



ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

TERMÖELEKTRİK MODÜLLER İÇİN DOĞRUDAN METAL LAZER SİNERLEME EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ KULLANILARAK ALÜMİNYUM ALAŞIMI SOĞUTUCU TASARIMI VE ÜRETİMİ

DESIGN AND PRODUCTION OF ALUMINUM ALLOY
HEAT SINKS USING THE DIRECT METAL LASER
SINTERING MANUFACTURING METHOD FOR
THERMOELECTRIC MODULES

Yazarlar (Authors): Ömer Buğra Demiröz^{id}*, Savaş Dilibal^{id}

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Demiröz Ö.B., Dilibal S., “Termoelektrik Modüller İçin Doğrudan Metal Lazer Sinterleme Eklemeli İmalat Yöntemi Kullanılarak Alüminyum Alaşımı Soğutucu Tasarımı Ve Üretimi” Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind., 5(1): 23-33, (2021).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.860678

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

TERMoeLEKTRİK MODÜLLER İÇİN DOĞRUDAN METAL LAZER SİNERLEME EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ KULLANILARAK ALÜMİNYUM ALAŞIMI SOĞUTUCU TASARIMI VE ÜRETİMİ

Ömer Buğra Demiröz^a ^{*}, Savaş Dilibal^b 

^{a,b} İstanbul Gedik Üniversitesi, Lisansüstü Bilimler Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Programı, Türkiye

*Sorumlu Yazar: omer89bugra@gmail.com

(Geliş/Received: 13.01.2021; Düzeltme/Revised: 20.02.2021; Kabul/Accepted: 25.03.2021)

ÖZ

Doğru akım ile ısı kontrolüne olanak tanıyan yarı-iletken yapıdaki termoelektrik malzemeler, termoelektrik modül yüzeyleri arasında bir ısı farkı oluşturur. Termoelektrik modüllerde teknolojik imkânlar arttıkça değişik malzemelerin birleştirilmesiyle verimlilikleri artmaktadır. Termoelektrik modüllerde farklı yöntemlerle verimlilik artışı sağlanabilmesine rağmen üretildiği malzemelerin yapılarından kaynaklı verimliliklerini sınırlayan önemli faktörler bulunmaktadır. Farklı geometrilere soğutucuların temel amacı termoelektrik yüzeyinde oluşan ısının en hızlı şekilde ve malzemeye zarar vermeyecek şekilde soğutulmasını sağlamaktır. Soğutucu geometrisinde yapılacak değişikliklerle her bir yüzeyin ısı transferinin düzenlenerek, ısının eşit dağılımıyla sistemden hızlı ve güvenilir bir şekilde aktarılması sağlanmalıdır. Doğrudan (direkt) Metal Lazer Sinterleme (DMLS) eklemeli imalat yöntemi üç boyutlu model verilerinden belirlenen farklı geometrilere komponentler üretmek için katmanlar halinde birleştirilme sürecidir. Soğutucu model ölçütlerine uygun üretim parametrelerinin seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, eşit doluluk oranına sahip üç farklı geometrik yapıda tasarlanan alüminyum soğutucuların, eklemeli imalat yöntemlerinden biri olan doğrudan metal lazer sinterleme eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiştir. Tasarımı yapılan alüminyum soğutucuların doğrudan metal lazer sinterleme eklemeli imalat yöntemi ile yüksek hassasiyetle üretimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Termoelektrik Modül. Peltier. Alüminyum Soğutucu. Eklemeli İmalat.

DESIGN AND PRODUCTION OF ALUMINUM ALLOY HEAT SINKS USING THE DIRECT METAL LASER SINTERING MANUFACTURING METHOD FOR THERMOELECTRIC MODULES

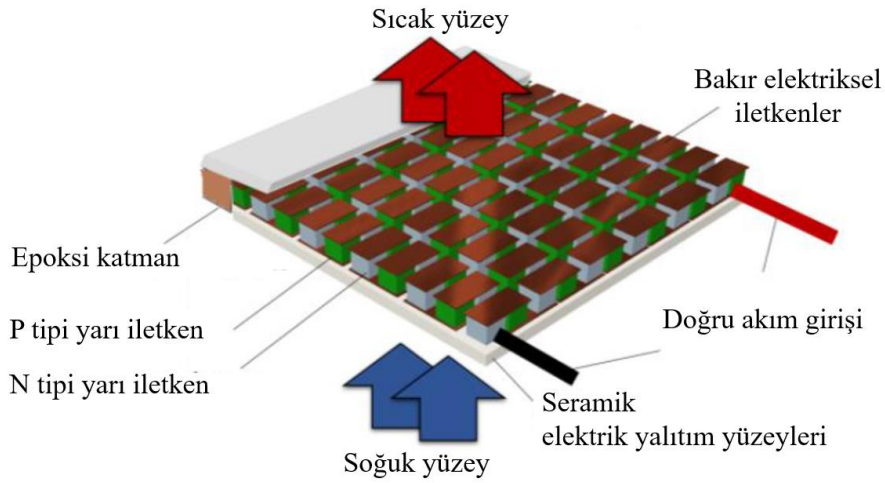
ABSTRACT

Semi-conductive thermoelectric materials allow heat control with the direct current to create a temperature difference between the surfaces of the thermoelectric module. As technological developments accelerate in thermoelectric modules, their efficiency increases by combining different materials. Although increased efficiency can be achieved by different methodologies in thermoelectric modules, there are significant factors that limit their efficiencies caused by the material structures. The main purpose of the heat sinks in different geometries is to ensure that the heat generated on the surface of the thermoelectric module is cooled in the fastest way without damaging the component. Direct Metal Laser Sintering (DMLS)-based additive manufacturing method is the process of joining layers to produce components with different geometries extracted from three-dimensional model data. Production parameters must be selected in accordance with the thermoelectric module criteria. In this study, heat sinks designed in three different geometric structures with equal fill ratio were produced by direct metal laser sintering additive manufacturing method, which is one of the additive manufacturing methods. Each designed heat sink has been produced with high precision using the direct metal laser sintering additive manufacturing method.

Keywords: Thermoelectric module. Peltier. Aluminum heat sink. Additive manufacturing.

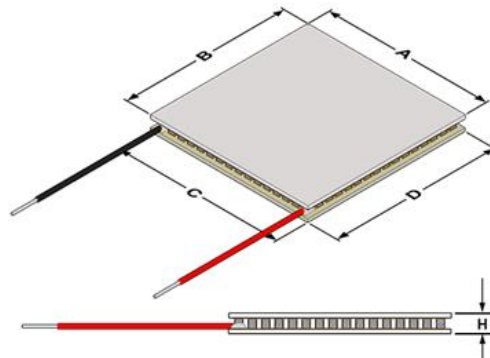
1. GİRİŞ

Günümüzde endüstriyel alanların birçoğunda eklemeli imalat teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilen imalat çalışmaları hızla yaygınlaşmaktadır [1-4]. Endüstride özellikle karmaşık yapıdaki alüminyum soğutucuların üretiminde eklemeli imalat teknolojileri zaman ve maliyet olarak talaşlı imalat teknolojileri ile üretimin önüne geçmeye başlamıştır. Bu alanlardan biri termoelektrik modüller için farklı geometrik yapılarda alüminyum soğutucuların imalatıdır. Termoelektrik, alan olarak sıvı ve katı maddelerde ısı ile elektrik enerjisinin birbirine dönüşümünü incelenmesidir. Termoelektrik alanında, termoelektrik modüller sıcaklık farkından oluşan elektrik akımı veya elektrik akımından oluşan ısı farkı oluşumu meydana getirirler. Sıcaklık farkının etkili olması, farklı polimerik malzemeler ile gerçekleştirilebilir ve yüksek verim alınabilir. Sıcaklık farkının etkili olması ve buna bağlı olarak gerçekleştirilecek ısı iletimler, günümüzde bu alanda kullanılan bizmut-teleryum malzemeler ile sağlanabilmektedir. Malzemenin uygun kullanılması ısı iletim sürecinde yüksek verim almasını sağlamaktadır [5]. Termoelektrik modül olarak kullanılan peltierler, yapısında P ve N tipi yarı iletken malzemelerden oluşan ve termoelektrik prensiplerle çalışan soğutucu olarak kullanılan elektronik devre elamanlarıdır [6-7].



Şekil 1. Potansiyel gerilim altındaki peltier etkisi [8].

Termoelektrik soğutucu (TEC) modül, üzerinde termoelektrik etki mevcut olan elektrik enerjisini ısı enerjine veya ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüşümünün genel bir terminolojidir. DC akım etkisi altında metal telden oluşan devrenin, bir yüzeyi soğurken diğer yüzeyi ısınır. Potansiyel gerilim altında olan bir TEC modülünün etkisi Şekil 1’de gösterilmiştir [6]. Termoelektrik soğutucular üzerinden belli bir oranda akım ve gerilim düştüğünde sahip oldukları iki yüzey arasında ısı farkı meydana getirir. Bunun yanında, termoelektrik modül yüzeyinde ısı farkı artırıldığında termoelektrik modülden düşük oranda akım ve gerilim elde edinilebilir. TEC12710 TEC modüller yapısında bizmut-teleryum (Bi_2Te_3) içeren termoelektrik modüllerdir [8]. Bu modüllerin geometrik yapısı Şekil 2’de gösterilmiştir. TEC modül geometrik yapısı incelendiğinde, A: 40 mm, B: 40mm, C: 40 mm, D: 40 mm H: 5 mm ölçülerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 2. TEC – 12710 geometrik yapısı.

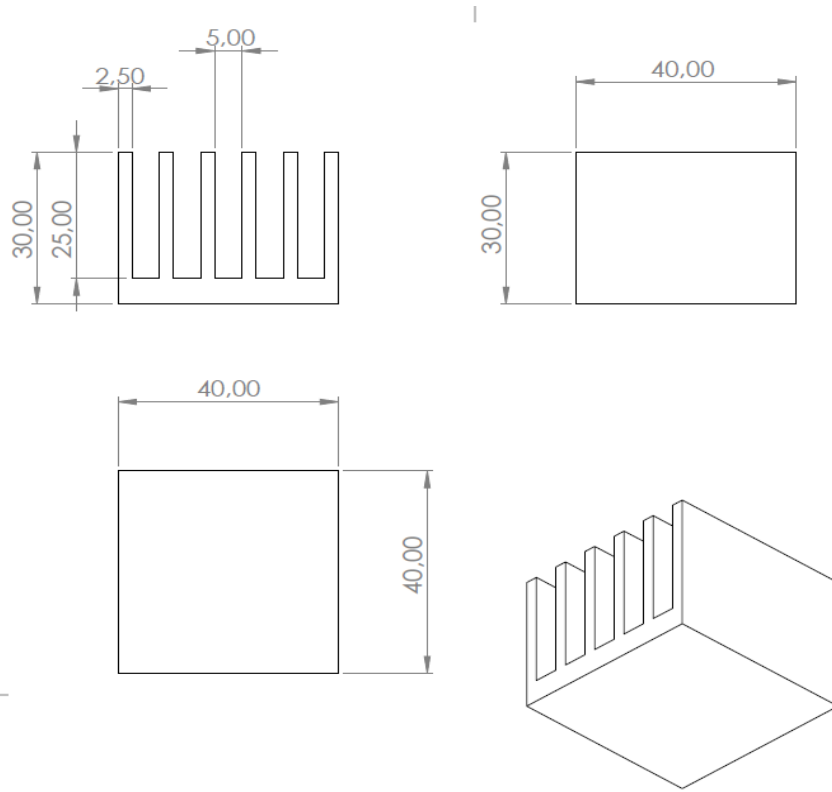
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Termoelektrik Modüle Entegre Alüminyum Soğutucuların Tasarımı

Birbirine eşit doluluk oranına sahip üç farklı geometrik yapıya ait üç ayrı alüminyum soğutucu tasarlanmıştır. Her bir tasarıma ait alüminyum soğutucuların toplam hacmi (en x boy x yükseklik), ekleme yapılan malzeme hacmi, boşluk hacmi ve boşluk/doluluk oranı Çizelge 1, Çizelge 2 ve Çizelge 3'te yer verilmiştir. Üç ayrı tasarım kullanılarak doğrudan lazer sinterleme eklemeli imalat yöntemi ile üretim sağlanmıştır. Alüminyum soğutucuların, alüminyum soğutucu-1 (AS1), alüminyum soğutucu -2 (AS2) ve alüminyum soğutucu-3 (AS3) olarak ilerleyen kısımlarda açıklanmıştır. Alüminyum soğutuculara ait geometrik özellikler Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.

Çizelge 1. Alüminyum soğutucu-1 hacimsel oranları.

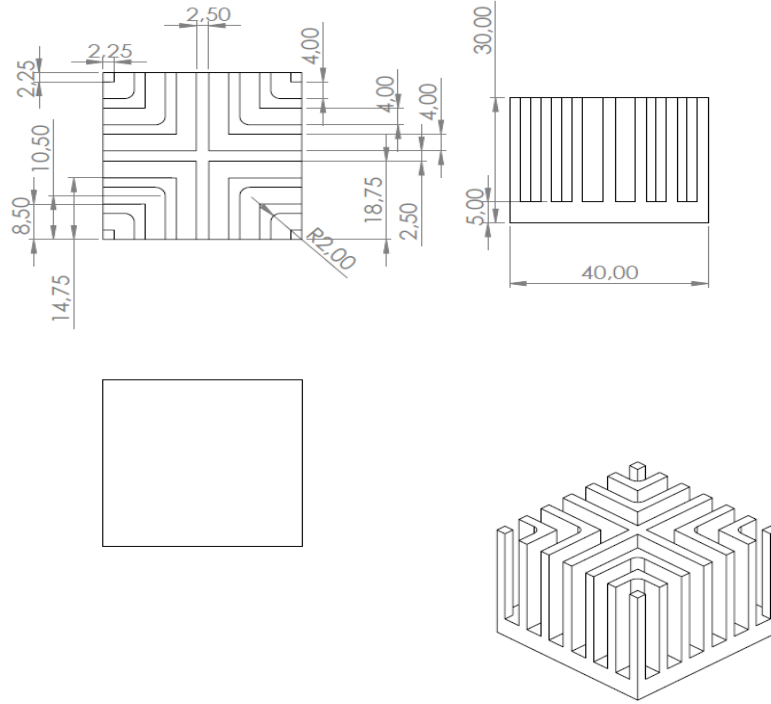
Alüminyum Soğutucu hacmi	DMLS yapılan AlSi10Mg hacmi	Boşluk hacmi	Boşluk/doluluk oranı
48000mm ³	25000mm ³	23000mm ³	%52,08



Şekil 3. Tasarlanan alüminyum soğutucu –1 (AS1) geometrik ölçüleri.

Çizelge 2. Alüminyum soğutucu-2 hacimsel oranları

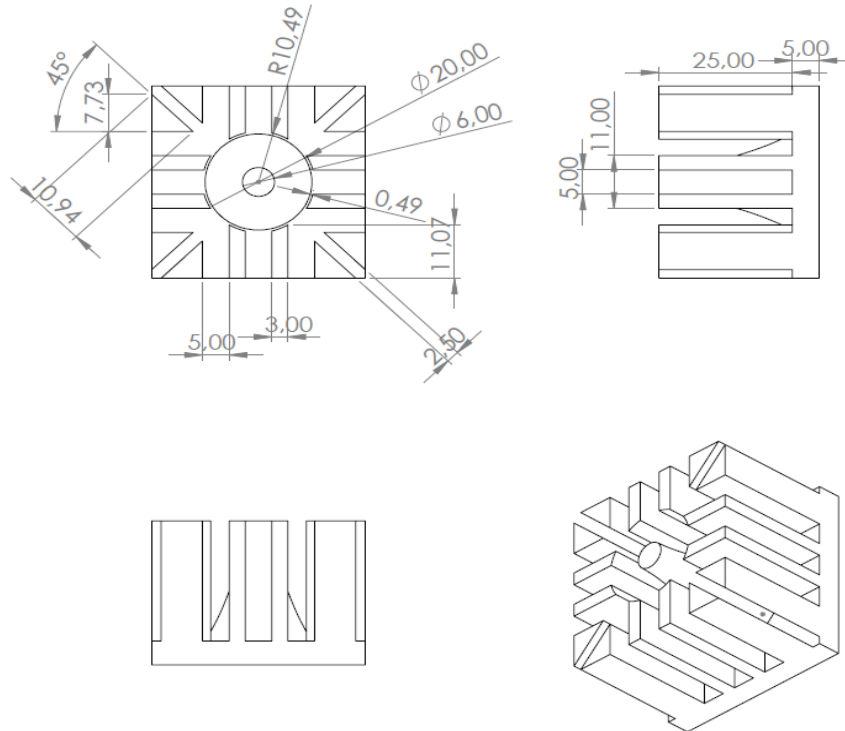
Alüminyum Soğutucu hacmi	DMLS yapılan AlSi10Mg hacmi	Boşluk hacmi	Boşluk/doluluk oranı
48000 mm ³	25029mm ³	22971mm ³	%52,14



Şekil 4. Tasarlanan alüminyum soğutucu – 2 (AS2) geometrik ölçüleri

Çizelge 3. Alüminyum soğutucu –3 hacimsel oranları

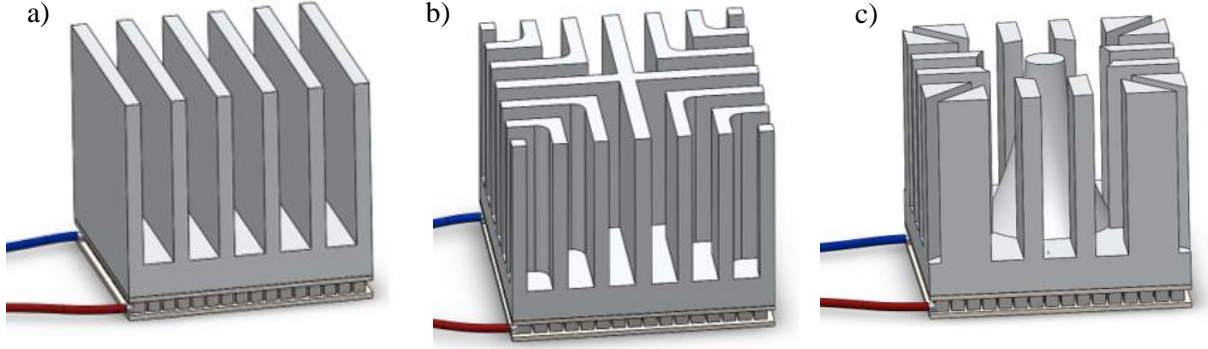
Alüminyum Soğutucu hacmi	DMLS yapılan AlSi10Mg hacmi	Boşluk hacmi	Boşluk/doluluk oranı
48000 mm ³	25173mm ³	22827mm ³	% 52,44



Şekil 5. Alüminyum soğutucu –3 (AS3) geometrik ölçüleri

2.2. Alüminyum Soğutucuların Katı Modellerinin Oluşturulması

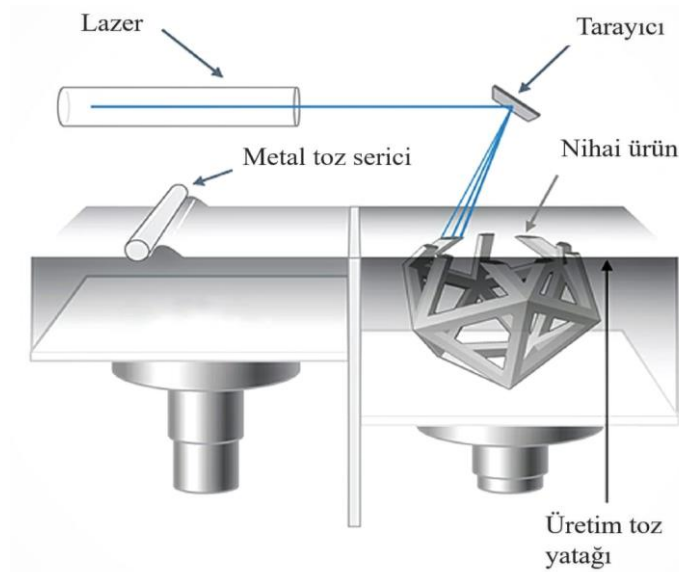
Alüminyum soğutucuların belirlenen geometrik şekiller dikkate alınarak tasarımı üç boyutlu olarak Autodesk Fusion 360 programı kullanılarak çizilmiştir. Çizimlerin termoelektrik modül dış yüzey alanına uyumlu oturacak şekilde ölçülendirilmesi ve buna bağlı olarak katı modellenmesi yapılmıştır. Buna göre Şekil 6'da belirlenen geometrik şekillerde alüminyum soğutucuların TEC-12710 ile entegre katı modelleri gösterilmiştir.



Şekil 6. Alüminyum soğutucular ve TEC-12710 ile entegre katı modeli: a) AS1, b) AS2 ve c) AS3.

2.3. DMLS Eklemeli İmalat Yöntemi ile Üretim Parametreleri

Termoelektrik modüllerde soğutucu olarak ısıl iletkenliği yüksek malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Bu malzemelerin seçiminde en önemli parametre, TEC modülün soğutulacak yüzeyinde oluşan ısının hızlı ve verimli bir şekilde iletilebilmesini sağlamaktır. TEC modülünde kullanılan alüminyum soğutucuların imalatında doğrudan metal lazer sinterleme eklemeli imalat yöntemi kullanılmıştır. Üretimde kullanılan alüminyum tozları tanecik yapısı ve lazer ışını özellikleri doğrudan metal lazer sinterleme eklemeli imalat yönteminde alaşım katmanının oluşumunu etkileyen parametrelerdir [9]. Katı modeli belirlenen alüminyum soğutucular, toz halinde tepside yer alan AlSi10Mg alüminyum alaşım metal tozlarının katmanlar halinde sinterlenmesi ile üretim gerçekleştirilir [10]. Doğrudan metal lazer sinterleme eklemeli imalat yönteminin çalışma yapısı Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS) eklemeli imalat yöntemi [11].

Termoelektrik modül yüzeyindeki termal etkinin tasarım aşamasında dikkate alınması önemli bir husustur. Uygun ısı transferi sağlayacak bir sıcaklık modeli oluşması, erken aşamada termal olarak optimize tasarım oluşturulmasını sağlar [12]. Alüminyum soğutucuların taban yüzey ölçüleri TEC

modülünün yüzey ölçüleri ile aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarım aşamasında, yükseklikleri eşit olan üç ayrı alüminyum soğutucu için oluşturulan katı modeller termoelektrik modül katı modeline entegre edilerek detaylı tasarımsal inceleme yapılmıştır. DLMS eklemeli imalat yöntemiyle sinterlenen alüminyum katman özellikleri Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. DLMS ile sinterlenen alüminyum alaşımı katman özellikleri [13].

Tolerans	$\pm 100 \mu\text{m}$	
Minimum Duvar Kalınlığı	0.3-0.4 mm	
Yüzey Pürüzlülüğü		
Üretimden Sonra Temizlenmiş	Ra= 6-10 μm	Rz=30-40 μm
Shot-Peening Sonrası	Ra= 7-10 μm	Rz=50-60 μm

Alüminyum soğutucular için kullanılan alüminyum alaşım malzemelerin mekanik özellikleri Çizelge 5’te verilmiştir. DLMS ile sinterlenen alüminyum alaşımı için fiziksel, kimyasal ve termal özellikler Çizelge 6, Çizelge 7 ve Çizelge 8’de yer almaktadır.

Çizelge 5. DLMS ile sinterlenen alüminyum alaşımı mekanik özellikleri [13].

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

Çizelge 6. DLMS ile sinterlenen alüminyum alaşımı fiziksel özellikleri [13].

Yoğunluk	2.67 g/cm ³
Göreceli Yoğunluk	99.85%

Çizelge 7. DLMS ile sinterlenen alüminyum alaşımı kimyasal özellikleri [13].

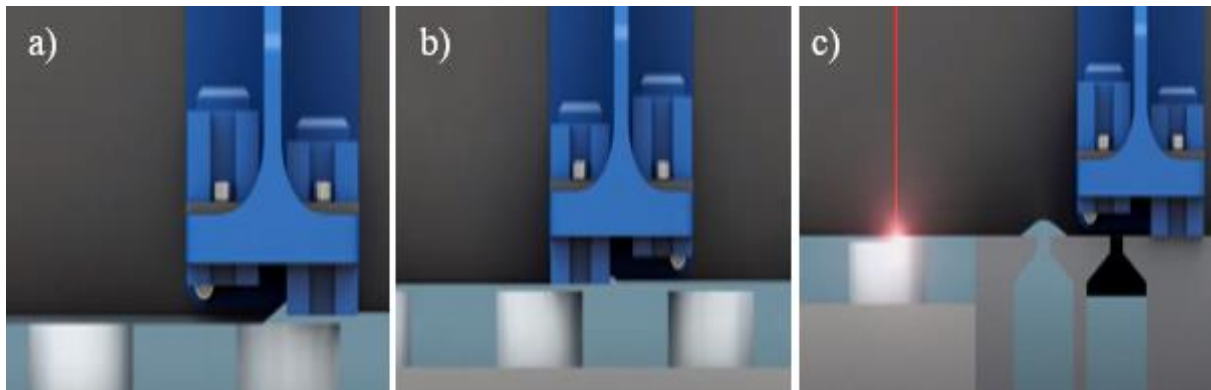
Element	Ağırlıkça İçerik
Silisyum	% 9 – 11
Demir	≤ % 0,55
Bakır	≤ % 0,05
Manganez	≤ % 0,45
Magnezyum	% 0,2 – 0,45
Nikel	≤ %0,05
Çinko	≤ % 0,1
Kurşun	≤ % 0,05
Kalay	≤ % 0,05
Titanyum	≤ % 0,15
Alüminyum	Ana element

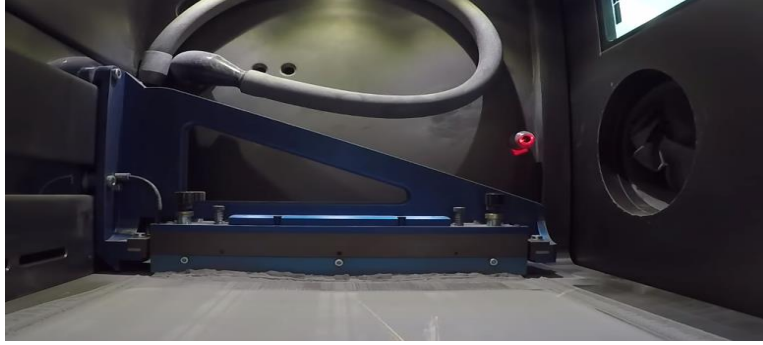
Çizelge 8. DLMS ile sinterlenen alüminyum alaşımı termal özellikleri [13].

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

3. ALÜMİNYUM SOĞUTUCULARIN DMLS YÖNTEMİ İLE EKLEMELİ İMALATI

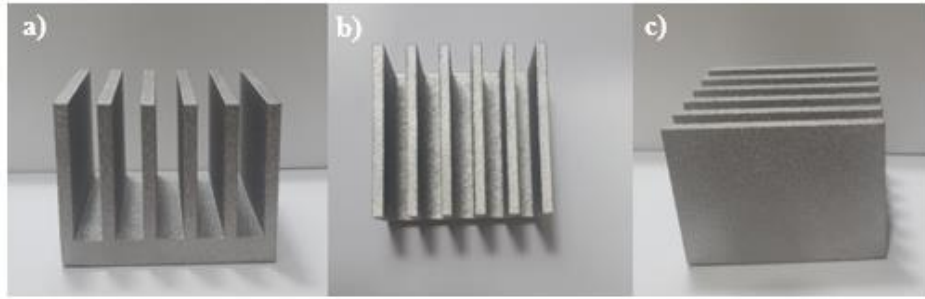
Alüminyum soğutucu imalatında kullanılan doğrudan metal lazer sinterleme ile eklemeli imalat yönteminde, öncelikle AlSi10Mg alaşımı metal tozlar Şekil 8(a) ve Şekil 8(b)'de gösterildiği gibi katman olarak tablaya serilmektedir. Daha sonra eklemeli imalat aşamasında serilen metal toz katmanının üzerine Şekil 8(c)'de gösterildiği gibi fiber lazer ışını yönlendirilerek katman birleştirme işlemi yapılmaktadır. Bu şekilde tablaya her bir toz katmanı serme işleminden sonra katmanlar fiber lazer ile birleştirilerek katı modelleri gerçekleştirilen alüminyum soğutucularının imalatı sağlanmıştır. Alüminyum soğutucuların doğrudan metal lazer sinterleme eklemeli imalat eklemeli imalat yöntemi ile üretilme prosesini açıklayan aşamalar ve üretim süreci Şekil 8 ve Şekil 9'da ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

**Şekil 8.** DMLS eklemeli imalat yönteminde AlSi10Mg katmanın serilmesi ve lazer sinterleme [14].

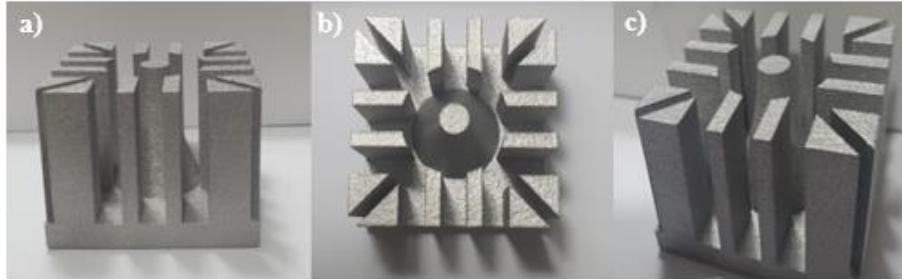


Şekil 9. DMLS Eklemeli İmalat Yöntemi ile Katmanların Fiber Lazerle Oluşumu [14].

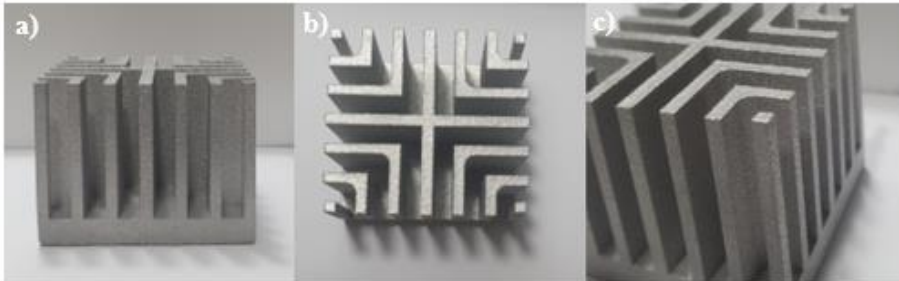
Üretimi gerçekleştirilen alüminyum soğutucuların katman yapısı, geometrik şekillerin ön, üst ve yandan görünümünün yer aldığı modelleri, Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12’de gösterilmiştir. Alüminyum soğutucuların üretildiği EOS M290 lazer sinterleme cihazının özellikleri ile ilgili teknik parametreler Çizelge 9’da gösterilmiştir.



Şekil 10. DMLS eklemeli imalat yöntemi ile üretilen AS1’in ön, üst ve yandan görünümü.



Şekil 11. DMLS eklemeli imalat yöntemi ile üretilen AS2’nin ön, üst ve yandan görünümü.



Şekil 12. DMLS eklemeli imalat yöntemi ile üretilen AS3’ün ön, üst ve yandan görünümü.

Doğrudan lazer sinterleme eklemeli imalat yöntemi ile alüminyum soğutucuların üretiminde EOS M290 DMLS sistemi kullanılmıştır. Bu eklemeli imalat makinesine ait metal sinterleme ile ilgili maksimum üretim boyutları $250 \times 250 \times 325 \text{ mm}^3$ ’dür. Bu eklemeli imalat makinesi fiber lazerle düşük ve hızlı katman işlemesi sebebiyle alüminyum soğutucuların üretiminde tercih edilmiştir.

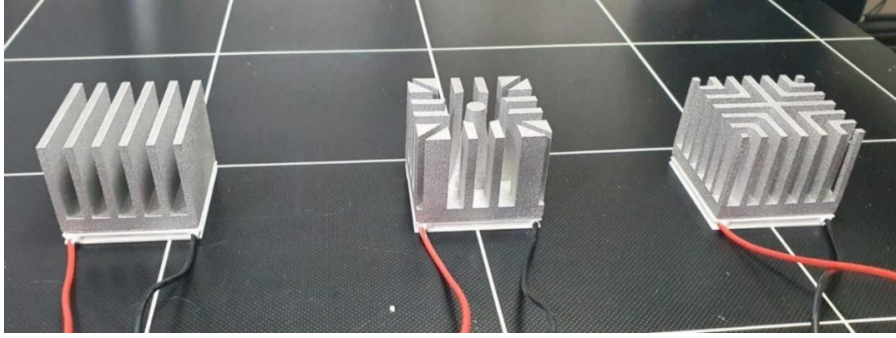
Çizelge 9. EOS M290 direkt metal lazer sinterleme makinesi teknik özellikleri [10].

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

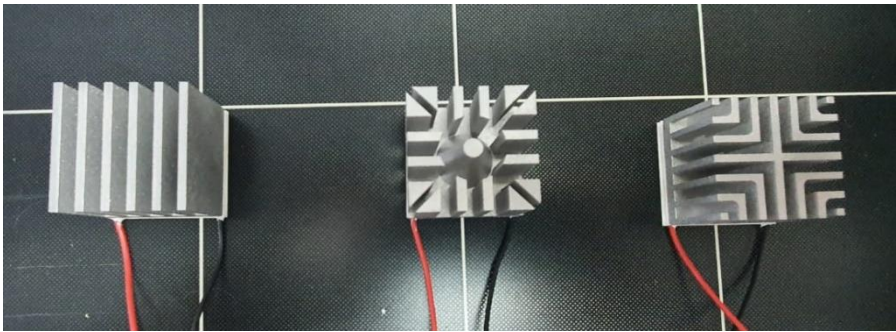
4. EKLEMELİ İMALAT SONRASI TERMOELEKTRİK MODÜLE ENTEGRASRON

Alüminyum soğutucularının üç farklı geometrik yapıda, eşit hacimsel oranlarla tasarımı ve katı modeli gerçekleştirilmiştir. Katı model sonucu alüminyum soğutucuların doğrudan metal lazer sinterleme ile eklemeli imalat yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen üç farklı geometrik yapıdaki alüminyum soğutucular, termoelektrik modül yüzeyine termal macun ile yapıştırılmıştır. Elde edilen entegre termoelektrik modül ve alüminyum soğutucu sistemler ile deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere üç farklı termoelektrik komponent oluşturulması sağlanmıştır.

Doğrudan metal lazer sinterleme ile eklemeli imalat yöntemi kullanılarak üretilen üç farklı geometrik yapıdaki alüminyum soğutucuların perspektif görünümü Şekil 13'te ve üstten görünümü Şekil 14'te gösterilmiştir.



Şekil 13. Doğrudan metal lazer sinterleme eklemeli imalat ile üretilen alüminyum soğutucuların perspektif görünümü.



Şekil 14. Doğrudan metal lazer sinterleme eklemeli imalat ile üretilen alüminyum soğutucuların üstten görünümü.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Termoelektrik modüllerin ısı performanslarının artması ile birlikte birçok farklı alanda kullanımı da hızla genişlemektedir. TEC modüllerin en önemli sorunu sabit enerji altında, ısınan yüzeyin soğuyan yüzeye, belirli bir süreden sonra etki etmesi ve TEC modülünün verimliliğini düşürmesidir. Termoelektrik modüllerin verimliliğini artırmaya yönelik yapısında birçok termoelektrik özellikli malzeme ile birleşik bulundurmasına rağmen, verimlilik hala en büyük problemi oluşturmaktadır. Isınan

yüzeyin, ısı iletimi artıracak uygun geometrik şekillerde ve yüksek ısı iletimi sağlayan malzemelerden elde edilen alüminyum soğutucuların kullanılması, üretilmesi termoelektrik modül yüzeyinde oluşan ısının en hızlı şekilde ve malzemeye zarar vermeyecek şekilde soğumasını sağlayacaktır. TEC yüzey modülünde oluşan ısının düzenli bir şekilde uzaklaştırılması soğutma verimliliğini artıracaktır. Bu nedenle bugüne kadar yapılan araştırmalar soğutma verimliliğini artırmaya yöneliktir. Alüminyum soğutucuların farklı geometrik yapılar da ısı iletimini artıracak şekilde tasarlanması en önemli hususlardan biridir. Tasarım gerçekleştirildikten sonra, alüminyum soğutucuların ilk prototip üretimleri önemli bir maliyet oluşturmaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilen prototip alüminyum soğutucuların üretim maliyetini minimum düzeyde tutabilmek için değişik üretim yöntemleri incelenmiştir. İnceleme sırasında alüminyum soğutucuların karmaşık geometrik yapılar içermesi üretim maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır. İncelemeler sonucunda alüminyum soğutucuların prototip üretim maliyetlerini en aza indirmek için doğrudan metal lazer sinterleme eklemeli imalat yöntemi tercih edilmiştir. Yapılan çalışmada, eklemeli imalat yöntemlerinden biri olan doğrudan lazer sinterleme ile eklemeli imalat yöntemi kullanılarak eşit doluluk oranlarında farklı geometrilerde üretilen alüminyum soğutucular, ısı iletim değeri yüksek olan alüminyum alaşımdan oluşan metal tozundan oluşmaktadır. Üretim sırasında talaşlı imalat ile metal işlemenin zorluğu ve buna bağlı üretim maliyetlerinin fazla olması, doğrudan metal lazer sinterleme eklemeli imalat yöntemi ile üretimi ön plana çıkarmaktadır. Bu husus doğrultusunda optimum ısı transferi sağlayacak alüminyum soğutucuların tasarımı, bu tasarımın test için gerekli olan ilk üretim maliyetleri, alüminyum soğutucuların maliyetlerinin önemli bir kısmını kapsamaktadır. Sonuç olarak, yapılan çalışmada eklemeli imalat yöntemlerinden doğrudan lazer sinterleme ile eklemeli imalat yöntemi kullanılarak eşit doluluk oranlarında farklı geometrilerde imal edilen alüminyum soğutucular (AS1, AS2, AS3) başarı ile üretilmiştir. Farklı geometrilerde üretilen alüminyum soğutucuların TEC modül yüzeyini birebir kaplayacak şekilde eşit ölçülerde entegre katı modelleri yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda, TEC modül yüzeyinde oluşan ısının, alüminyum soğutucular vasıtasıyla ısı iletim davranışları ve farklı tasarımlardan elde edilen geometrik şekillerin ısı iletimde etkisi detaylı olarak araştırılacaktır. Ayrıca, farklı geometrik yapıdaki alüminyum soğutucuların ısı transferi ile ilgili olarak ısı analiz çalışması deneysel olarak karşılaştırılacaktır. Ayrıca, deneysel olarak incelenen ısı davranışlar, sayısal analiz çalışmaları ile karşılaştırılarak termoelektrik modül yüzeyindeki ısının optimum iletimini sağlayan geometrik yapının belirlenmesinde yardımcı olacaktır. Böylece, termoelektrik modül yüzeyindeki ısı transferi verimliliğinin artırılması ile, hızlı soğuma gereksinimi olan medikal uygulamalarda, batarya yönetim sistemlerinde ve elektronik donanım sistemlerinde daha etkili bir şekilde kullanılmasının yaygınlaşacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Peduk, G., Dilibal, S., Harrysson, O., Ozbek, S., West, H., "Characterization of Ni-Ti alloy powders for use in additive manufacturing", Russian Journal of Non-Ferrous Metals, Cilt 59, Sayı 4, Sayfa 433-439, 2018.
2. Dilibal, S., Sahin, H., Çelik Y., "Experimental and numerical analysis on the bending response of the geometrically gradient soft robotics actuator", Archives of Mechanics, Cilt 70, Sayı 5, Sayfa 391-404, 2018.
3. Peduk, G., Dilibal, S., Harrysson, O., Ozbek, S., "Comparison of the production processes of nickel-titanium shape memory alloy through additive manufacturing", International Symposium on 3D Printing (Additive Manufacturing), Vol. 2, Issue 1, Pages 391-399, 2017.
4. Peduk, G., Dilibal, S., Harrysson, O., Ozbek, S., "Investigation of microstructural behavior of nickel-titanium alloy produced via additive manufacturing", 4th International Congress on 3D Printing Technologies and Digital Industry, Sayfa 1139-1143, Antalya 2019.
5. Köktay, Ş., "Termoelektrik malzemelerin yenilikçi yaklaşımlarla üretilmesi geliştirilmesi yapay sinir ağları ile tahmin modeli kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2018.
6. Berber, F. S., "Kendinden termal elektrik kaynaklı mikroişlemci soğutma sistemi", Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2008.
7. Bozkurt, B., "Termoelektrik modül içi iletken mühendislik malzemelerinin termoelektrik modülün termal davranışına etkisinin deneysel ve sayısal analizi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gedik Üniversitesi, İstanbul, 2020.

8. Bozkurt, B., Dilibal S., Sahin M.Y. "Investigation of the cooling performance of the thermoelectric modules for mobile cooling system", International Conference on Energy and Sustainable Built Environment, Sayfa 1, İstanbul 2019.
9. Atzeni, E., Salmi A., "Study on unsupported overhangs of AlSi10Mg parts processed by Direct Metal Laser Sintering (DMLS)", Journal of Material Processing, Cilt 20, Sayı 3, Sayfa 500-506, 2015.
10. Bulduk, M., "Doğrudan Metal Lazer Sinterleme Yöntemi ile Üretilen Latis Yapıların Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2020.
11. O'Brien, M. J., "Development and qualification of additively manufactured parts for space", Optical Engineering, Cilt 58, Sayı 1, Sayfa 010801, 2019.
12. Dongliang, Z., Gang, T. "A review of thermoelectric cooling: Materials, modeling and applications", Applied Thermal Engineering, Cilt 46, Sayı 9, Sayfa 15-24, 2014.
13. ALUTEAM Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi "Alüminyum Metal Malzeme Sinterleme Özellikleri AlSi10Mg.", <http://aluteam.fsm.edu.tr/> Temmuz 16, 2020.
14. New method of manufacturing using powder bed: Additive Manufacturing with Selective Laser Melting, https://www.youtube.com/watch?v=te9OaSZ0kf8&list=RDCMUCz35fFb-aMFu5f-V6D-065w&start_radio=1&t=107.html , Temmuz 16, 2020.