüm, ilk ölçüm sonrası mekanik tamir ve izolasyon önerileri, revizyon sonrası durum aşağıda verilmiştir. Aşağıda bulunan Şekil 8.13. Şekil 8.14. ve Şekil 8.15.'te ilk termal kamera ile ölçüm sonuçlarındaki verileri kapsamaktadır.



Şekil 8.13. Biyet tav fırını 3 yan yüzey.



Şekil 8.14. Biyet tav Fırını 3 arka yüzey.



Şekil 8.15. Biyet tav firmı 3 üst yüzey.

Tablo 8.5. Biyet tav firmı 3 ilk ölçüm sonuçları.

Özellikler	Birim	Değer
Hava Sıcaklığı	°C	12
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	117,6
Enerji Kaybı	kWh /Ay	43418
Maddi Kayıp	TL /Ay	11115
1 kWh	TL	0,256

Tablo 8.5.'teki ilk sonuçlara göre tüm yüzeylerdeki ortalama sıcaklık 117,6°C'dir. İdeal değeri yaklaşık 30-40°C olması beklenen bu makinalarda enerji verimliliğinin sağlanması amacıyla aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

### 8.1.3.2. Biyet tav firmı 3 revize önerileri

Brülörlerin iç ortamı doğrudan görmemesi ve termokuplların karşı yönde biyet dış kısmından ölçüm yapması nedeniyle iç ortam kontrolsüz ısınmaktadır. Bundan dolayı

refrakterler zarar görmektedir. İç ortam refrakterlerinin değiştirilmesi, brülörlerin iç ortama doğrudan ısı transfer edecek yapıda dizayn edilmesi, termokuplların brülör konumlarına göre yeniden düzenlenmesi ve fırın yüzeylerinin cam elyaf veya muadili bir malzeme ile yalıtılması gerekmektedir.

### **8.1.3.3. Biyet tav fırını 3 revize sonrası**

Revize önerileri sonrası, fırındaki ciddi orandaki ısı kaybını engelleyecek olan revize maliyetlerinin yüksek olmasından ve fırının eski haline getirilmesi için yoğun mesai harcanacak olmasından dolayı firma yeni bir biyet tav fırını alarak envanterine eklemiştir.

## **8.2. Kalıp Tav Fırını**

### **8.2.1. Kalıp tav fırını ölçümleri**

#### **8.2.1.1. Kalıp tav fırını ilk ölçümleri**

Kalıp tav fırını için yapılan ilk ölçüm sonuçlarındaki termal kamera görüntüleri, elde edilen verilerle oluşturulan enerji kaybı ve neden olduğu maddi kayıp tablosu aşağıda verilmiştir. Aşağıdaki verilerdeki Şekil 8.16., Şekil 8.17., Şekil 8.18. ve Şekil 8.19. ilk ölçüm sonuçlarındaki verileri kapsamaktadır.



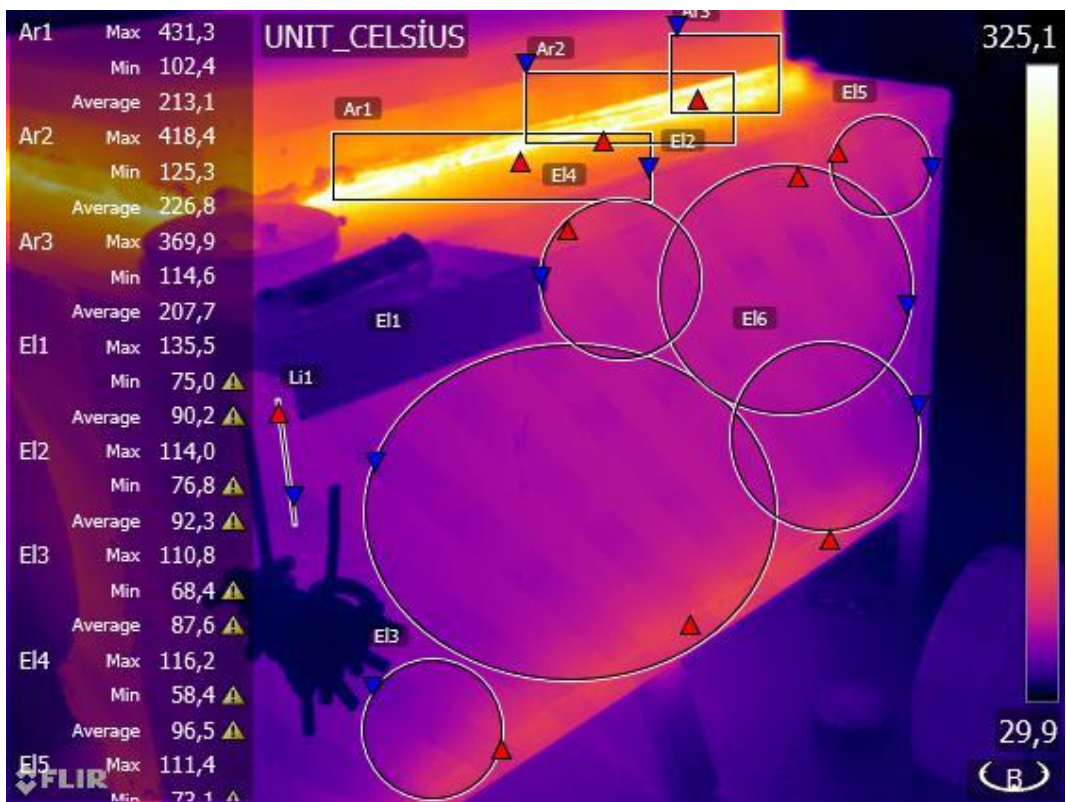
Şekil 8.16. Kalıp tav fırını ön yüzey.



Şekil 8.17. Kalıp tav fırını arka yüzey.



Şekil 8.18. Kalıp tav firmı üst yüzey.



Şekil 8.19. Kalıp tav firmı yan yüzey.

Tablo 8.6. Kalıp tav fırını ilk ölçüm sonuçları.

Özellikler	Birim	Değer
Hava Sıcaklığı	°C	21
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	98,4
Enerji Kaybı	kWh /Ay	1799
Maddi Kayıp	TL /Ay	460,5
1 kWh	TL	0,256

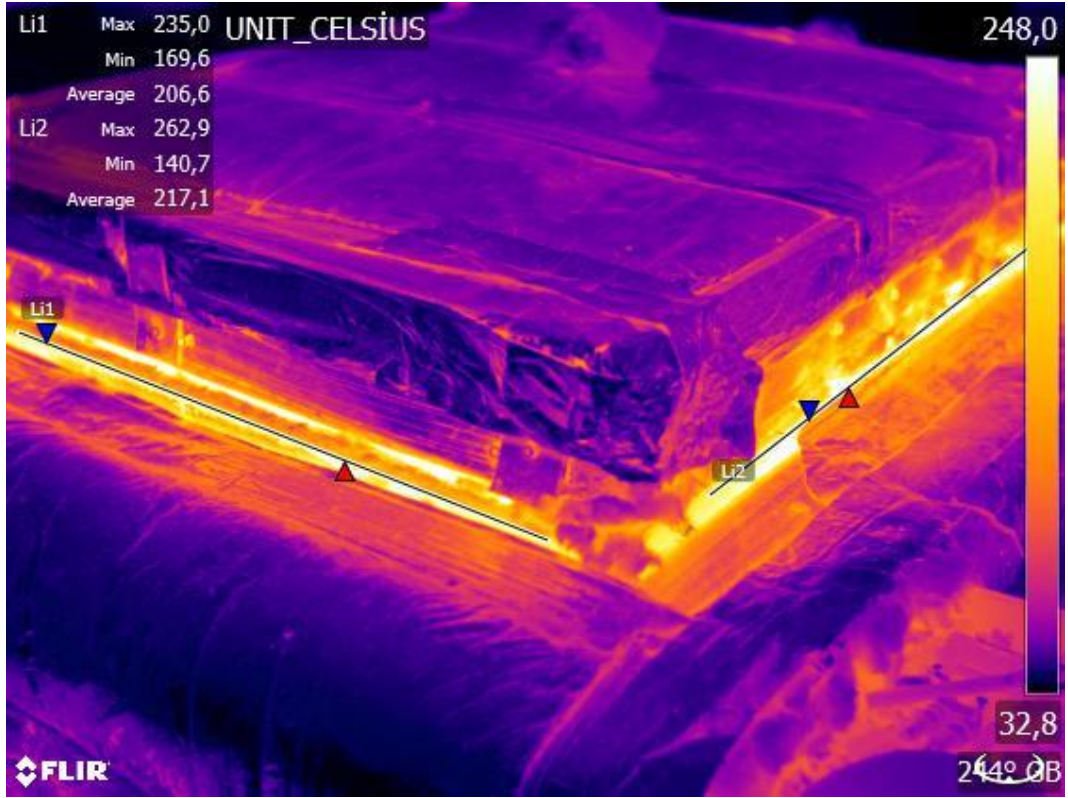
Tablo 8.6.'daki ilk sonuçlara göre tüm yüzeylerdeki ortalama sıcaklık 98,4°C'dir. İdeal değeri yaklaşık 35°C olması beklenen bu makinalarda enerji verimliliğinin sağlanması amacıyla aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

### 8.2.1.2. Kalıp tav fırını revize önerileri

Fırın kapağında kapağın etrafında ortalama 420°C sıcaklığında bir ısı kaybı olduğu görülmektedir. Kapağın kendi ağırlığı ile kapanması yeterli olmadığı ve kapağın hidrolik/pnomatik benzeri sistemler ile sıkışmalı olacak şekilde yapılması uygun olacaktır. Fırın iç cidarının seramik elyaf kumaşlar veya muadili malzeme ile kaplanması uygun olacaktır. Kapak etrafının cam elyaf fitil veya muadili malzeme ile çift oda oluşturacak şekilde kapatılması çalışma ve izolasyon performansını arttıracaktır.

### 8.2.1.3. Kalıp tav fırını revize sonrası ölçümleri ve sonuçlar

Kalıp tav fırını için izolasyon çalışmaları sonrası yapılan ikinci ölçüm sonuçlarındaki termal kamera görüntüleri, elde edilen verilerle oluşturulan enerji kaybı ve neden olduğu maddi kayıp tablosu aşağıda verilmiştir. Şekil 8.20., Şekil 8.21. ve Şekil 8.22.'de revizyon sonrası ölçümler verilmiştir. Bu makinada termal görüntülerde de görüldüğü üzere iç ve dış kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca termal macun uygulaması da yapılmıştır.

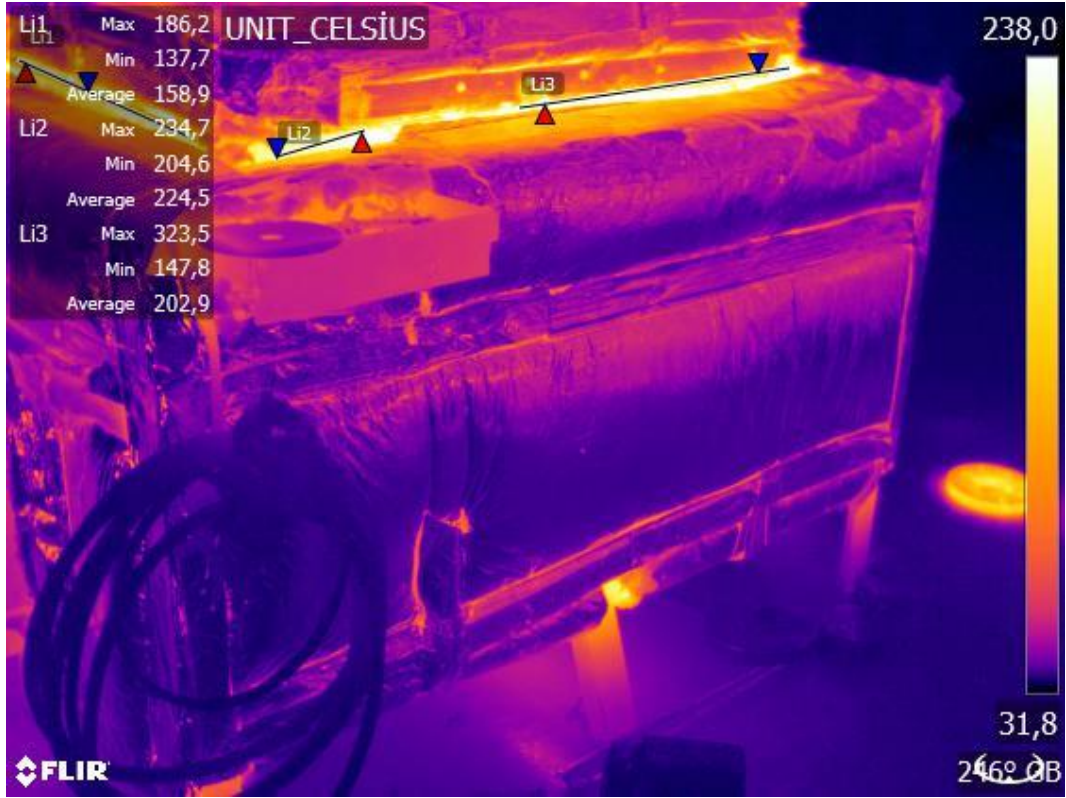


Şekil 8.20. Kalıp tav firmı revize sonrası üst yüzey.



Şekil 8.21. Kalıp tav firmı revize sonrası ön yüzey.





Şekil 8.22. Kalıp tav fırını revize sonrası yan yüzey.

Tablo 8.7. Kalıp tav fırını revize sonrası ölçüm sonuçları.

Özellikler	Birim	Değer
Hava Sıcaklığı	°C	25
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	57,2
Enerji Kaybı	kWh /Ay	758
Maddi Kayıp	TL /Ay	194
1 kWh	TL	0,256

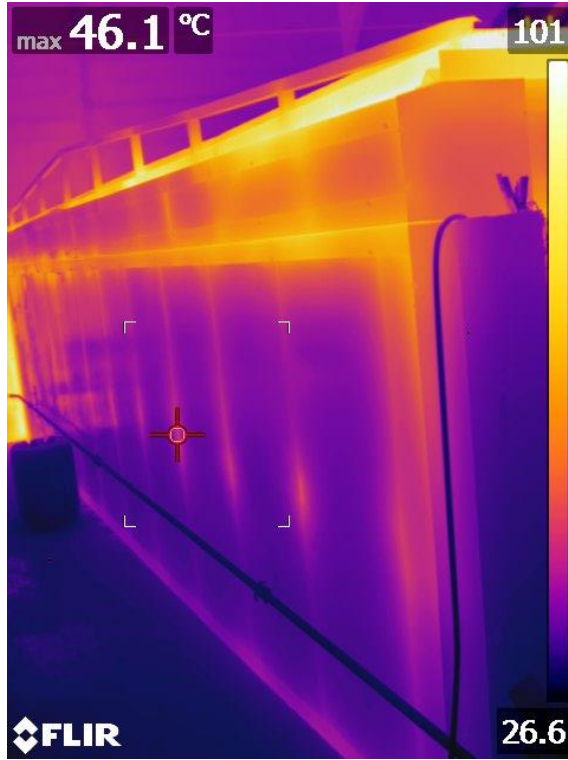
İlk sonuçların verildiği Tablo 8.6. ve revize sonrası sonuçların bulunduğu Tablo 8.7. revize sonrası ölçümlerdeki enerji kayıpları ve maddi kayıplar karşılaştırıldığında 1041 kWh/Ay'lık ve buna takabul eden 266,5 TL/Ay'lık bir kazanç görülmektedir. İlk ölçümlerde ve ikinci ölçümlerde makinanın aylık kullanım saati 312 saat olduğu belirlenmiştir. Revize işlemleri (izolasyon ve mekanik tamir) sırasında oluşan 200 TL'lik maliyet 1 ay içerisinde kendini amorti edip, daha sonraki süreçler için firmaya enerji kaybının azalması dolayısı ile maddi kaybın azalması olanağını sunmuştur.

### 8.3. Boya Kurutma Fırını

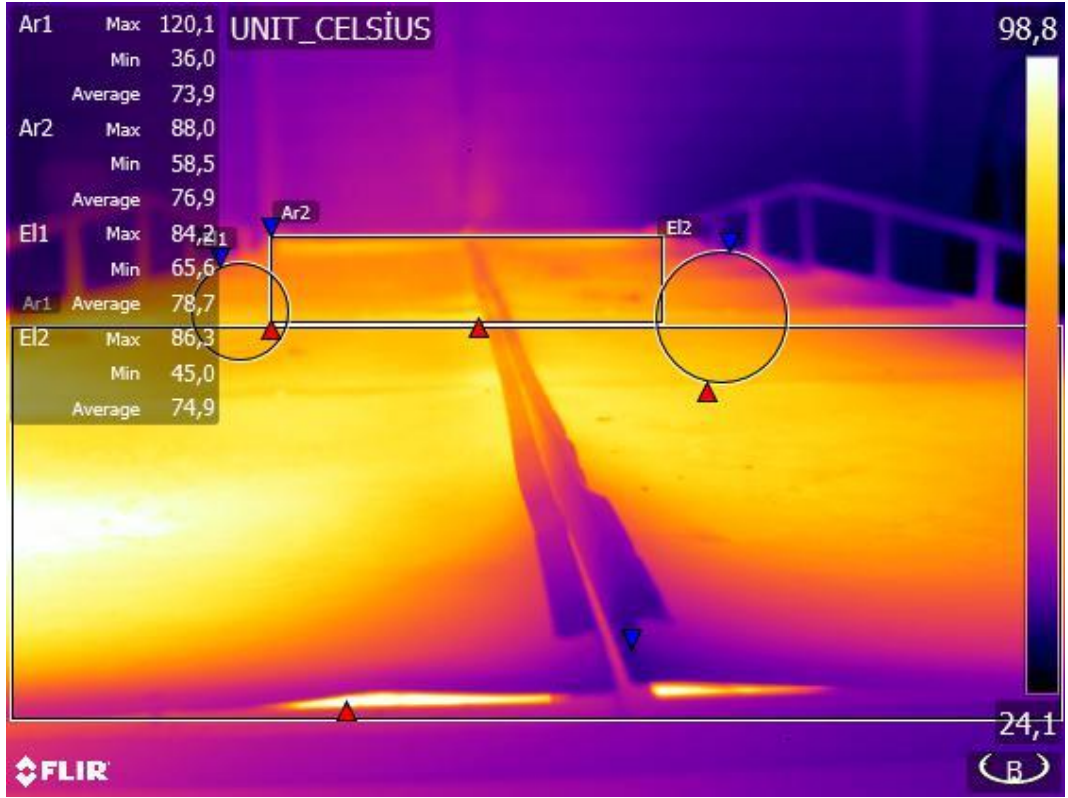
#### 8.3.1. Boya kurutma fırını ölçümleri

##### 8.3.1.1. Boya kurutma fırını ilk ölçümleri

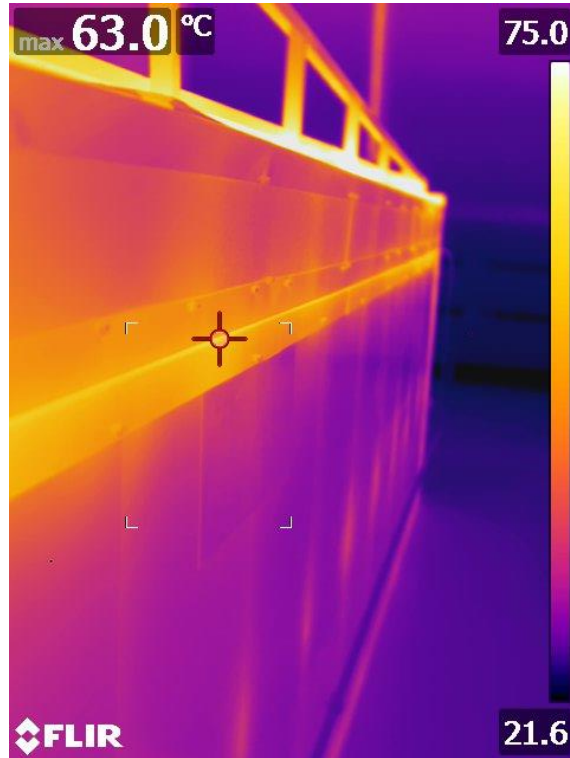
Boya kurutma fırını için yapılan ilk ölçüm sonuçlarındaki termal kamera görüntüleri elde edilen verilerle oluşturulan enerji kaybı ve neden olduğu maddi kayıp tablosu aşağıda verilmiştir. Aşağıda bulunan Şekil 8.23., Şekil 8.24., ve Şekil 8.25. ilk termal kamera ile ölçüm sonuçlarındaki verileri kapsamaktadır.



Şekil 8.23. Boya kurutma fırını yan yüzey.



Şekil 8.24. Boya kurutma fırını üst yüzey.



Şekil 8.25. Boya kurutma fırını yan yüzey.

Tablo 8.8. Boya kurutma fırını ilk ölçüm sonuçları.

Özellikler	Birim	Değer
Hava Sıcaklığı	°C	20
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	62
Enerji Kaybı	kWh /Ay	5978
Maddi Kayıp	TL /Ay	1530,4
1 kWh	TL	0,256

Tablo 8.8.'deki ilk sonuçlara göre tüm yüzeylerdeki ortalama sıcaklık 62°C'dir. İdeal değeri yaklaşık 30 - 40°C olması beklenen bu makinalarda enerji verimliliğinin sağlanması amacıyla aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

### 8.3.1.2. Boya kurutma fırını revize önerileri

Fırın üst kapağında açılmalar mevcut. Kapak ile ana yapı arasında fazla boşluk mevcut ve en fazla 120,1°C ısı kaybı oluşmaktadır. Kapak üst kısmında konstrüksiyon kaynaklı açılmaların düzeltilmesi ve kapak kenarlarının seramik elyaf kırpıntı veya muadili malzeme ile kapatılması uygun olacaktır.

### 8.3.1.3. Boya kurutma fırını revize sonrası ölçümleri

Boya kurutma fırını için izolasyon çalışmaları sonrası yapılan ikinci ölçüm sonuçlarındaki termal kamera görüntüleri, elde edilen verilerle oluşturulan enerji kaybı ve neden olduğu maddi kayıp tablosu aşağıda verilmiştir. Şekil 8.26. ve Şekil 8.27.'de revizyon sonrası ölçümler verilmiştir. Bu makinada termal görüntülerde de görüldüğü üzere üst kapak değiştirilmiştir. Ayrıca kapak arasındaki fitiller yenilenmiştir.



Şekil 8.26. Boya kurutma fırını revize sonrası yan yüzey.



Şekil 8.27. Boya kurutma fırını revize sonrası üst yüzey.

Tablo 8.9. Boya kurutma fırını revize sonrası ölçüm sonuçları.

Özellikler	Birim	Değer
Hava Sıcaklığı	°C	23
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	41,5
Enerji Kaybı	kWh /Ay	2298
Maddi Kayıp	TL /Ay	588,3
1 kWh	TL	0,256

İlk sonuçların verildiği Tablo 8.8. ve revize sonrası sonuçların bulunduğu Tablo 8.9. revize sonrası ölçümlerdeki enerji kayıpları ve maddi kayıplar karşılaştırıldığında 3680 kWh/Ay'lık ve buna takabul eden 942 TL/Ay'lık bir kazanç görülmektedir. İlk ölçümlerde ve ikinci ölçümlerde makinanın aylık kullanım saati 288 saat olduğu belirlenmiştir. Revize işlemleri (izolasyon ve mekanik tamir) sırasında oluşan 5000 TL'lik maliyet 5-6 ay içerisinde kendini amorti edip, daha sonraki süreçler için firmaya enerji kaybının azalması dolayısı ile maddi kaybın azalması olanağını sunmuştur.

#### 8.4. Termik Fırın

##### 8.4.1. Termik fırın ölçümleri

###### 8.4.1.1. Termik fırın ilk ölçümleri

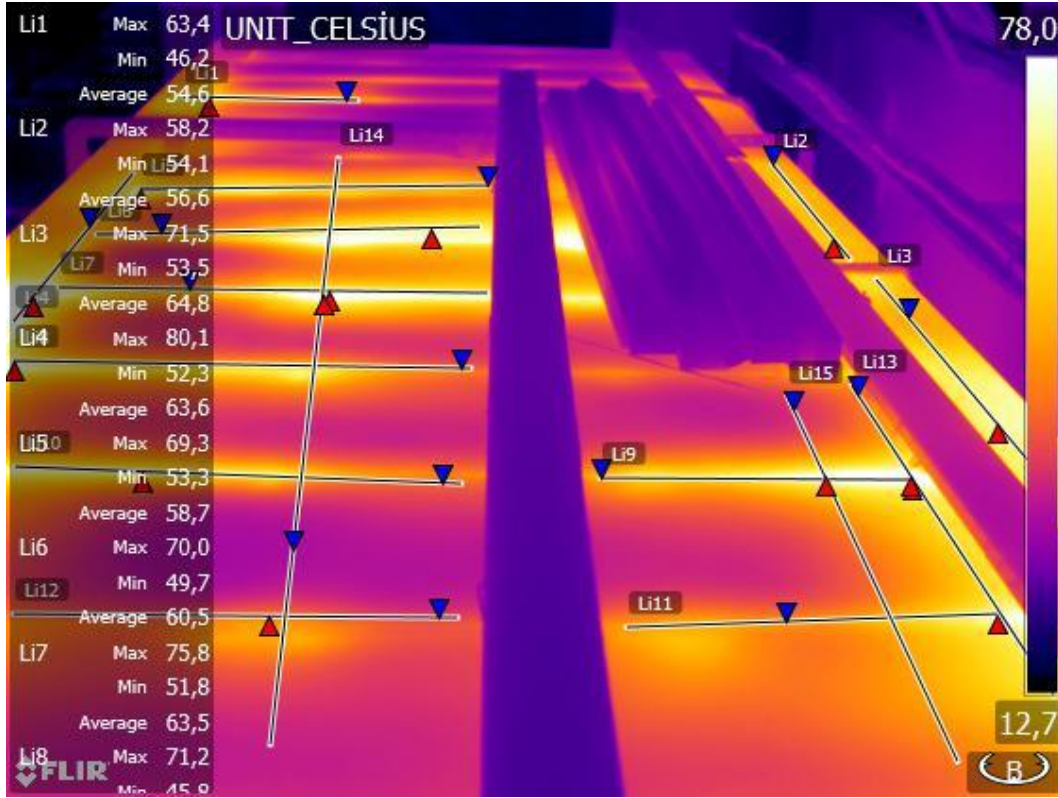
Termik fırını için yapılan ilk ölçüm sonuçlarındaki termal kamera görüntüleri, elde edilen verilerle oluşturulan enerji kaybı ve neden olduğu maddi kayıp tablosu aşağıda verilmiştir. Aşağıda bulunan Şekil 8.28., Şekil 8.29., ve Şekil 8.30. ilk termal kamera ile ölçüm sonuçlarındaki verileri kapsamaktadır.



Şekil 8.28. Termik fırını ön yüzey.



Şekil 8.29. Termik fırını arka yüzey.



Şekil 8.30. Termik fırını yan yüzey.

Tablo 8.10. Termik fırını ilk ölçüm sonuçları.

Özellikler	Birim	Değer
Hava Sıcaklığı	°C	21
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	55,2
Enerji Kaybı	kWh /Ay	10405,5
Maddi Kayıp	TL /Ay	2663,8
1 kWh	TL	0,256

Tablo 8.10.'daki ilk sonuçlara göre tüm yüzeylerdeki ortalama sıcaklık 55,2°C'dir. İdeal değeri yaklaşık 30 - 40°C olması beklenen bu makinalarda enerji verimliliğinin sağlanması amacıyla aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

#### 8.4.1.2. Termik fırın revize önerileri

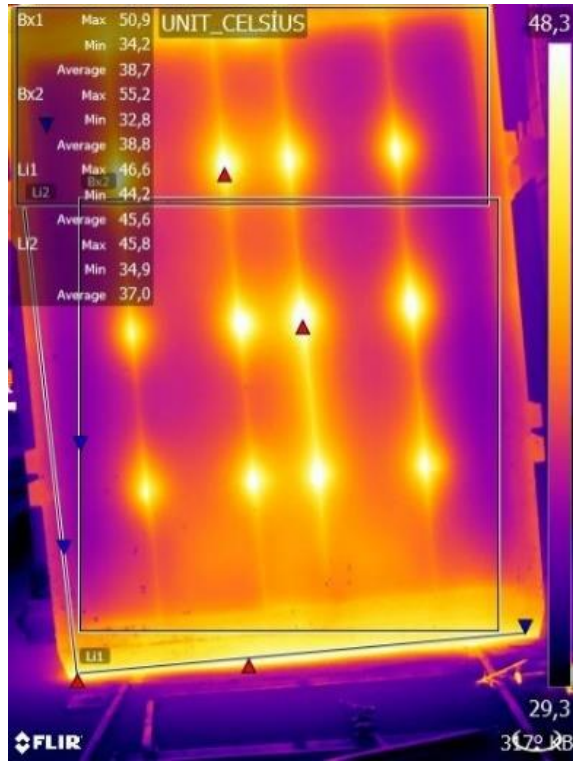
Fırın zemin ile birleşiminde izolasyon uygundur. Fakat kapak contalarının değiştirilmesi uygun olur. Kapağın sıkışarak kapanmasını sağlamak için üst kısımlarında açılı verilerle kapağın kendi ağırlığıyla sıkışması sağlanabilir. Açılan



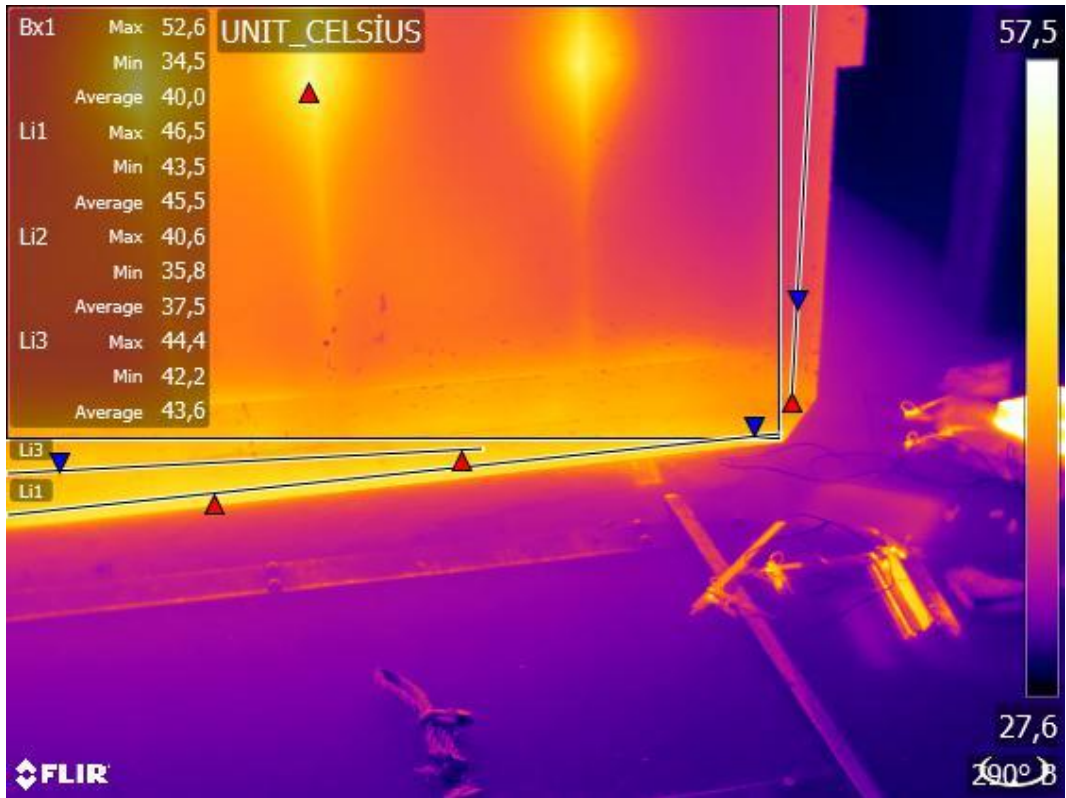
levhalar arasında izolasyon amaçlı köpük malzemeler ile doldurulması uygun olacaktır.

#### 8.4.1.3. Termik fırın revize sonrası ölçümleri ve sonuçlar

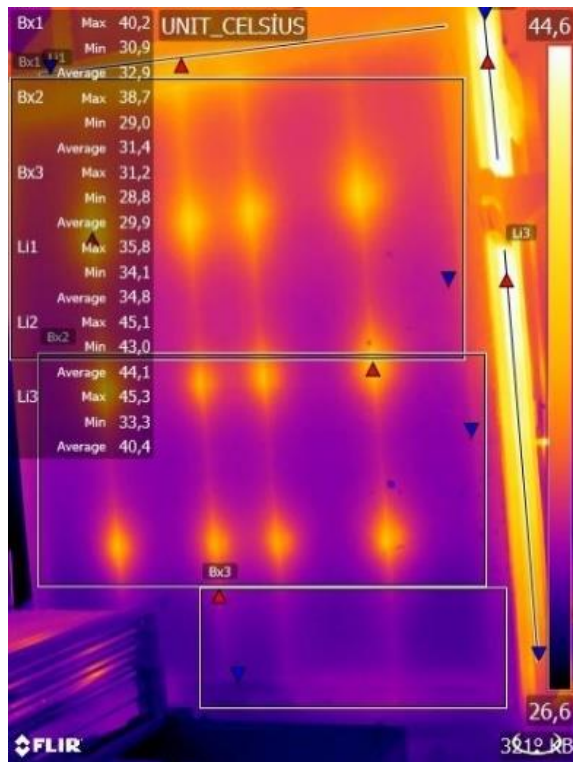
Termik fırını için mekanik tamir ve izolasyon çalışmaları sonrası yapılan ikinci ölçüm sonuçlarındaki termal kamera görüntüleri, elde edilen verilerle oluşturulan enerji kaybı ve neden olduğu maddi kayıp tablosu aşağıda verilmiştir. Şekil 8.31., Şekil 8.32., Şekil 8.33. ve Şekil 8.34.'te revizyon sonrası ölçümler verilmiştir. Bu makinada ön kapak revize önerileri sonrası mekanik olarak tamir edilmiştir.



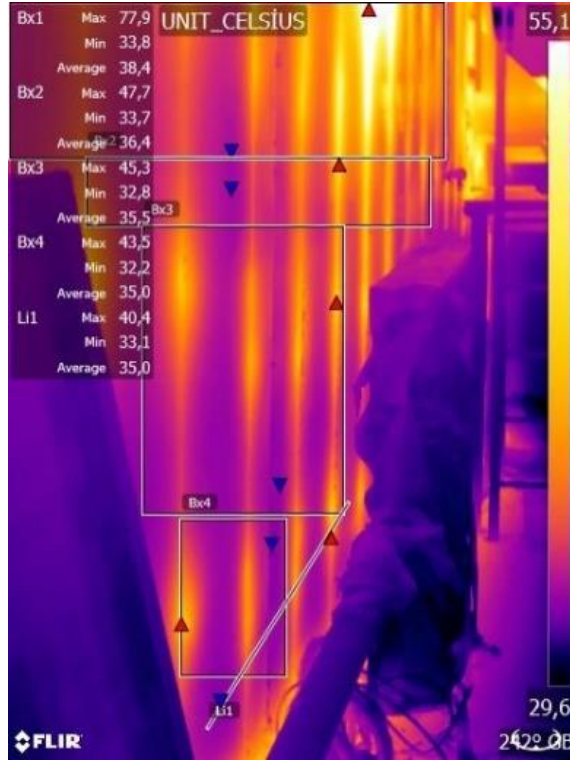
Şekil 8.31. Termik fırını revize sonrası ön yüzey.



Şekil 8.32. Termik fırını revize sonrası ön kapak.



Şekil 8.33. Termik fırını revize sonrası arka yüzey.



Şekil 8.34. Termik fırını revize sonrası yan yüzeyi.

Tablo 8.11. Termik fırını revize sonrası ölçüm sonuçları.

Özellikler	Birim	Değer
Hava Sıcaklığı	°C	23
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	43,2
Enerji Kaybı	kWh /Ay	6515
Maddi Kayıp	TL /Ay	1667,8
1 kWh	TL	0,256

İlk sonuçların verildiği Tablo 8.10. ve revize sonrası sonuçların bulunduğu Tablo 8.11. revize sonrası ölçümlerdeki enerji kayıpları ve maddi kayıplar karşılaştırıldığında 3890,5 kWh/Ay'lık ve buna takabul eden 996 TL/Ay'lık bir kazanç görülmektedir. İlk ölçümlerde ve ikinci ölçümlerde makinanın aylık kullanım saati 220 saat olduğu belirlenmiştir. Revize işlemleri (izolasyon ve mekanik tamir) sırasında oluşan 1000 TL'lik maliyet 1 ay içerisinde kendini amorti edip, daha sonraki süreçler için firmaya enerji kaybının azalması dolayısı ile maddi kaybın azalması olanağını sunmuştur.

## 8.5. Boya Kürleme Fırını

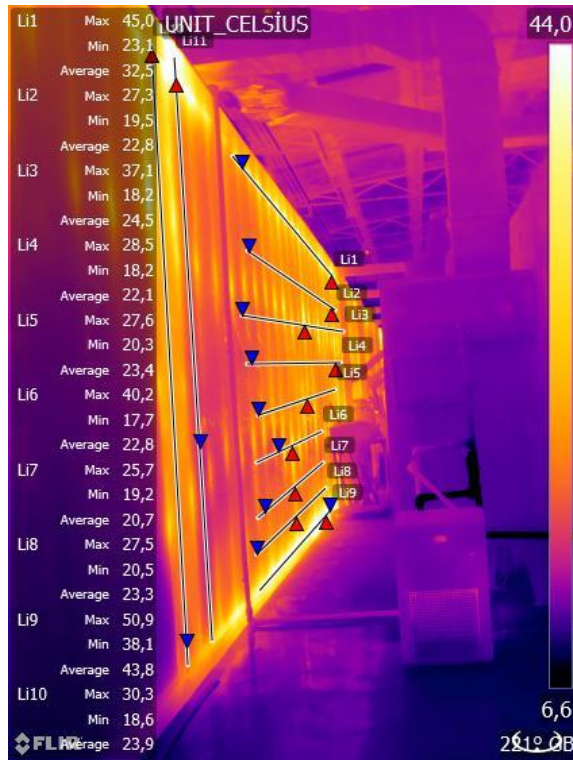
### 8.5.1. Boya kürleme fırını Ölçümleri

#### 8.5.1.1. Boya kürleme fırını ilk ölçümleri

Boya kürleme fırını için yapılan ilk ölçüm sonuçlarındaki termal kamera görüntüleri ve elde edilen verilerle oluşturulan enerji kaybı ve neden olduğu maddi kayıp tablosu aşağıda verilmiştir. Aşağıda bulunan Şekil 8.35. ve Şekil 8.36. ilk termal kamera ile ölçüm sonuçlarındaki verileri kapsamaktadır.



Şekil 8.35. Boya kürleme fırını yan yüzey.



Şekil 8.36. Boya kürleme fırını yan yüzeyi.

Tablo 8.12. Boya kürleme fırını ilk ölçüm sonuçları.

Özellikler	Birim	Değer
Hava Sıcaklığı	°C	16
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	30
Enerji Kaybı	kWh /Ay	6725,5
Maddi Kayıp	TL /Ay	1721,7
1 kWh	TL	0,256

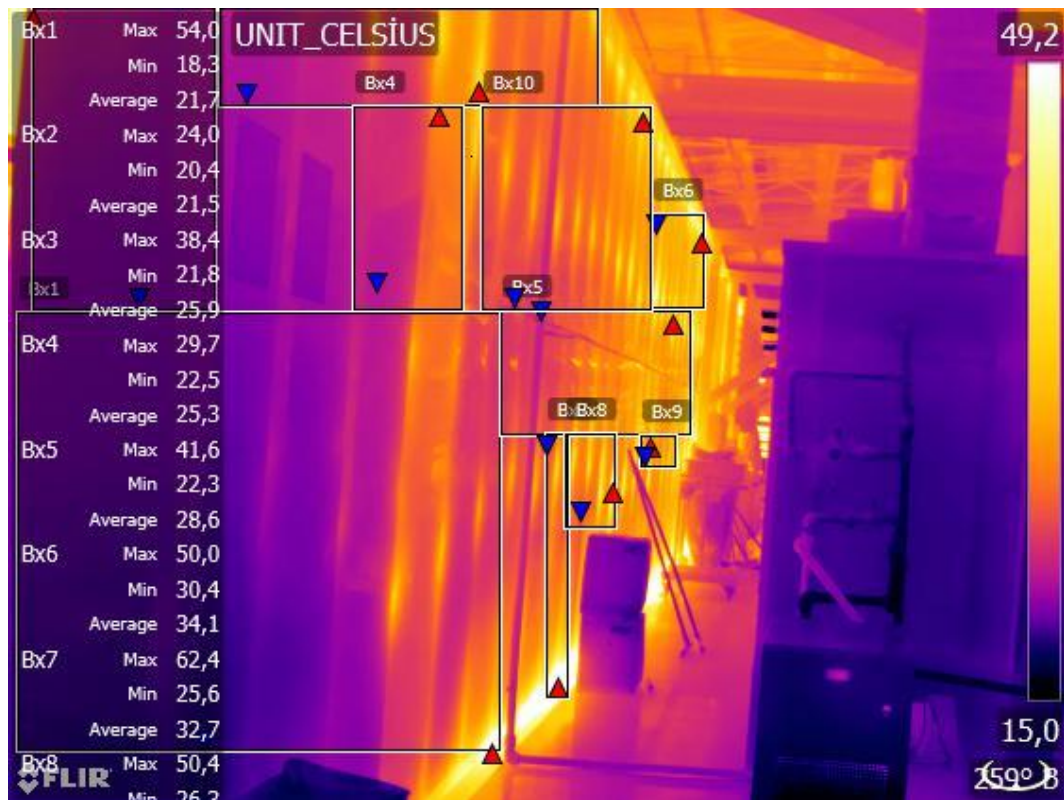
Tablo 8.12.'deki ilk sonuçlara göre tüm yüzeylerdeki ortalama sıcaklık 30°C'dir. Bu yüzeyler ortalama sıcaklığı bu makina için uygundur. İş yoğunluğundan dolayı bakımları zamanında yapılamayan, kaplaması zamanla aşınabilecek veya mekanik olarak hasara uğrayabilecek bir sistem mevcuttur. Bu nedenle revize önerilerinin de dikkate alınması gerekmektedir.

### 8.5.1.2. Boya kütleme fırını revize önerileri

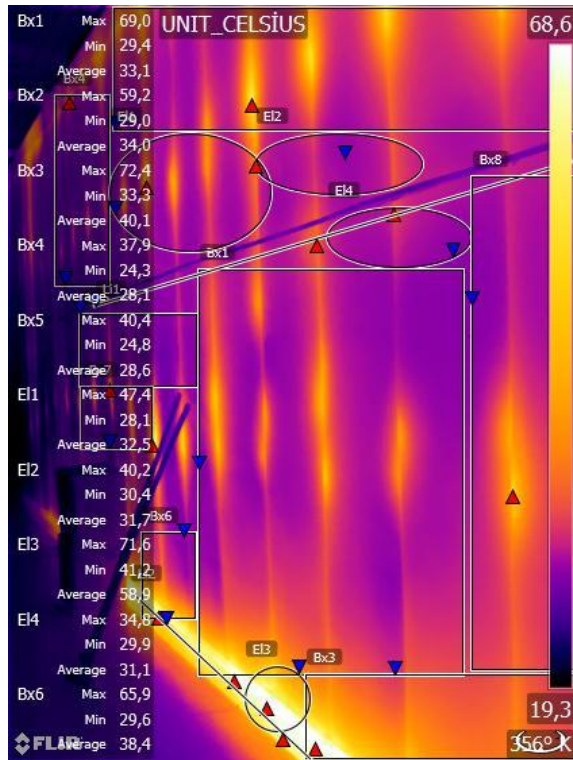
Fırın genel olarak başarılıdır. Fırın zemin noktası ve girişte-çıkışta ısı kayıpları mevcuttur. Zemine ısı yalıtımı (termal macun veya muadili malzeme) yapılması uygundur. Fırın çıkışına ısı perdesi yapılabilir.

### 8.5.1.3. Boya kütleme fırını revizyon sonrası ölçümleri ve sonuçlar

Boya kütleme fırını için ikinci ölçüm sonuçlarındaki termal kamera görüntüleri ve elde edilen verilerle oluşturulan enerji kaybı ve neden olduğu maddi kayıp tablosu aşağıda verilmiştir. Şekil 8.37. ve Şekil 8.38.'de revize sonrası ölçümler verilmiştir. Bu makinada revize önerileri ile ilgili herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.



Şekil 8.37. Boya kütleme fırını revize sonrası yan yüzeyi.



Şekil 8.38. Boya kürleme fırını revize sonrası yan yüzeyi.

Tablo 8.13. Boya kürleme fırını revize sonrası ölçüm sonuçları.

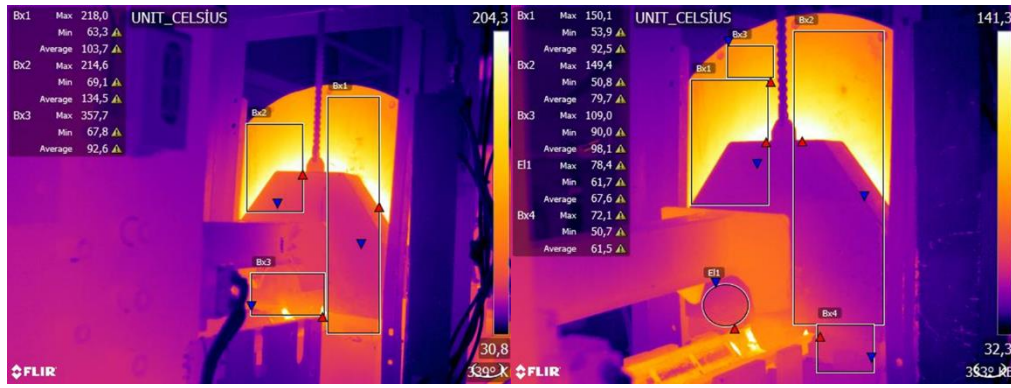
Özellikler	Birim	Değer
Hava Sıcaklığı	°C	18
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	38
Enerji Kaybı	kWh /Ay	10648
Maddi Kayıp	TL /Ay	2725,8
1 kWh	TL	0,256

İlk sonuçların verildiği Tablo 8.12. ve revize sonrası sonuçların bulunduğu Tablo 8.13. revize sonrası ölçümlerdeki enerji kayıpları ve maddi kayıplar karşılaştırıldığında 2704 kWh/Ay'lık ve buna takabul eden 692 TL/Ay'lık bir kayıp görülmektedir. İlk ölçümlerde makinanın aylık kullanım saati 264 olmakla birlikte ikinci ölçümlerde 234 saat olduğu belirlenmiştir. Eşit şartlarda değerlendirme yapılması amacıyla ikinci ölçümlerdeki aylık çalışma saati ve ortam sıcaklığı ilk ölçümlere eşitlendiğinde enerji kaybı 10648 kWh/Ay olmaktadır. Bu durum için ölçümler karşılaştırıldığında 3922 kWh/Ay'lık ve buna takabul eden 1004 TL/Ay'lık bir kayıp olduğunu söylemek mümkündür. Kaybın nedeni firmanın herhangi bir revize yapmaması, bu süreç

zarfında makinanın bakımlarının yapılmaması ve makinadaki yıpranma olarak söylenebilir.

## 8.6. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan tüm ölçümler sonucunda elde edilen sonuçlara göre ilk ölçümler ve ikinci ölçümler arasındaki enerji verimliliği ve maddi kayıplardaki düşüş oranları tespit edilmiştir. Yüzeyle ortalama sıcaklığında en fazla düşüş ve en fazla maliyet düşüşü yaşanan makinalar tespit edilmiştir.



Şekil 8.39. Biyet tav firmı 1 ilk ölçüm.

Şekil 8.40. Biyet tav firmı 1 ikinci ölçüm.

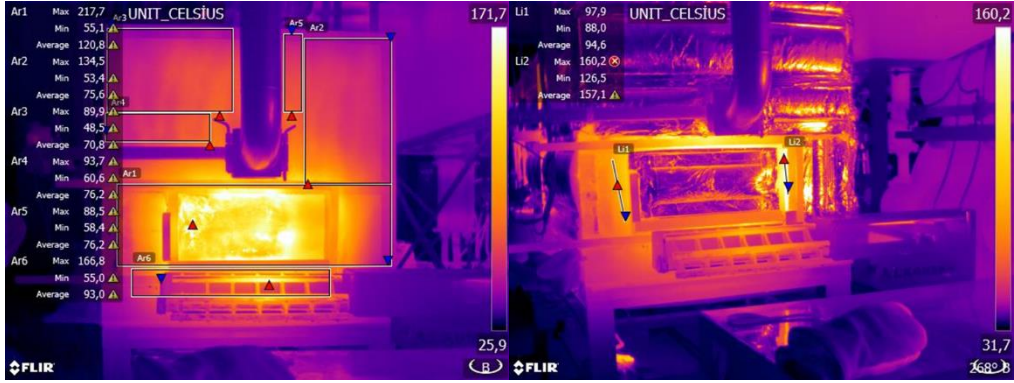
Şekil 8.39. ve Şekil 8.40.'ta biyet tav firmı ilk ve revizyon sonrası ölçümlerin termal kamera görüntüleri verilmiştir. Termal görüntülerde sıcaklık olarak farklar bulunmaktadır.

Tablo 8.14. Birinci biyet tav ölçüm sonuçları karşılaştırılması.

Özellikler	Birim	İlk Ölçüm Değer	Son Ölçüm Değer	Yüzde Değişim
Hava Sıcaklığı	°C	16	23	
Yüzeyle Ortalama Sıcaklığı	°C	102	90	%11,76
Enerji Kaybı	kWh /Ay	25730	4353	
Maddi Kayıp	TL /Ay	6587	1114	%83
1 kWh	TL	0,256	0,256	



Tablo 8.14.'te gösterilen birinci biyet tav ölçüm sonuçlarına göre yüzeylerin ortalama sıcaklığı %11,76 oranında azalmıştır. Bu azalmayla birlikte maddi kayıp %83 oranında azalmıştır.



Şekil 8.41. Biyet tav fırını 2 ön yüzey ilk ölçüm.

Şekil 8.42. Biyet tav fırını 2 ön yüzey ikinci ölçüm.



Şekil 8.43. Biyet tav fırını 2 yan yüzey ilk ölçüm.

Şekil 8.44. Biyet tav fırını 2 yan yüzey ikinci ölçüm.

Şekil 8.41. ve Şekil 8.42.'de biyet tav fırını 2 ön yüzey ilk ve revizyon sonrası ölçümlerin termal kamera görüntüleri ile Şekil 8.43. ve Şekil 8.44.'te biyet tav fırını 2 yan yüzey ilk ve revizyon sonrası termal kamera görüntüleri paylaşılmıştır. Fırının tüm yüzeylerine kaplama uygulandığı için resimler arasında kaplama farkı mevcuttur.

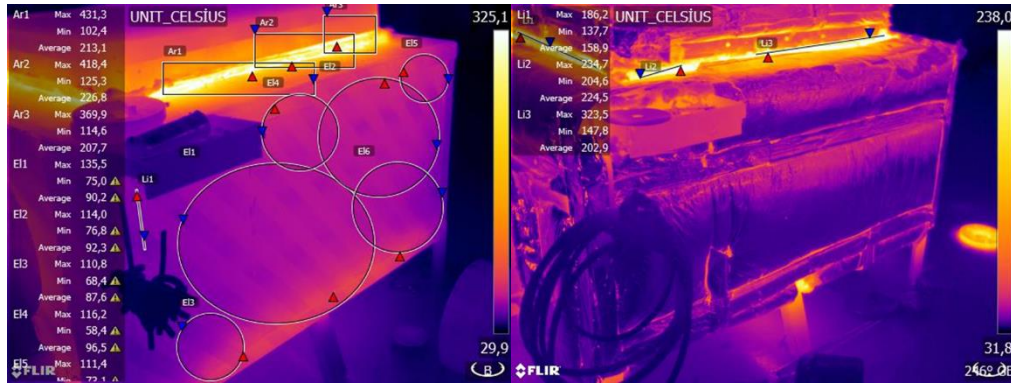
Tablo 8.15. İkinci biyet tav ölçüm sonuçları karşılaştırılması.

Özellikler	Birim	İlk Ölçüm Değer	Son Ölçüm Değer	Yüzde Değişim
Hava Sıcaklığı	°C	22	25	
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	62,5	53	%15,2

Tablo 8.15. (Devamı)

Enerji Kaybı	kWh /Ay	3232	2303	
Maddi Kayıp	TL /Ay	827	589,5	%28
1 kWh	TL	0,256	0,256	

Tablo 8.15.'te gösterilen ikinci biyet tav ölçüm sonuçlarına göre yüzeylerin ortalama sıcaklığı %15,2 oranında azalmıştır. Bu azalmayla birlikte maddi kayıp %28 oranında azalmıştır.



Şekil 8.45. Kalıp tav fırını yan yüzey ilk ölçüm

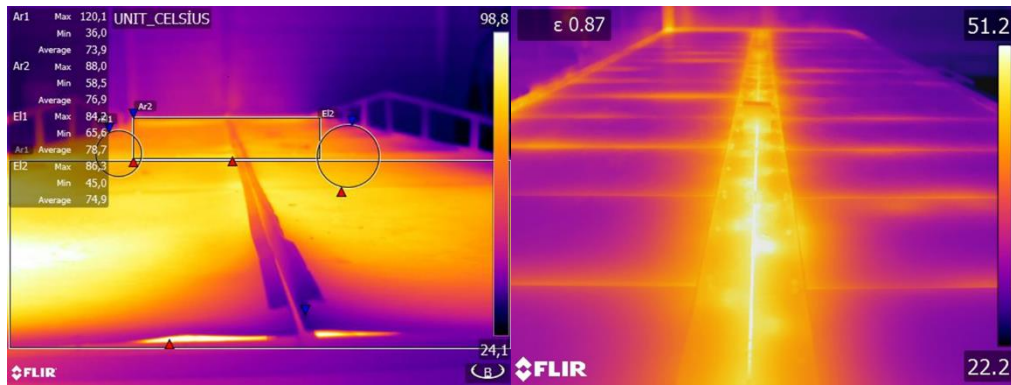
Şekil 8.46. Kalıp tav fırını yan yüzey ikinci ölçüm

Şekil 8.45. ve Şekil 8.46.'da kalıp tav fırını yan yüzey ilk ve revizyon sonrası ölçümlerin termal kamera görüntüleri paylaşılmıştır. Fırının tüm yüzeylerine kaplama uygulandığı için resimler arasında kaplama farkı mevcuttur.

Tablo 8.16. Kalıp tav ölçüm sonuçları karşılaştırılması.

Özellikler	Birim	İlk Ölçüm Değer	Son Ölçüm Değer	Yüzde Değişim
Hava Sıcaklığı	°C	21	25	
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	98,4	57,2	%41,87
Enerji Kaybı	kWh /Ay	1799	758	
Maddi Kayıp	TL /Ay	460,5	194	%57,87
1 kWh	TL	0,256	0,256	

Tablo 8.16.'da gösterilen kalıp tav ölçüm sonuçlarına göre yüzeylerin ortalama sıcaklığı %41,87 oranında azalmıştır. Bu azalmayla birlikte maddi kayıp % 57,87 oranında azalmıştır.



Şekil 8.47. Boya kurutma fırını üst yüzey ilk ölçüm. Şekil 8.48. Boya kurutma fırını üst yüzey ikinci ölçüm.

Şekil 8.47. ve Şekil 8.48.'de boya kurutma fırını üst yüzey ilk ve revizyon sonrası ölçümlerin termal kamera görüntüleri paylaşılmıştır. Bu fırında kapak değişikliği gerçekleştirilmiştir.

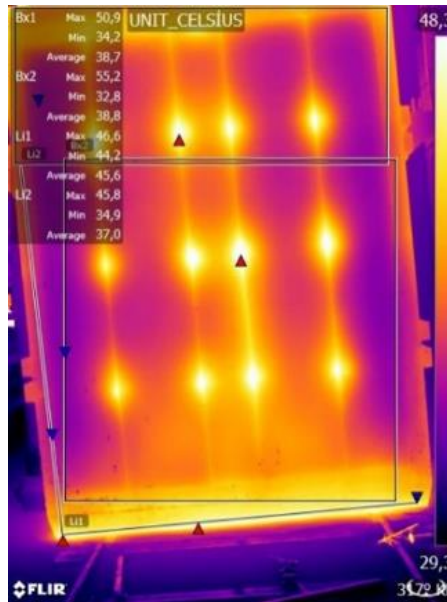
Tablo 8.17. Boya kurutma fırını ölçüm sonuçları karşılaştırılması.

Özellikler	Birim	İlk Ölçüm Değer	Son Ölçüm Değer	Yüzde Değişim
Hava Sıcaklığı	°C	20	23	
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	62	41,5	%49,4
Enerji Kaybı	kWh /Ay	5978	2298	
Maddi Kayıp	TL /Ay	1530,4	588,3	%61,56
1 kWh	TL	0,256	0,256	

Tablo 8.17.'de gösterilen boya kurutma fırını ölçüm sonuçlarına göre yüzeylerin ortalama sıcaklığı %49,4 oranında azalmıştır. Bu azalmayla birlikte maddi kayıp % 61,56 oranında azalmıştır.



Şekil 8.49. Termik fırın ön yüzey ilk ölçüm.



Şekil 8.50. Termik fırın ön yüzey ikinci ölçüm.

Şekil 8.49. ve Şekil 8.50.'de termik fırın ön yüzey ilk ve revizyon sonrası ölçümlerin termal kamera görüntüleri görüntüleri paylaşılmıştır. Fırının ön kapak alt sınırında mekanik tamirden dolayı fark mevcuttur.

Tablo 8.18. Termik fırın ölçüm sonuçları karşılaştırılması.

Özellikler	Birim	İlk Ölçüm	Son Ölçüm	Yüzde Değişim
		Değer	Değer	
Hava Sıcaklığı	°C	21	23	
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	55,2	43,2	%21,74

Tablo 8.18. (Devamı)

Enerji Kaybı	kWh /Ay	10405,5	6515	
Maddi Kayıp	TL /Ay	2663,8	1667,8	%37,4
1 kWh	TL	0,256	0,256	

Tablo 8.18.'de gösterilen termik fırın ölçüm sonuçlarına göre yüzeylerin ortalama sıcaklığı %21,74 oranında azalmıştır. Bu azalmayla birlikte maddi kayıp % 37,4 oranında azalmıştır.

Tablo 8.19. Boya küreleme fırını ölçüm sonuçları karşılaştırılması.

Özellikler	Birim	İlk Ölçüm Değer	Son Ölçüm Değer	Yüzde Değişim
Hava Sıcaklığı	°C	16	18	
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	30	38	%26,7
Enerji Kaybı	kWh /Ay	6725,5	10648	
Maddi Kayıp	TL /Ay	1721,7	2725,8	%58,32
1 kWh	TL	0,256	0,256	

Tablo 8.19.'da boya küreleme fırını ölçüm sonuçlarına göre yüzeylerin ortalama sıcaklığı herhangi bir izolasyon işlemi yapılmadığı için %26,7 oranında artmıştır. Bu artışla birlikte maddi kayıp % 58,32 oranında artmıştır.

Tablo 8.20. Tüm sonuçların karşılaştırılması.

Özellikler	Birim	İlk Ölçüm Değer	Son Ölçüm Değer	Yüzde Değişim
Hava Sıcaklığı	°C	20	23	
Tüm Sistemler Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	76	57	%25
Enerji Kaybı	kWh /Ay	9428,9	3245,4	
Tüm Sistemler Ortalama Maddi Kayıp	TL /Ay	2413,74	830,72	%65,58
1 kWh	TL	0,256	0,256	

Tablo 8.20.'de gösterilen tüm bu sonuçlar toplandığında izolasyon veya mekanik tamir yapılan makinaların yüzeyler ortalama sıcaklığı %25 oranında azalmış olup, maddi kayıp %65,58 oranında azalmıştır.

Tablo 8.21’de görüldüğü gibi yüzeyler ortalama sıcaklığında en büyük düşüş boya kurutma fırınında meydana gelmiştir. Bu fırında yapılan üst kapağın değişimi çalışmasıyla birlikte %49,4 sıcaklık düşüşü sağlanmıştır.

Tablo 8.21. Sıcaklık düşüşü en fazla olan makine sonuçları.

Özellikler	Birim	İlk Ölçüm Değer	Son Ölçüm Değer	Yüzde Değişim
Tüm Sistemler Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	76	57	%25
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	62	41,5	%49,4

Tablo 8.22.’de görüldüğü gibi maddi olarak en büyük kazanç ise biyet tav fırını 1’de meydana gelmiştir. İlk ölçümler sonucunda toplam enerji kaybının %54,58’ini oluşturan biyet tav fırını 1 yapılan mekanik tamir ve düzeltme işlemleri sonucunda toplam enerji kaybının % 26,8’ini oluşturacak şekilde enerji verimliliği sağlanmıştır. Bu fırında normalde biyetin ısınması için verilmesi gereken ısıyı sistem dışarıya vermekteydi. Yapılan çalışma sonrasında brulörlerin klepelerinin doğru yöne ısı vermesi sağlanmasıyla birlikte %83’lük bir maddi kazanç sağlanmıştır.

Tablo 8.22. Enerji verimliliği en yüksek makine sonuçları.

Özellikler	Birim	İlk Ölçüm Değer	Son Ölçüm Değer	Yüzde Değişim
Yüzeyler Ortalama Sıcaklığı	°C	102	90	%11,76
Tüm Sistemler Enerji Kaybı	kWh /Ay	47144.5	16227	%65,58
Enerji Kaybı	kWh /Ay	25730	4353	%83
Tüm Sistemler Enerji Kaybı / Enerji Kaybı		% 54,58	% 26,8	
Maddi Kayıp	TL /Ay	6587	1114	%83
1 kWh	TL	0,256	0,256	

Bir sene sonunda belirtilen enerji verimliliğinden doğacak kazanç ile revize için harcanan maliyet farkının gelecekte değeri Tablo 8.23.’te gösterilmiştir. Gerçekleşebilir değer revize maliyeti için bileşik faiz oranı 1,1608, enerji verimliliğinden doğan kazanç için bileşik faiz oranı 12,86 belirlenmiştir.

Tablo 8.23. Gelecekteki değer tablosu.

Makineler	İlk Ölçüm Enerji Kaybı	İkinci Ölçüm Enerji Kaybı	Aylık Kazanç Miktarı	Revize Maliyeti	Gelecekteki Değer
Biyet Tav Fırını 1	25730 kWh	4353 kWh	3942 TL	2300 TL	47979,28 TL
Biyet Tav Fırını 2	3232 kWh	2303 kWh	237.8 TL	500 TL	2477,7 TL
Kalıp Tav Fırını	1799 kWh	758 kWh	266.5 TL	200 TL	3195 TL
Boya Kurutma Fırını	5978 kWh	2298 kWh	942 TL	5000 TL	6310,12 TL
Termik Fırın	10405.5 kWh	6515 kWh	996 TL	1000 TL	11647,76 TL

Tüm bu sonuçlar toplandığından bu yapılan çalışmaların tüm makinalarda ve tüm ekstrüzyon firmalarında yapılması durumunda Alüminyum sektörü bazından dünyadaki rekabet güçleri artacak, hammadde-üretim maliyetleri düşecek ve enerji talepleri oldukça azalacaktır.

### 8.7. Enerji Verimliliği Açısından Değerlendirme

Mekanik tamir veya izolasyonla, toplamda 6 adet makina için enerji kayıplarının önüne geçilmiştir. Enerji verimliliği çalışmaları sonucunda çok az revize maliyetleriyle çok ciddi bir maddi kayıp engellenmiştir. Sektörde aktif olarak çalışan 316 adet firma bulunmaktadır. Bu firmalarda ortalama 2 adet biyet tav fırını, 2 adet kalıp tav fırını, 1 adet termik fırını ve 1'er adet boya kurutma ve kütleme fırınları olduğu yaklaşık olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmanın alüminyum ekstrüzyon sektöründeki diğer makinalarda da uygulanması durumundaki elde edilebilecek enerji verimliliği miktarları Tablo 8.24.'te teorik olarak hesaplanmıştır.

Tablo 8.24. Enerji verimliliği değerlendirmesi.

Makineler	Engellenen enerji kayıpları	Sektörde bulunan yaklaşık makine sayısı	Bir yılda engellenecek enerji kayıpları
Biyet Tav Fırınları	24629 kWh (3 makina için)	632	62245445 kWh
Kalıp Tav Fırını	1041 kWh	632	7894944 kWh
Boya Kurutma Fırını	3680 kWh	316	13954560 kWh
Termik Fırın	3890,5 kWh	316	14752776 kWh

Tablo 8.24. Devamı.

Enerji verimliliği sektördeki tüm makinalar için uygulandığı zaman yıllık engellenen enerji kayıpları miktarı 98847745 kWh / Yıl olacaktır. Bu enerji verimliliği ile birlikte Sakarya'nın Geyve ilçesinde bulunan Doğançay Hidroelektrik Santralinin yıllık enerji üretiminin % 83'ü karşılanmış olacaktır. Doğançay Hidroelektrik Santalinin yıllık enerji üretimi yaklaşık olarak 119 GWh'tir.



## BÖLÜM 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Alüminyum imalat sektöründe ısı kaybının fazla olduğu üretimi ve ürünleri etkileyen 7 makine için enerji verimliliği kapsamında çalışmalar yapılmıştır. Çalışma kapsamında her makine için enerji-ısı kayıpları belirlenmiş ve çeşitli önerilerde bulunulmuştur. Makineler üzerindeki revize çalışmaları sonrasında tekrar yapılan ölçümlerde enerji-ısı kayıplarının değişimi tespit edilmiştir. İlk ve son ölçümler arasındaki enerji-ısı kazançları hesaplanmıştır. Biyet tav fırınlarında 24629 kWh/Ay, kalıp tav fırınında 1041 kWh/Ay'lık, termik fırında 3890,5 kWh/Ay'lık ve boya kurutma fırınında 3680 kWh/Ay'lık bir enerji kaybının önüne geçilmiş olup sadece 5 makine için ciddi bir enerji kazanımlarının olduğu tespit edilmiştir.

Makinaların revizyonu için toplam 9000 TL'lik izolasyon ve tadilata (mekanik tamir) yapılan bir harcama ile aylık 8510 TL kazanç elde edildiği tespit edilmiştir. Önerilmesine rağmen herhangi bir revizyon yapılmadan kullanılmaya devam eden boya kürleme fırınında süreç içerisinde 1004 TL'lik fazladan bir enerji-ısı kaybının olduğu tespit edilmiştir. İlk ölçüm ve revizyon önerileri sonrasında, revize edilme maliyetinin yüksek olduğu biyet tav fırını-3'ün yerine yeni bir fırının alınması enerji verimliliği açısından daha uygun olduğu anlaşılmıştır. Enerji verimliliği hesaplarında yeni alınan biyet tav fırını-3'ün ölçümleri yapılmadığı için hesaplamalara katılmamıştır.

Yapılan tadilat ve izolasyonların sonrasında, boya kurutma fırınının tüm yüzeylerinin ortalama sıcaklığında %25 oranında enerji-ısı kaybının azaldığı tespit edilmiştir. Genel olarak enerji-ısı maliyetleri azalması bakımından en iyi verimlilik %83 ile biyet tav fırını – 1 'den elde edilmiştir.

Tüm alüminyum sektörü için uygulanması durumunda yıllık 98847745 kWh/ Yıl'lık bir enerji kaybının önüne geçileceği teorik olarak hesaplanmıştır. Bu elde edilen enerji verimliliği ile birlikte Sakarya ilinin Geyve ilçesinden bulunan Doğançay Hidroelektrik Santralinin yıllık enerji üretiminin %83 'ünü karşılayacağı hesaplanmıştır.

Alüminyum üretiminde kullanılan makineler üzerinde yapılan enerji verimliliği çalışmaları sayesinde çok ciddi enerji kayıplarının önüne geçilebileceği ayrıca sektörde kullanılan imalat makinalarının ömürlerini arttığı tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Toygarlar, H., Endüstriyel Tesiste Enerji Verimliliği Üzerine Bir Çalışma. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [2] Özel, C., İşletmelerde Enerji Verimliliği Çalışmalarının Etkilerinin İncelenmesi ve Hizmet Sektöründe Bir Araştırma. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [3] Akça, Y., Koç, E., Önder, S., Alüminyum şekillendirme tesislerinde enerji verimliliği ve sera gazlarının azaltılması. 8. Alüminyum Sempozyumu İstanbul, 234 – 241, 2017.
- [4] Yılmaz, M., Alüminyum Sektör Değerlendirmesi. Metalurji Dergisi, 177 : 23-29, 2015
- [5] Cabak, B., Tekstil Fabrikasında Enerji Verimliliği Uygulamaları. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [6] Çevik, S. M., Bir Gıda Fabrikasında Enerji Verimliliği Performans Değerlendirilmesi. Karaman MehmetBey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [7] Yalçınkaya, F., Sanayi Etüdü Özelinde Bir Tekstil Fabrikasının Enerji Verimliliği. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- [8] Kaya, M., Sanayide Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Basınçlı Hava Sistemlerinde Verimlilik. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Programı, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [9] Hepbaşı A., Enerji Verimliliği ve Yönetim Sistemi, Esen Ofset Matbaacılık, 3-448, 2010.

- [10] Herring, H., Is Energy Efficiency Environmentally Friendly?. Energy & Environment, 11(3): 313-325, 2000.
- [11] Korkmaz, S., Enerji Sektöründeki Piyasa Aksaklıkları Ve Bunların Düzenlenmesi. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [12] [http://www.tskb.com.tr/i/content/486\\_1\\_turkiye-enerji-ve-enerji-verimliliği-calismalari-raporu-Temmuz-2010.pdf](http://www.tskb.com.tr/i/content/486_1_turkiye-enerji-ve-enerji-verimliliği-calismalari-raporu-Temmuz-2010.pdf)., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [13] Kösetorunu, A., Türkiye’de Enerji Sektörünün Geleceği. Dış Ticaret Dergisi, 6 : 42, 1997.
- [14] Yalçın, E., Enerji Tasarrufunun Çevre Üzerine Etkileri. Çevre-Enerji Kongresi Ankara, 72, 1997.
- [15] Gökpınar, V., İnşaat Çeliği ve Yassı Mamul Üreten Demir Çelik Tesislerinde Enerji Verimliliği ve Yan Ürünlerin Değerlendirilmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [16] Cin, R., Türkiye’de Enerji Verimliliği Yükümlülükleri Sisteminin Yapılandırılması Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [17] Enerji Verimliliği Kanunu ( 2007, 2 Mayıs ), Resmi Gazete (Sayı:26510) <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/05/20070502-2.htm>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [18] Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023 ( 2012, 25 Şubat ), Resmi Gazete (Sayı:28215), <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/02/20120225-7.htm>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [19] <http://www.eyoder.org.tr/UlusalEVEP.pdf>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [20] Bayramoğlu, T., 2018. Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Etkileri : Bayburt Örneği. İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 1:1-17.
- [21] <https://medyaenerji.com/2018/02/13/turkiyenin-enerji-projeksiyonu/>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [22] Değirmenci, A.İ., Türkiye’de Uygulanan Yalıtım Tekniklerinin Araştırılmasında Termal Kameranın Etkin Biçimde Kullanılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2010.

- [23] Engin, P., Türkiye’de Enerji Yönetim Sistemi Uygulamalarının Sanayi Kuruluşları ve Sanayide Enerji Verimliliği Projeleri Açısından Etkinliklerinin Değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [24] Kavak, K., Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi. İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi, 2005.
- [25] Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ( 2008, 5 Aralık ), Resmi Gazete (Sayı:27075), <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [26] TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, (2012), *Enerji Verimliliği Raporu* (Yayın No: GY/2012/3), [http://www.emo.org.tr/ekler/db99a0f7088b168\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/db99a0f7088b168_ek.pdf)., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [27] Doğan, H., Yıllankırkan, N., Türkiye’nin Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Projeksiyonu. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3 (1): 375-383, 2015.
- [28] [http://www.yegm.gov.tr/projeler/document/Etut\\_20Aralik2006\\_ECalikoglu.pdf](http://www.yegm.gov.tr/projeler/document/Etut_20Aralik2006_ECalikoglu.pdf)., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [29] Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023 ( 2018, 2 Ocak ), Resmi Gazete (Sayı:30289 Mükerrer) <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/01/20180201M1-1.htm>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [30] TMMOB Makine Mühendisleri Odası, (2008), *Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği Oda Raporu*, [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/a551829d50f1400\\_ek.pdf](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/a551829d50f1400_ek.pdf)., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [31] Akdaş, M., Ömür, B., Sanayide Tesisat Yalıtımının Önemi ve Uygulamaları. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 151 : 30-43, 2016.
- [32] TÜİK, (2016), *Yıllık Gayrisafi Yurtiçi Hasıla* (Sayı:24921) <http://www.tuik.gov.tr/HbPrint.do?id=24921>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.

- [33] Günay, D., (2006), *Alüminyum Sektörü Hakkında Bir Değerlendirme* (Yayın No:GA-06-07-08),  
[http://www.kalkinma.com.tr/data/file/raporlar/ESA/ga/2006-GA/GA-06-07-08\\_Aluminyum\\_Sektoru\\_Hakkinda\\_Bir\\_Degerlendirme.pdf](http://www.kalkinma.com.tr/data/file/raporlar/ESA/ga/2006-GA/GA-06-07-08_Aluminyum_Sektoru_Hakkinda_Bir_Degerlendirme.pdf)., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [34] Kubaş, A., Saral, M., Alüminyum Sektör Analizi. *Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi*, 2017 (03): 82-87, 2017.
- [35] [http://www.cuhadaroglu.com/images/gallery\\_images/yatirimci-sunumu-2018-9-aylik.pdf](http://www.cuhadaroglu.com/images/gallery_images/yatirimci-sunumu-2018-9-aylik.pdf)., Erişim Tarihi : 31.03.2019.
- [36] A&T Bank, (2017). *Alüminyum Sektörü*.  
[https://www.atbank.com.tr/documents/ALUMINYUM%20SEKTORU\\_AGUSTOS%202017.PDF](https://www.atbank.com.tr/documents/ALUMINYUM%20SEKTORU_AGUSTOS%202017.PDF)., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [37] <http://www.ozenaluminyum.com/kurumsal/aluminyum-ekstruzyon/>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [38] Ayan, S. M. (2017). *Alüminyum Ekstrüzyon Profil Tasarım Prensipleri ve Ürün Tasarım İyileştirme Tavsiyeleri-Pratik iyileştirme önerileri*.  
<https://docplayer.biz.tr/2818006-Aluminyum-ekstruzyon-profil-tasarim-prensipleri-ve-urun-tasarim-iyilestirme-tavsiyeleri-pratik-iyilestirme-onerileri.html>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [39] <https://www.noktametal.com/firin1.htm>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [40] <https://www.encotherm.com/encotherm/gsf.htm>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [41] [http://www.elboy.com.tr/aluminyumbiyetfirinlari\\_1\\_79.htm](http://www.elboy.com.tr/aluminyumbiyetfirinlari_1_79.htm)., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [42] <http://www.ecootherm.com.tr/kalip-isitma-firinlari/>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [43] <https://kalipdunyasi.com.tr/index.php?page=tr/arsiv/2012/141/aluminyum-ekstruzyon-kalip-malzemelerinden-beklentiler.html>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [44] <http://akpaas.com.tr/eloksal/>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [45] <https://www.encotherm.com/encotherm/sxm.htm>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [46] <https://www.baykalrezistans.com/urunler/elektrikli-ergitme-ocaklari.html>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.

- [47] Sözer, N., Türkiye’de İlgili Yönetmeliklere Uygun Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımı Çözümleri, Yalıtım Malzemeleri ve Bir Bina Projesi Üzerinde Uygulama Örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı İşletmesi Programı, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [48] <http://www.mantolamayaptir.com/yalitim/>, Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [49] <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/Bina-ve-Tesisatta-Isi-Yalitimi.pdf>, Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [50] <http://www.izocam.com.tr/f6-polietilen-kopuk---peflex.html>, Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [51] <http://www.izocam.com.tr/f5-kaucuk-kopuk---izocamflex.html>, Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [52] <http://www.izocam.com.tr/f1-camyunu.html>, Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [53] <http://www.izocam.com.tr/f2-tasyunu.html>, Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [54] [https://www.ravaber.com/SERAMIK\\_YUNU-455.htm](https://www.ravaber.com/SERAMIK_YUNU-455.htm), Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [55] [http://www.izocam.com.tr/f3-ekstrude-polistiren-\(xps\)-foamboard.html](http://www.izocam.com.tr/f3-ekstrude-polistiren-(xps)-foamboard.html), Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [56] <http://www.dinamik-izmir.com/metin.aspx?ID=27>, Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [57] [http://www.izocam.com.tr/f4-ekspande-polistiren-\(eps\)-izopor-ve-izopor-plus.html](http://www.izocam.com.tr/f4-ekspande-polistiren-(eps)-izopor-ve-izopor-plus.html), Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [58] <https://www.izotermмуhendislik.com.tr/icerik/45/cam-kopugu>, Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [59] <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/egitim-faaliyetleri/izoder-ytu-genel-bilgiler-td.pdf>, Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [60] <http://kiltas.com.tr/kalsiyum-silikat/>, Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [61] <https://www.izotermмуhendislik.com.tr/icerik/50/kalsiyum-silikat>, Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [62] <http://aycayapi.net/hizmetlerimiz/mantolama/mantolama-kullanilan-malzemeler/fenol-kopugu/>, Erişim Tarihi: 31.03.2019.

- [63] <http://www.ema.gen.tr/poliuretan-nedir/>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [64] <https://www.izoterm mühendislik.com.tr/icerik/44/poliuretan.>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [65] <https://www.gnyapi.com.tr/ses-yalitim-malzemeleri/>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [66] Aslan, S., Mühendislik Uygulamalarında Termal Kamera Kullanımı. İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi,2016.
- [67] Akça, Y., Coşkun, M., Önder, S., Uysal, Ü., Alüminyum Ekstrüzyon İmalat Tesisinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi. 4.Uluslararası Anadolu Enerji Sempozyumu, Edirne, 1691 – 1700, 2018.
- [68] <https://www.flir.com/products/t650sc/>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.
- [69] <https://www.sensorbv.nl/nl/flir-tools-software-17227918.html.>., Erişim Tarihi: 31.03.2019.



## ÖZGEÇMİŞ

Mert COŞKUN, 24.09.1991'de İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2009 yılında Yedikule Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Alüminyum Test, Eğitim ve Araştırma Merkezi'nde çalışmaya başladı. Burada Metal Eklemeli İmalat sorumluluğunu üstlenmektedir. Halen Alüminyum Test, Eğitim ve Araştırma Merkezinde görev yapmaktadır.