



Seçici Lazer Sinterleme Tabanlı 3D Yazıcının Tasarımı

Fatma Nazlı Özsolak^{1*}, Bülent Kaya²

^{1*}Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6312-8675), fnsari@erciyes.edu.tr
²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Kayseri, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-7943-8683), bulentkaya@erciyes.edu.tr

(1st International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2021, November 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1011235)

ATIF/REFERENCE: Özsolak, F.N. & Kaya, B. (2021). Seçici Lazer Sinterleme Tabanlı 3D Yazıcının Tasarımı. *European Journal of Science and Technology*, (28), 785-789.

Öz

Geleneksel imalat yöntemlerinden farklı olarak, 3D baskı teknolojisi, son yıllarda nesnelerin ve parçaların üretiminde etkili bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde 3D yazıcılar ile hızlı ve verimli bir şekilde tasarlanan parçaların prototip veya nihai ürün imalatını gerçekleştirmek mümkündür. Hatta bazı durumlarda başka yöntemlerle imal edilemeyecek son derece karmaşık geometriler 3D baskı ile üretilebilmektedir (Berman 2012), (Wong ve Hernandez 2012).

Çalışma kapsamında Seçici Lazer Sinterleme (SLS) 3D yazıcı tasarımı gerçekleştirilecektir. Seçici Lazer Sinterleme (SLS) veya seçici lazer ergitme (SLM) tabanlı bir 3D metal baskı tekniği geliştirilmesinde ilk ve en önemli safha, bir lazer kaynağından elde edilen enerjinin belli zaman ve durumlarda, hedef metal tozu üzerine belirlenen konumlara düşürülmesidir. Tasarlanacak olan SLS tabanlı 3D yazıcı sistemindeki bağımsız birimlerin (lazer, optik, lensler, kontrol yazılımı gibi) kişiselleştirilmiş yazılım ile entegrasyonu hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli İmalat, Seçici Lazer Sinterleme, 3D Metal Yazıcı, Toz Yatak Tipleri, Toz Serme Sistemleri.

Design of Selective Laser Sintering 3D Printer

Abstract

Unlike traditional manufacturing methods, 3D printing technology has been used effectively in the production of objects and parts in recent years. Today, with 3D printers, it is possible to produce prototypes or final products of designed parts quickly and efficiently. In some cases, extremely complex geometries that cannot be produced by other methods can be produced with 3D printing (Berman 2012), (Wong ve Hernandez 2012).

Within the scope of this study, Selective Laser Sintering (SLS) 3D printer design will be realized. The first and most important step in the development of a 3D metal printing technique based on Selective Laser Sintering (SLS) or Selective Laser Melting (SLM) is to reduce the energy obtained from a laser source to specified positions on the target metal powder at certain times and situations. It is aimed to integrate the independent units (such as laser, optics, lenses, control software) in the SLS-based 3D printer system to be designed with personalized software.

Keywords: Additive Manufacturing, Selective Laser Sintering, 3D Metal printer, Powder Bed Types, Powder Laying Systems.

* Corresponding Author: fnsari@erciyes.edu.tr

1. Giriş

Lazer tabanlı üç boyutlu yazıcılar ile ilgili literatür incelendiğinde eklemeli imalat ile ilgili simülasyon ve modelleme çalışmaları tespit edilmiştir. Eklemeli imalat yöntemleri içerisinde küçük-hassas parçaların üretiminde ekonomik, hızlı ve az adetli üretim için bir çözüm avantajına sahip SLS tabanlı 3D yazıcıların geliştirilmesi önem arz etmektedir.

3D baskı veya eklemeli imalat adı verilen bu teknolojinin ISO/ASTM 52900:2015 göre, “herhangi bir malzemeyi bir baskı kafası, nozul veya başka bir baskı teknolojisi vasıtasıyla yığarak, bir objenin üretimini gerçekleştirme faaliyetidir” şeklinde tanımlanmıştır (Conner 2014). 1980’ li yıllarda başlayan ve hızlı prototipleme (Rapid Prototyping-RP) olarak adlandırılan bu imalat metodu artık günümüzde, baskı süresi ve nihai ürün çıktısındaki fonksiyonelliğin geliştirilmesi neticesinde yakalanan başarılar nedeniyle eklemeli imalat (Additive Manufacturing-AM) olarak anılan yeni ve kabul gören bir üretim metodunu işaret etmektedir.

Buna göre, tıpkı kâğıt üzerine baskıda mürekkep kullanılması gibi, 3D yazıcılar katman katman, termoplastiklerden metaller, cam, seramik, kâğıt ve hatta kompozit içerikli çok çeşitli malzemeleri kullanarak 3D fiziksel objeleri basmaktadır. Kullanılan baskı malzemeleri ise uygulanan eklemeli imalat baskı yöntemlerine göre değişiklik arz eder. Buna göre eklemeli imalat için kullanılan malzemeler, sıvı, toz ve katı (filament veya levha) halde bulunurlar ve kullanılan malzemeye göre eklemeli imalat proseslerini sınıflandırılır.

ASTM katmanlı imalatı (AM); malzeme çıkarımı imalat yöntemlerinin aksine 3 boyutlu parçaları üretmek için malzemenin katman katman eklenmesi sonucu oluşturulduğu yöntem olarak tanımlamaktadır. Eş anlamlıları ise eklemeli imalat, ekleme prosesi, eklemeli katmanlı üretim ve serbest form üretimidir (Herderick 2011). Bu tanım içeriğinde metaller, seramikler, polimerler, kompozitler ve biyolojik sistemlerin olduğu geniş bir alanda uygulanabilir. Her ne kadar 20 yılı aşkın bir süredir bu teknik üzerinde çalışmalar yapılsa da daha yeni yeni günümüzde ticari bir öneme sahip imalat yöntemi olmaya başlamıştır.

Seçici Lazer Sinterleme (SLS) veya Eritme (SLM) tabanlı metal 3D yazıcı geliştirilmesi sürecinde, birçok destek sistemine ve sistem tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır. SLS teknolojisinde üretilen parçalarda destek malzemesi kullanılmadığından imal edilen parçaların temizlenmesi için gereken süre de ortadan kalkar.

2. Materyal ve Metot

Toz yatak tipli SLS veya SLM, lazer eklemeli imalat yöntemleri için hız ve hassasiyet ve dolayısıyla bu parametrelere bağımlı olan artan verimlilik şu an bilinen haliyle ancak galvo tarayıcı sistemler ile sağlanmaktadır. Dolayısıyla galvo lazer tarayıcı ve bununla entegre optik sistemler toz yataklı eklemeli imalat sistemlerin kalbini oluşturur. Galvo tarayıcılar, entegre aynası ile çok hızlı olarak belirlenen bir kesiti (slice) tarayarak lazeri tozla birleştirir. Sistemin düşük kütlesi yüksek ivmeli konumlamalarda bile yüksek kararlılık ve dolayısıyla yüksek bir konumlama hassasiyeti sunmaktadır. Çeşitli kontrol zorlukları

olsa da bu durum geleneksel servo motor / bilyalı mil konfigürasyonundan çok daha hızlı ve titreşimsiz hareket sağlar. Hatta günümüzde bu hız, polygon lazer tarayıcılar (Dong 2009) ile kat kat daha da arttırılmaya çalışılmaktadır.

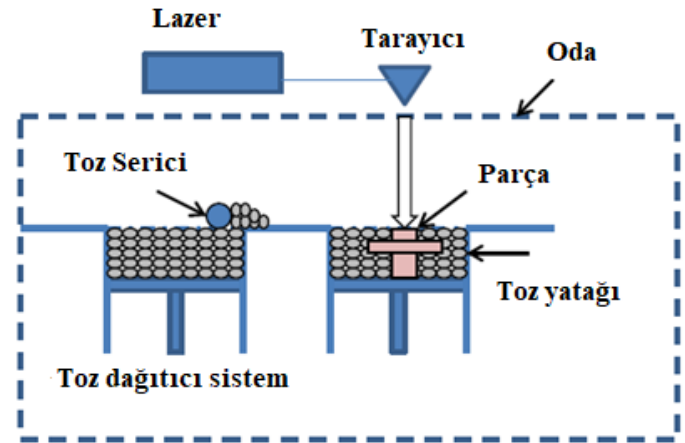
Buna göre, lazer kaynağından çıkarak, toz üzerinde hedef X ve Y konumlamalarını sağlayacak olan 2 eksen lazer tarama modülüne odaklanır. Burada hassas galvo servo motorlarına entegre aynalara düşürülen lazer, toz üzerinde seçili bölgelere yansıtılır. Böylelikle yüksek enerjiye sahip lazer, belirlenen koordinatlarda tozun seçili bölgelerine düşürülerek, burada belirli bölgelerin eritilerek, katılaşmasına neden olur. Bir katmanda işi biten lazerin çalışması için, bir toz sıyırıcı mekanizması bu katmanın üzerine belirli bir yükseklikte toz serer ve lazer bu yeni toz katmanı üzerinde çalışmasına devam eder.

Esasen toz yataklı metal eklemeli imalat sistemleri göreceli olarak basit bir mantıkla 3D baskı yapılmasına imkan tanır. Buna göre 3 temel aşamanın gerçekleşmesi ile SLS veya SLM olarak adlandırılan eklemeli imalat prosesi gerçekleşir:

- 1)3D CAD, STL verinin işlenmesi ve katman kalınlığına göre dilimlenmesi (slicing)
- 2) Bu dilimlenmiş bir dizi 2D kesitin, yeterince güçlü ve odaklanan bir enerji ile metal tozu üzerine markalanması
- 3) Her bir kesit için belirgin bir katman kalınlığında tozun serilmesi (toz beslemesi ve toz yatağı hareketinin sağlanması) ve böylelikle tüm kesitlerin toz üzerinde markalanıncaya kadar döngünün devam ettirilmesi.

2.1. Toz Yatak Sistemi

Şekil 1 Toz Yatak Sisteminin temel çalışma prensibini gösteren bir şemadır. Bu sistem tozun çalışma alanı boyunca belirgin bölgelerinde (seçici) eritilmesine dayanır. Enerji kaynağı (elektron ışını veya lazer ışını), istenilen şeklin elde edilmesi için birleşmenin gerçekleşeceği yüzeyde toz malzemeyi eritmek ya da sinterlemek üzere programlanmıştır.



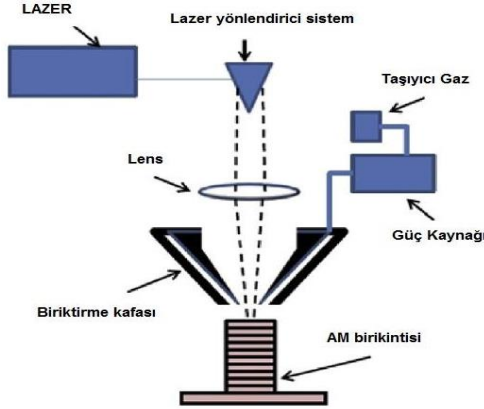
Şekil 1. AM Toz Yatak Sisteminin Jenerik Gösterimi (Kathuria 1999)

Yöntem iki boyutlu olup her defasında bir katmana uygulanarak katmanlar arasında bağlantı oluşturup üç boyutlu geometrinin oluşumu sağlanmaktadır. Katman kalınlığı 50 µm veya arzu edilen parça özelliklerine bağlı olarak daha az olacak şekilde uygulanabilir. Bu yöntemin avantajı yüksek çözünürlük özelliklerinin elde edilmesi, kompleks iç geçişlerin

sağlanabilmesi, boyutsal hassasiyet ve homojen tane yapısı ile yüksek mukavemetli parçalardır.

2.1.1. Toz Besleme Sistemi

Toz besleme sisteminin genel çalışma prensibi Şekil 2’de verilmiştir. Bu sistemlerin hacimsel parça baskı kapasitesi genellikle toz yatak sistemlerinden nazaran daha büyüktür. Ayrıca hibrid, yani hem lazer katmanlı hem de talaşlı imalat üretimini de barındırabilir.



Şekil 2. AM Toz Besleme Sisteminin Gösterimi (Kathuria 1999)

Toz yataklı, Seçici Lazer Sinterleme (SLS) veya Seçici Lazer Eritme (SLM) teknolojisi ne olursa olsun, lazer kaynağının belirgin koordinatlar üzerine düşürülmesinde galvo tarayıcılar (galvo scanner) kullanılır.

Lazer eklemeli imalat yöntemleri için hız ve hassasiyet ve dolayısıyla bu parametrelere bağımlı olan artan verimlilik şu an bilinen haliyle ancak galvo tarayıcı sistemler ile sağlanmaktadır. Dolayısıyla galvo lazer tarayıcı ve bununla entegre optik sistemler toz yataklı eklemeli imalat sistemlerin kalbini oluşturur. Galvo tarayıcılar, entegre aynası ile çok hızlı olarak belirlenen bir katman kesitini (slice) tarayarak lazeri metal tozun üzerine düşürür.

Sistemin düşük kütlesi yüksek ivmeli konumlamalarda bile yüksek kararlılık ve dolayısıyla yüksek bir konumlama hassasiyeti sunmaktadır. Çeşitli kontrol zorlukları olsa da bu durum geleneksel servo motor / bilyalı mil konfigürasyonundan çok daha hızlı ve titreşimsiz hareket sağlar. Hatta günümüzde bu hız, polygon lazer tarayıcılar (SCANLAB 2019) ile kat kat daha da artırılmaya çalışılmaktadır.

2.2. Seçici Lazer Sinterleme (SLS) 3D Yazıcı Tasarım Aşamaları

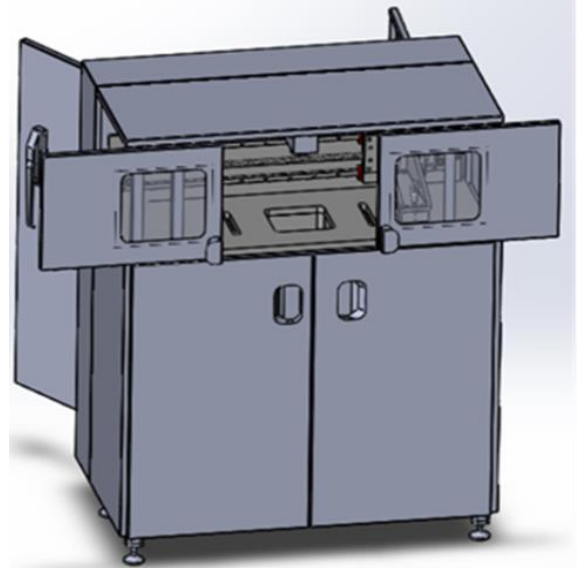
Literatür incelemelerinde metal AM (eklemeli imalat) sistemlerinde kullanılan teknolojiler, malzeme besleme şekli, enerji kaynağı ve imalat hacmine göre kategorize edilebilir. Tablo 1 bazı makine üreticileri ile bazı sistem özellikleri listelenmektedir (Herderick 2011). Bu tabloda üretim sistemi temel üç yönteme ayrılmıştır: (i) Toz Yatak Sistemi, (ii) Toz Besleme Sistemi, (iii) Tel Besleme Sistemi. Bu sistemler için enerji kaynağı (elektron ışını (EBM), lazer, ark vb.) de belirtilmiştir.

Tablo 1 incelendiğinde üretim sisteminin temel üç yönteme ayrıldığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle öncelikle toz yatak ve toz

serme sisteminin tasarlanması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu çalışmada yapılan çeşitli tasarımlar ve elde edilen veriler ile toz yatak ve toz serme sistemi tasarlanmıştır. Şekil 3 ‘de tasarlanan sistem gösterilmektedir.

Tablo 1. AM Ekipmanları ve Özellikleri

Sistem	Proses	Yapı Hacmi	Enerji Kaynağı
ARCAM	EBM	200X300X350	7 kw elektron ışın
EOS	DMLS	250X250X325	200-400 W Yb-fiber lazer
Consept Laser Cusing	SLS	300X350X300	200 W fiber lazer
MIT	SLS	250X250X300	100-400 W Yb-fiber lazer
Phenix System Group	SLS	250X250X300	500 W fiber lazer
Renishaw	SLS	245X245X360	200 yada 400 W lazer
Realizer	SLS	250X250X220	100, 200 yada 400 W fiber lazer
Matsuura	SLS	250X250 Çaç	400 W Yb fiber lazer



Şekil 3. 3D Toz Yatak Besleme ve Sürme Sistemi

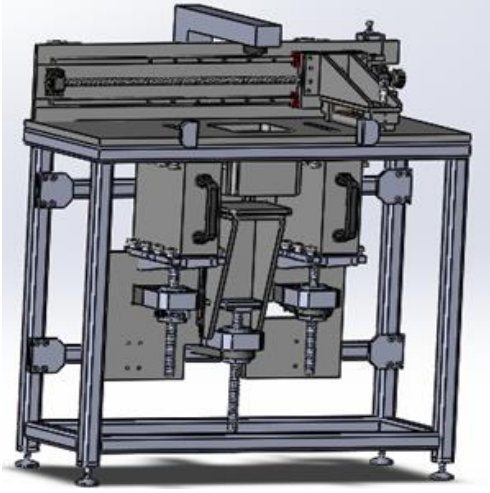
Sistem temelde 4 bölümden oluşmaktadır. Lazer kaynağı, lazer ışını yönlendirecek galvo kafa, toz besleme ve toplama sistemi, toz sürme mekanizmasıdır. Lazer kaynağı ve Galvo kafa piyasadan hazır elde edilebilen bileşen iken toz besleme ve toplama sisteminin tasarımı bu araştırmanın konusudur. Şekil 4’de tasarlanan sistemin giydirme sacları olmaksızın montajı görülmektedir.

Sistem temelde üç ana işlem basamağından oluşmaktadır.

1. Metal toz haznesinden tozun tabla üzerine istenilen miktarda beslenmesi.

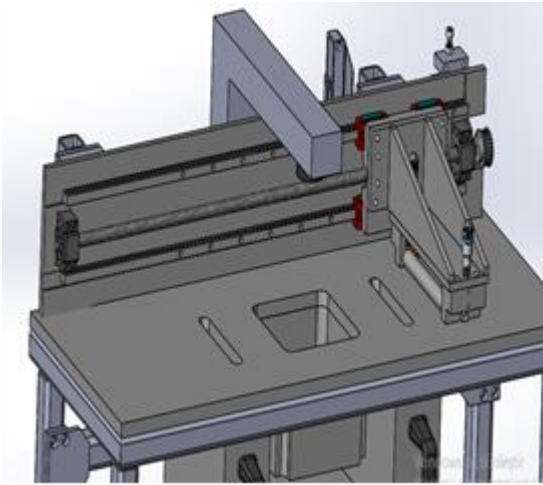
2. Beslenen tozun proses tablası üzerine katman kalınlığı kadar serilmesi.

3. Proses tablasının her yazım işlemi sonunda bir katman kalınlığı kadar aşağı hareketidir.



Şekil 4. Toz Besleme ve Sürme Detay Tasarım

Bu üç proses için de farklı mekanizmalar ve sistemler tasarlanmış ve entegrasyonu yapılarak bir montaj altında toplanmıştır. Şekil 5'de toz sürme sistemi ve ana tabla detayları gösterilmektedir.



Şekil 5. Toz Sürme ve Ana Tabla Detayı

Tabla üzerinde toz besleme, proses tabla alanı ve fazla tozun boşaltıldığı kanallar bulunmaktadır. Toz besleme mekanizması ise vidalı mil, somun ve servo motor ile tahrik edilen bir mekanizmadır. Yataklamalar lineer kızak arabalarla sağlanmıştır. Tozun düzlemsel olarak sürülebilmesi için süpürgeler metal aşınmasını önlemek amacıyla krom kaplı indüksiyonlu merdaneler tarafından yapılacaktır.

2.3. Deney Cihazı Kurulumu ve Ön Deneyler

Tasarım çalışmasının yürütülmesi için ön deneyler ve tasarım çalışmaları eş zamanlı olarak yapılmıştır. Tasarım esnasında belirsizliklerin daha da netleştirilmesi amaçlanarak eş zamanlı deney tesisatı kurulumu ve bazı parçaların imalatı

gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ön çalışmalarda metal bronz tozu ile küçük parça üretimleri denenmiş ve elde edilen veriler ile toz yatak ve toz serme sistemi tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen ön çalışmaların detayları aşağıda açıklanmıştır.

SLS 3D sistemi için önemli olan galvo ve kişiselleştirilmiş ara yüzün performansı için metal tozları üzerinde denemeler yapılmıştır. Bronz metal tozu (45 µm) ve krom kobalt alaşım (30 µm) tozu ile denemeler yapılmıştır.

Bu çalışmalar için deney teçhizatı kurulumu yapılarak, mevcuttaki 20 W lazer markalama tezgahının alaşımlar üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Buna göre yukarıdaki 3 temel aşama takip edilerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Araştırmadaki ön denemelerde 20 W CO₂ lazer ile metal ergitme ve toz metalin birleştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

Denemeler için krom kobalt alaşım (30 µm) tozunu, ahşap bir havuza sererek üzerinde tam güçle 10 x 10 mm² markalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Tezgahla ilgili net bilgi olmadığı için, lazerin kesme kalitesine bakıldığında sabit odağın yaklaşık 21mm değerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda ahşap havuz içerisinde 20 W güçte 2 defa tekrarlanan işlemde lazerin etkisiyle, neredeyse tozları birleştirdiği (Şekil 6 (b), 10x10 mm blok) gözlemlenmiştir.



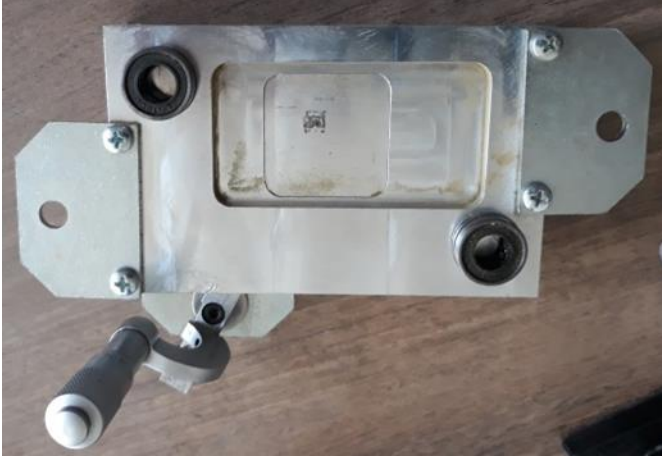
a) Lazer Başlığı



b) Lazer ile birleşen blok

Şekil 6. Ahşap Havuz İçinde Alaşım Tozu ve Blok Numune

Krom kobalt alaşım (30 µm) tozu ile alınan sonuçtan hareketle, hafif metaller üzerinde daha iyi bir etki bırakılacağı düşünüldükçe, 20 W lazer gücünün performansını gösteren daha iyi bir deneysel kurulum hazırlanmıştır. Buna göre, katman kalınlığı bir mikrometre ile manuel olarak kontrol edilen alüminyum bir toz yatağı sistemi üretilmiştir. Şekil 7’ de görülen bu fikstür ana gövde, hareketli inşa tablası, mikrometre ve fikstür bağlantı kulaklarından oluşmaktadır.



Şekil 7. Ön Denemelerde Kullanılan 3D Metal Baskı İçin Hazırlanan Manuel Toz Yatağı

Toz taneleri uzaklaştırıldığında yazılmaya çalışılan parça toz kümesi içerisinde belirmişdir. Parça ergiyerek birleştiği için alüminyum alt tablaya da yapışmıştır. El aleti kullanılarak parça tabladan ayrılmıştır. İki farklı deneme yapılarak iki farklı parça üretilmiştir. Şekil 8’de görüldüğü gibi parçalar tozun maliyeti ve 3 boyutlu lazer odaklanmanın yapılamaması nedeni ile mümkün olduğunca küçük 1 cm boy ebatlarında üretilmiştir.



Şekil 8. 3D Baskı Denemesi Sonucunda Elde Edilen Parça

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Elde edilen veriler ile yukarıda detayları belirtilen toz yatak ve toz serme sistemi tasarlanmıştır. Bu çalışmada Seçici Lazer Sinterleme (SLS) 3D yazıcı tasarımı aşağıda sıralanan temel aşamalar ile gerçekleştirilebileceği anlaşılmıştır.

1.Tasarlanan 3D CAD modelin, STL mesh yapısına çevrilmesi.

2.Mesh yapısının toz katman kalınlığına göre dilimlenmesi ve kesit alanının oluşturulması

3.Lazer spot çapına göre takım yolunun seçici lazer alanının belirlenmesi (Gcode oluşturulması)

4.Her bir kesit için oluşturulan G code için kontrol sisteminin (galvo kontrol kartının) lazeri doğru konumlamasının sağlanması, kontrol kartı ve galvo arasındaki iletişim protokolünün adaptasyonu ayarlanması.

5.Galvo sistemin kalibrasyonu ve doğruluk testleri için lazer marker noktaları oluşturulması, yakılan/çizilen konturların görüntü işleme yazılımları ile geometrik doğruluğunun ölçülmesi.

4. Sonuç

Eklemeli imalat süreci yüksek düzeyde karmaşıklık içermektedir. Bu süreç içerisindeki mekanizmalar literatürdeki çalışmaların konusuna devam etmektedir. Metal parçaların AM ile üretiminde bu kısıtlamalardan dolayı imalat endüstrisi tam anlamıyla AM yöntemi ile imalata geçiş yapamamıştır. Eklemeli imalat yöntemi ile ilgili simülasyon, modelleme çalışmaları literatüründe seçici lazer sinterleme (SLS) ve seçici lazer eritme (SLM) yöntemleri için termal analizler bulunmaktadır.

Özel geometrilere sahip hassas parçaların ekonomik, hızlı ve az adetli üretimi için bir çözüm avantajına sahip SLS tabanlı 3D yazıcıların geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu sistem tasarımı için yapılan araştırmaların üretim için simülasyon ve modelleme çalışmalarına göre daha az sayıda olduğu göze çarpmaktadır. Seçici Lazer Sinterleme (SLS) veya Eritme (SLM) tabanlı metal 3D yazıcı geliştirilmesi sürecinde sistem tasarımlarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Araştırma konusunun yeni bir konu olması ve konuyla ilgili yapılan çalışmanın ülkemizde diğer araştırmacılara katkı sağlaması açısından önem taşımaktadır. Yapılan çalışmaların az olması nedeniyle elde edilecek bilgi birikiminin imalat sanayisine uygulanabilir olması da oldukça önemlidir.

Verimli bir SLS tabanlı 3D yazıcı sisteminde öncelikli olarak toz yatak ve toz serme sisteminin tasarlanması gerektiği anlaşılmaktadır.

Kaynakça

- Berman, B.,(2012), “3-D printing, The new industrial revolution”, Business Horizons, Vol. 55, No.2, p. 155-162.
- Conner, B.P., et al., (2014), “ Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services”, Additive Manufacturing, Vol.1-4, p. 64-76.
- Dong, L., et al.,(2020), “Three-dimensional transient finite element analysis of the selective laser sintering process”, Journal of Materials Processing Technology, Vol.209, No.2, p. 700-706.
- Herderick, E. ,(2011),“Additive manufacturing of metals: A review”, Material Science and Technology, Vol 2, p.1413-1425.
- Kathuria, Y.P., (1999),“Microstructuring by selective laser sintering of metallic powder”, Surface and Coatings Technology, Vol.116, p. 643-647.
- SCANLAB website [Online]. (2019) Available <https://www.scanlab.de/en/products/advanced-scanning-solutions/polygon-scanner-systems>.
- Wong, K.V., Hernandez, A., (2012), “A Review of Additive Manufacturing”,ISRN Mechanical Engineering, p. 1-10.