



## KATMANLI İMALATTA DESTEK YAPISININ VE KONUMLANDIRMANIN ÇARPILMA ÜZERİNE ETKİSİNİN SİMUFAC ADDİTİVE YAZILIMI İLE SİMÜLASYONU

Ahu Çelebi <sup>a\*</sup>, Ü. Gülsüm Seziş <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

\* Sorumlu Yazar: [ahu.celebi@cbu.edu.tr](mailto:ahu.celebi@cbu.edu.tr)

(Geliş/Received: 21.05.2019; Düzeltme/Revised: 26.06.2019; Kabul/Accepted: 27.08.2019)

### ÖZET

Katmanlı imalat yöntemi, ürün için geleneksel yöntemin sağlayamadığı tasarım optimizasyon özgürlüğünü sağlamaktadır. Bu yöntemde mühendislik sürecini yürütmek için tamamlayıcı araçlar gerekmektedir. Bu çalışmada; yatay ve dikey konumlandırılmış braket parçalarındaki çarpılma oranı, tamamlayıcı araç olarak kullanılan simufact additive programı ile analiz edilmiş ve dikey olarak konumlandırılmış iki farklı braket parçasına farklı oranlarda destek yapısı kullanılmasının etkisi araştırılmıştır. Daha fazla destek yapısı kullanmanın çarpılma üzerinde etkisi çok az iken, numuneler yatay ve dikey olarak farklı konumlandırıldığında bu çarpılma değerlerinin önem kazandığını elde edilen sonuçlar göstermiştir. Yatay olarak konumlandırılmış braket parçasındaki çarpılma miktarı dikey konumlandırılmış olan parçaya göre daha fazladır. Elde edilen bu sonuca göre braket parçasının dikey konumlandırılarak üretilmesinin daha uygun olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Katmanlı İmalat, Simufact Additive, 3B Baskı, Simülasyon.

### ABSTRACT

The additive manufacturing method provides the design optimization freedom that the conventional method for the product can not provide. In this method, complementary tools are needed to carry out the engineering process. In this study; the distortion rate of horizontal and vertical positioned bracket parts was analyzed by the simufact additive program used as a complementary tool. The effect of using support structure at different ratios to twovertically positioned bracket parts was investigated. The results showed that while using the excess support structure had little impact on the distortion, these distorsion values become important when the samples are positioned differently horizontally and vertically. The amount of distortion in the horizontally positioned bracket segment is greater than in the vertically positioned segment. Therefore, it is more appropriate to produce the bracket piece by vertical positioning.

**Keywords:** Additive Manufacturing, Simufact Additive, 3D Printing, Simulation.

### 1. GİRİŞ

Uluslararası Eklemeli İmalat Komitesi, eklemeli imalatı, ‘talaşlı imalat yöntemlerinin aksine, genellikle 3 boyutlu (3B) model verilerden nesnelere yapmak için malzemeleri katman katman birleştirme’ olarak belirtmişlerdir. Katmanlı imalat da bu kelime ile aynı anlamda kullanılmaktadır [1]. Diğer bir ifadeyle katmanlı imalat; geleneksel yöntemler kullanılmadan malzemelerin üretilmesidir [2]. Bu tanım; metaller, seramikler, polimerler, kompozitler ve biyolojik sistemler de dahil olmak üzere malzemelerin hepsinde kullanılabilir [1]. Katmanlı imalat yöntemi, ürüne tasarım kaynaklı herhangi bir sınır getirmemesi ve çok farklı malzeme türlerinin hepsinin kullanımı gibi büyük avantajlara sahiptir [3]. Dolayısıyla, bu

yöntem ile iyi optimize edilmiş, karmaşık modeller üretilebilmektedir. Özellikle otomotiv, havacılık, medikal, biyomedikal, eğitim ve elektronik ürün imalatında oldukça tercih edilmektedir [4,5].

Katmanlı imalat teknolojisinde, mühendislik sürecini yürütmek için tamamlayıcı araçlara ihtiyaç vardır. Bunun için son zamanlarda simufact additive simülasyon aracı kullanılmaktadır. Simufact additive, metallerde toz yataklı katmanlı üretim proseslerinin optimizasyonu için "ilk seferde doğru" üretim sağlamak için güçlü bir simülasyon ortamı sağlamaktadır. Bu simülasyon aracı, üretim sonrası çarpılma ve kalıcı gerilmeleri doğru bir şekilde tahmin etmeyi sağlamaktadır. Ayrıca, kaliteli bir parçanın tek seferde üretilmesi için tasarım ve üretim işlemi değişikliklerinde gerekli yönlendirmeyi yapmaktadır. Tüm bunların yanında, zaman ve atık malzemeden tasarruf sağlamaktadır. Katmanlı imalat prosesinde yüksek yoğunluğa ulaşmak için metal toz parçacıkları tamamen eritilmektedir. Lazerli ergitme işlemi, malzemedeki yüksek ısısal değişimden dolayı kalıntı gerilimlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu gerilimler parçanın çarpıklaşmasına, çatlamasına veya yapraklanmasına sebep olmaktadır. Sonuç olarak, girintili ve çıkıntılı karmaşık metal parçaların üretiminde, parça ile üretim tablası arasına destek yapıların uygulanmasına ihtiyaç vardır. Bu destek yapıları, metal katmanlı imalat proseslerinde üretilen metal parçaların çarpılmasının önlenmesi için kritik öneme sahiptir. Yüksek güçlü lazer ışınımından sonra oda sıcaklığına düşürülen metal, ısısal gerilim gradyanından kaynaklanan ve çarpılmayla sonuçlanan bir deformasyona uğrama eğilimindedir. Buradaki destek yapılarının görevi, ısıyı yeni eriyen tabakadan dağıtmaktır ve katmanın katılma sırasında ısıl gerilmeden dolayı parçanın şekil bozukluğuna uğramasını engellemektir. Destek yapıları, ürünün imalatı için uygun şartların oluşmasını ve sonradan eklenecek katmanlar için düzgün bir ısı dağılımının olmasını sağlamaktadır. Katmanlı imalatta destek yapıların kullanılması, parçaların geometrilerini sınırlandıran temel sebep olarak rapor edilmiştir ve desteğin yerleştirilmesi parça tasarımı kadar önemlidir. Destek yapısı, üretilen katmanlı imalat parçası için kullanılan malzeme miktarını, üretim zamanını, son yüzey durumunu, enerji tüketimini, maliyetini ve üretilen metal parçanın üretim sonrası gereksinimlerini etkilemektedir. Destek yapıları, malzeme ve enerjiyi boşa harcar. Ayrıca bu yapılar üretilen metalin değerine etki etmemektedir. Bu sebeple parçanın üretimi tamamlandığında kesici takım yardımıyla, elle veya makineyle metal parçadan alınmaları gerekmektedir. Metal katmanlı imalat makineleri, işlenen malzemenin her bir birim kütlesi için ciddi elektrik enerjisi harcamaktadır [6].

Metal malzemelerin lazerle katmanlı imalatında destek yapıların amacı ısıyı iletme ve parçayı sabit tutmaktır. SLM (Selective Laser Melting) ve DMLS (Direct Metal Laser Sintering) gibi yöntemlerde önemli problemler, yüksek artık gerilimler ve çarpılmadır. Lazer ışınımının bölgesel ısıtmasından dolayı, karmaşık ısısal ve faz geçiş gerilmeleri oluşmaktadır. Buna ek olarak, lazer ışınım süreci boyunca sıkça tekrarlanan ısıl genleşme ve önceki katılmış olan katmanların büzülmesi, malzemenin akma dayanımını aşabilecek derecede ciddi ısısal gerilim ve gerilim gradyanları oluşturmaktadır. Artık gerilimler, parça çarpılmasına, çatlaklara ve parçanın mukavemetinde istenmeyen düşmelere sebep olabilmektedir. Çıkıntılı parçaların üretiminde, ilk katmanın toz yatağında bozulma olmadan düzgün bir şekilde serilmesi önemlidir. Parçaları inşa platformuna sabitlemek, proses boyunca parçaların hareketini önlemek için, doğru geometriden uzaklaştıran sarkmaları ve yüzey çarpılmalarını engellemek için destek yapılarına ihtiyaç vardır [6,7].

### 1.1. Katmanlı İmalat ve 3B Yazıcılar

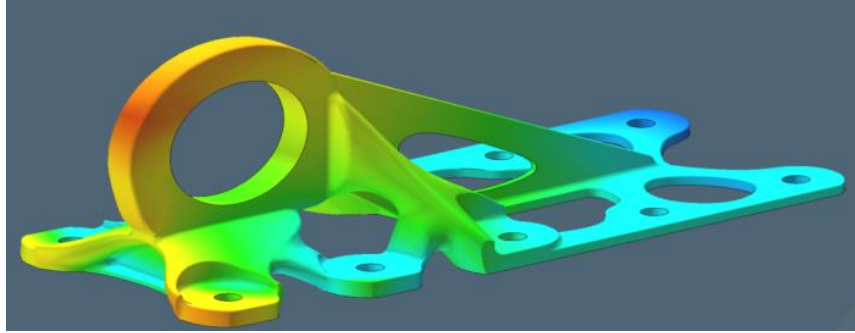
Bilgisayar destekli tasarım (CAD) programlarının yardımı ile tasarlanan elektronik veriler, malzemeleri; araç, model gibi işlemlere gerek kalmadan, makineye üç boyutlu veri göndermek suretiyle fiziksel bir modele veya ürüne dönüştürebilmektedir. Üç boyutlu (3B) yazıcılar olarak adlandırılan ve x-y-z ekseninde çalışan yeni nesil küp şeklinde yazıcılar, üç boyutlu nesnelere, parçalar ve aygıtlar üretebilmektedir [8].

Katmanlı imalat, metal esaslı malzemelerin ortak üretiminde çok ince tozlar kullanılmaktadır. Bu tozlar, istenilen geometri biçiminde tabaka katmanı elde etmek için ergitme ve katılma işlemlerinden geçirilir. Bu yöntemle üretilen mühendislik parçasının yapısı ve özellikleri; döküm, plastik şekillendirme, işleme, kaynak gibi klasik yöntemlerle üretilenlerden farklıdır [9]. Bu yöntemde katmanlı yapıya bağlı olarak

üretileen yapılar anizotropik davranış sergilemektedirler. Dolayısıyla ısıll işlem sonucu tamamen homojenize edilememektedirler [10].

### 1.2. Simufact Additive

Simufact additive programını üretim ortamında tüm süreç zincirini yakalayabilmekte ve kullanıcı gereksinimlerine göre simülasyonu ölçeklendirebilmektedir [11]. Simufact Additive programını ile katmanlı imalat prosesinin tüm adımları incelenebilmektedir. Ürün yapımında, geleneksel üretim yöntemleri masraflı bir deneme yanılma işlemidir. Geleneksel üretim yöntemleri deneme yanılma işlem maliyet kaybının yanında zaman kaybına da neden olmaktadır. Simufact additive ile bu zaman ve maliyet kaybının önüne geçilmektedir. Ayrıca, yapı içerisinde var olan çarpılma ve artık gerilmeler gözlenebilmektedir. Çarpılma (distorsiyon); metallerin orijinal şeklini bozan eğrilme, çarpılma veya şişme gibi tüm hataların genel adıdır [12]. Artık gerilmeler; klasik tanımla; tüm dış kuvvetler çıkarıldığında yapıda kalan gerilmelerdir [13]. Simülasyon, öğrenme sürecini kısaltmakta ve daha fazla parça varyasyonunu keşfedilebilmektedir. Simufact Additive programını parça üretiminden önce azaltılmış iş gücü, azaltılmış malzeme ve minimum enerji tüketimini hedeflemektedir. Şekil 1’de Simufact Additive programını ile simülasyonu yapılmış bir braket parçasını gösterilmiştir.



Şekil 1. Simufact Additive programını ile simülasyona uğratılmış bir braket parçasını

Simufact additive simülasyonunun avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

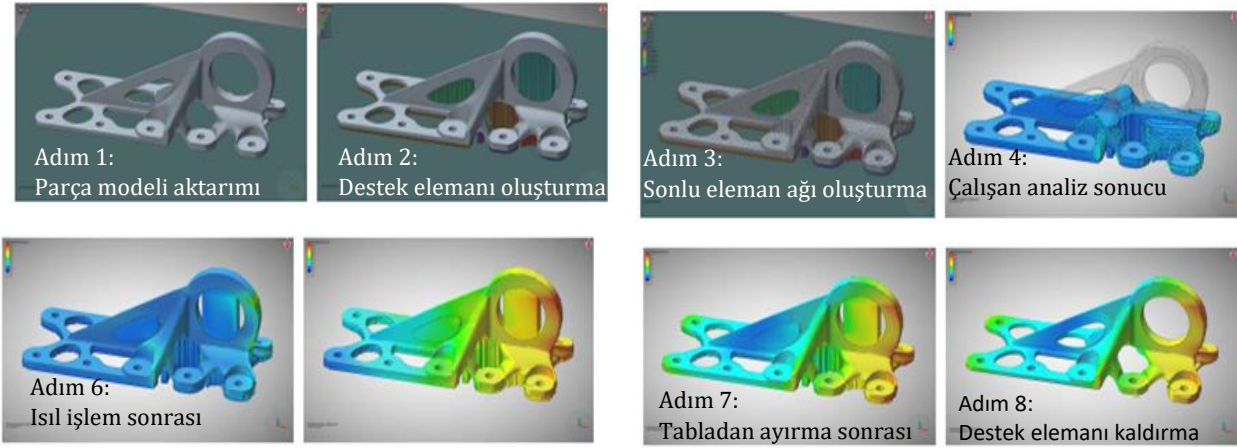
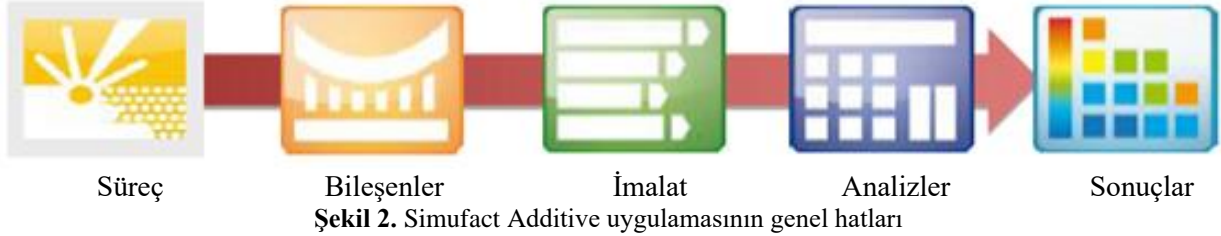
- Son parçanın deformasyonu hesaplayabilir
- Taban plakasının deformasyonu hesaplayabilir.
- Yapı alanında çeşitli bileşenlerin etkisini tahmin edebilir.
- Kalıntı gerilimi en aza indirilebilir.
- Birikim yönünü optimize edebilir.
- Destek yapısını optimize edebilir.
- Isıl işlemden sonra parçanın durumu, taban plakası ve destek yapısı hakkında bilgi verebilir.
- Öğrenme sürecini belirgin bir şekilde kısaltır.
- Üretimden önce daha fazla varyasyon kullanır.
- Pazarlama süresini kısaltır.
- Malzeme ve enerji tüketimini azaltır.

## 2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, Simufact additive yazılımını kullanarak katmanlı imalat makinasıyla dikey ve yatay konumda yerleştirilmiş bir braket parçasının üretilmesi ile birlikte parça üzerinde meydana gelen çarpılma değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Simufact additive programını ile braket parçasının dikey ve yatay konumda iki farklı simülasyonu yapılmıştır ve braket parçasının dikey ve yatay konumda yapılan bu simülasyon işlemlerinde ortak olan özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Simufact additive uygulamasının genel hatları Şekil 2’de verilmiştir. Ayrıca, simufact additive yazılımını uygulanırken takip edilen iş akışı Şekil 3’te ayrıntılı açıklanmıştır. Bu çalışmada, lazer gücü 200 Watt ve kullanılan cihaz EOS katmanlı imalat makinasını olarak programa girilmiştir.

**Çizelge 1.** Simulasyon işleminde dikey ve yatay konumda yerleştirilmiş olan braket parçasının ortak olan özellikleri

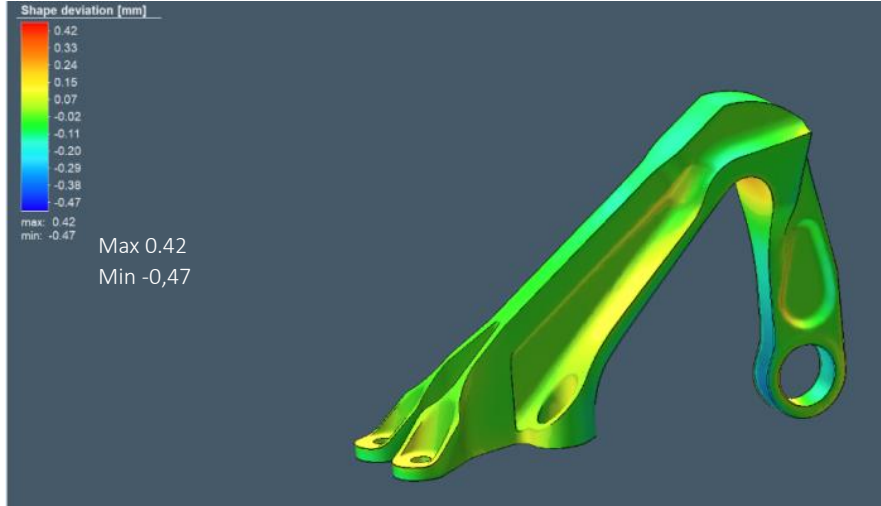
<b>Alt tabla malzemesi</b>	X155CrVMo12_h
<b>Alt tabla ölçüleri</b>	250 x 250 x 10 mm
<b>Katmanlı imalatla kullanılan toz malzeme</b>	Ti6Al4V tozu
<b>Katman kalınlığı</b>	0,03 mm
<b>Yüzeysel mesh element boyutu</b>	3 mm

**Şekil 3.** Simufactadditive uygulamasının analiz aşamaları (Netform Muhendislik)

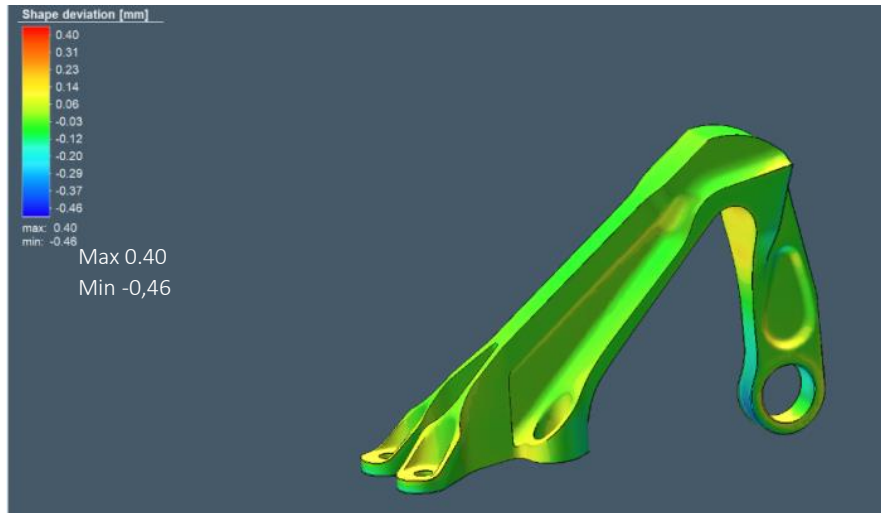
Yapılan tüm uygulamalarda, braket parçasının konumuna göre düzlemlerle 45° açı yapan bölgeye destek atanması için simülasyona giriş yapılmıştır. Dolayısıyla yatay ve dikey konumlarına göre tarama yapılan düzlem ile 45° ve daha az açı yapan bölgelere destek atanmıştır. Programa girilen bu bilgiler ile birlikte elde etmek istediğimiz çarpılma, deformasyon vb. değerler programda işaretlenmiş ve program otomatik olarak başlatılmıştır.

### 3. DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA

Şekil 4 ve 5’de Simufact additive programı ile analiz edilen dikey konumda seçilmiş olan braket parçaları için sonuçlar verilmiştir. Şekil 4’deki parçanın analizinde daha az destek kullanılırken Şekil 5’deki parça için Şekil 4’deki parçadan daha fazla destek yapısı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan görülmektedir ki destek yapısının fazla kullanılmasının numunedeki çarpılmaya etkisi ~0,01- 0,02 mm kadardır. Bu analiz sonucuna göre fazla destek yapısı kullanımının bir getirisi yoktur. Şekil 6’da Simufact Additive ile yatay konumda seçilmiş olan braket parçasının çarpılma miktarı sonuçları gösterilmiştir. Çarpılma miktarının dikey konumlandırılmış numuneler ile karşılaştırıldığında ~0,2 mm daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.Simufactadditive uygulaması ile dikey konumda seçilmiş olan braket parçası 1

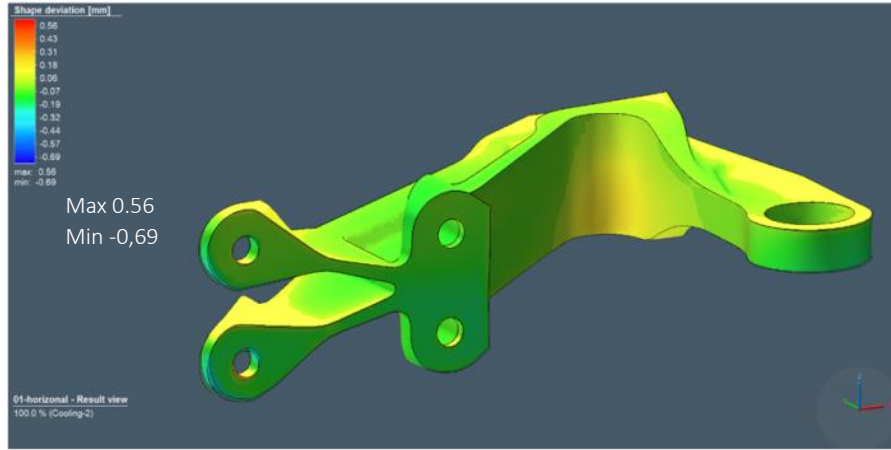


Şekil 5.Simufactadditive uygulaması ile dikey konumda seçilmiş olan braket parçası 2.

#### 4. SONUÇLAR

Simufact additive programı ile dikey ve yatay olarak konumlandırılarak simule edilmiş olan braket parçasının önem teşkil eden çarpılma değerlerine detaylı olarak bakıldığında; dikey konumlandırılmış olan braket parçasının, katmanlı imalat yöntemine daha uygun olduğu ve parça üzerinde olumlu etkisi tam olarak görülmektedir. Yatay ve dikey konumlandırma için çarpılma sonuçları incelendiğinde yatay konumlandırmada çarpılma oranının dikey konumlandırmaya göre daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun sonucu olarak; yatay konumda yerleştirilen braket parçasının katmanlı imalat yönteminde, dikey konumlandırmaya göre uygun olmadığı, çarpılma değerlerine bakılarak söylenebilmektedir.

Katmanlı imalat üretim yönteminde braket parçasının dikey konumlandırılmasında fazla destek kullanımının braket parçasındaki çarpılmada kayda değer bir farklılık meydana getirmediği görülmüştür. Ayrıca bu analizler yapılırken numunelerin karşılaştırılması ilk konumlarına (best fit) göre yapılmıştır.



Şekil 6. Simufact additive uygulaması ile yatay konumda seçilmiş olan braket parçası

## TEŞEKKÜR

Netform firması kurucusu Mert Aygen'e bu çalışmaya verdiği destek sebebiyle teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

1. Wohlers, T., Caffrey, T., "Wohlers Associates", Wohlers Report, ABD, <https://wohlersassociates.com/2013report.htm>, Ocak 5, 2013.
2. Giannakis, G., "Mechanical Properties of 3D Printed Specimens," Yüksek Lisans Tezi, Business Administration & Legal Studies-School of Economics, International Hellenic University, Thessaloniki, Yunanistan, 2018.
3. Bayram, İ., Özhamam, M., "Katmanlı İmalat Teknolojileri ve Havacılık Uygulamaları Sektör Değerlendirme Raporu" Thinktech STM Future Technology Institute, Türkiye, 2016.
4. Murr, L.E., "Metallurgy of Additive Manufacturing: Examples from Electron Beam Melting," Additive Manufacturing, Vol. 5, Pages 40-53, 2015.
5. Özsoy, K., "Üç Boyutlu (3B) Yazıcı Teknolojisinin Eğitimde Uygulanabilirliği: Senirkent MYO Örneđi" Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Vol 7, Issue 2, Pages 123-111, 2019.
6. Pullin, J., Offen, A., "Back to the Drawing Board –Addressing the design issues of RM," Time Compression Technologies Rapid Manufacturing Conference, Coventry, West Midlands, 2008.
7. Mercelis, P., Kruth, J.P., "Residual stresses in selective laser sintering and selective laser melting," Rapid Prototyping Journal, Vol. 5, Pages 254-265, 2006.
8. Bertol, L.S., Junior, W.K., Silva, P.F., Aumund-Kopp, C., "Medical design: Direct metal laser sintering of Ti-6Al-4V" Materials and Design Dergisi, Vol. 31, Pages 3982-3988, 2010.
9. Chua, C., Leong, K., 'Rapid Prototyping: Principles and Applications in Manufacturing', Wiley, New York, 1998.
10. Brancher, C., Materials Solutions 3D Printing/DMLS, 'Expectation to Enlightenment', EOS IUM, 2013.
11. Schafstall, H., "Simufact Additive Application" <http://www.simufact.com/simufact-additive.html>, Ocak 30, 2018.

12. Ertuđ, B., Odabaşı, A., Eruslu, N. ve Addemir, O., “Döküm Parçalarında Distorsiyon”, [https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi134/d134\\_106111.pdf](https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi134/d134_106111.pdf), Şubat 1, 2018.
13. Ebert, L.J., “Effects of Residual Stresses Upon Design, Fabrication and Field Service” [http://lib.dr.iastate.edu/cnde\\_yellowjackets\\_1974/25](http://lib.dr.iastate.edu/cnde_yellowjackets_1974/25), Şubat 5, 2018.