



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Eklemlı İmalat Yöntemleri İle Üretim ve Onarım Uygulamaları

Kadir ÇELİK^{a,*}, Arif ÖZKAN^b

^aKompozit Malzeme Teknolojileri Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^bArif ÖZKAN, Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, DÜZCE, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: kadir54209@ogr.duzce.edu.tr

ÖZET

Eklemlı imalat günümüzde geleneksel üretim yöntemlerinin yetersiz veya verimsiz kaldığı çeşitli üretim işlemleri için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, eklemlı imalatın ortaya çıkışı, gelişimi, uygulama biçimleri, bunların avantaj ve dezavantajları incelenmiştir. Farklı gereksinimler için geliştirilmiş çeşitli yöntemler, birbirleri ile kıyaslanmıştır. Hangi uygulamada hangi yöntemin tercih edilmesi gerektiği yönünde araştırmalar yapılmıştır. Çalışmada, farklı geometri, yoğunluk, malzeme ve fiziksel özellikler içeren ürünler için farklı yöntemlerin tercihinin olacağı tespit edilmiştir. Süre, malzeme miktarı, yüzey kalitesi gibi farklı etkenlerin, tercih sürecinde rol oynadığı ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Eklemlı imalat, Üç boyutlu baskılama

Production and Repair Applications with Additive Manufacturing Methods

ABSTRACT

Additive manufacturing is used in production areas where traditional manufacturing methods are not sufficient or efficient. In this study, emerging, development and application methods of additive manufacturing, advantages & disadvantages of these methods were investigated. Various additive manufacturing methods which are developed for different needs were compared. Researches were performed to find out which method should be preferred for a selected application. It is found that, it will be advantageous to use different methods for products that consists different kinds of geometry, density, material and physical properties. It is noted that various criteria such as time, material amount and surface quality takes part in selection process.

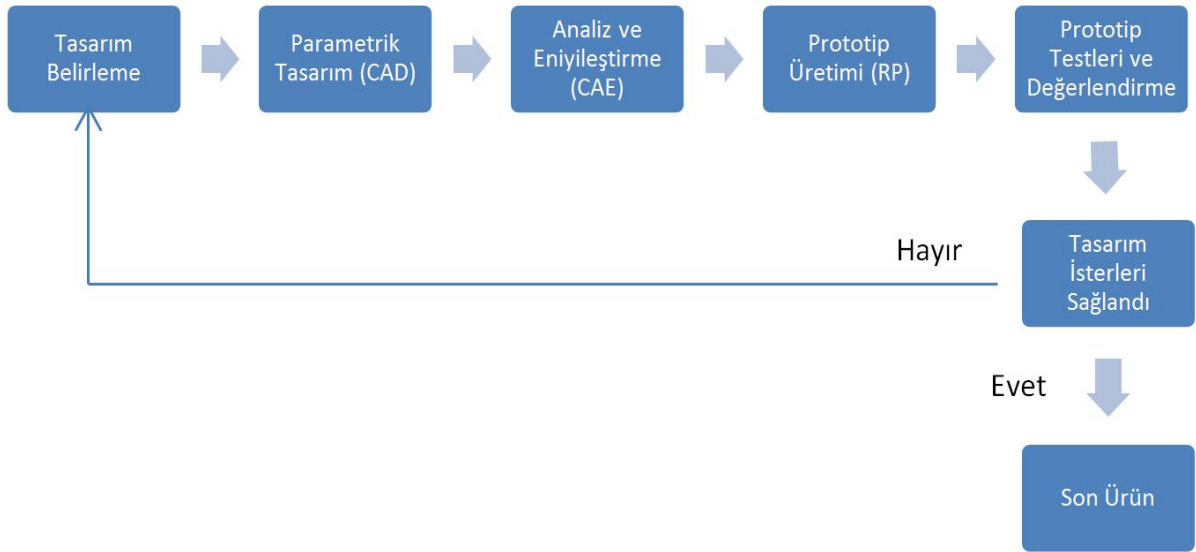
Keywords: Additive manufacturing, 3D printing

I. GİRİŞ

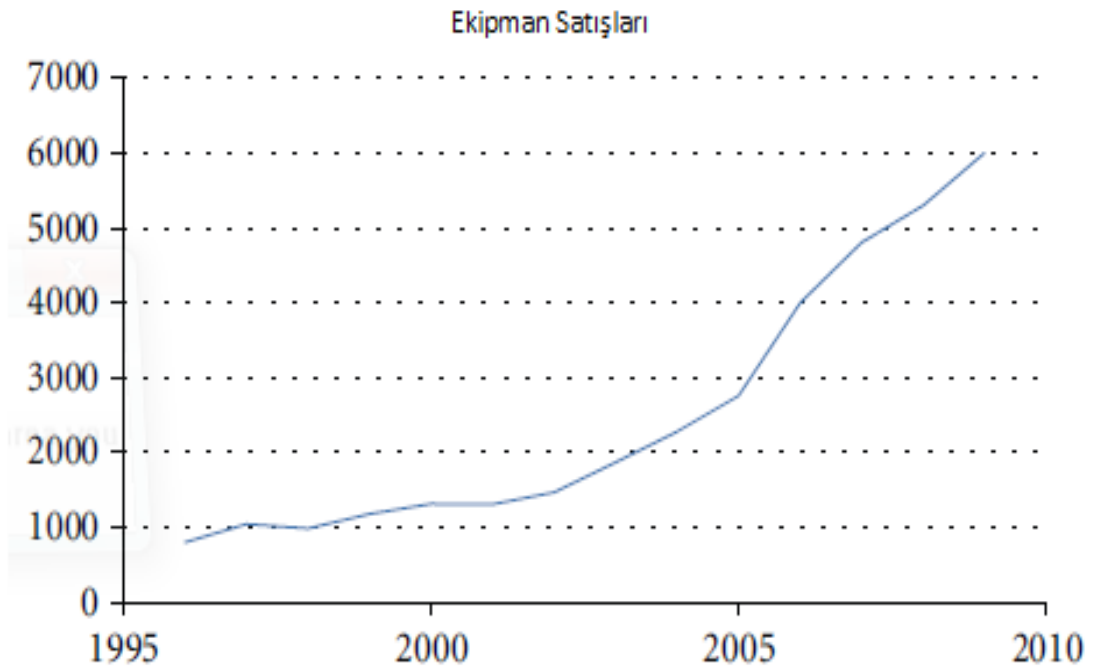
Eklemeli imalat, parçaların kesitlerinin teker teker, birikimli & eklemeli olarak üretilmesi olarak tanımlanmaktadır. bu yönüyle, var olan malzemenin şekillendirilmesi ya da eksiltilmesi prensibi ile çalışılan geleneksel imalat yöntemlerinden ayrılmaktadır. [1] yanlış bir kullanım olarak, üç boyutlu baskılama, 3d printing, rapid prototyping olarak da adlandırılmaktadır. oysa ki bunlar, eklemeli imalatın alt dallarıdır. başlangıçta yalnızca prototip üretimi için, görsel amaçlarla üretim yapılmaktayken, malzeme israfı olmaması, teorik olarak herhangi bir geometrik kısıtlama ile karşılaşılması gibi avantajları sayesinde, son yıllarda geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla gittikçe artan bir üretim payına sahip olmaktadır. Eklemeli imalat, öncelikli olarak bir üç boyutlu model dosyası yaratılmakta, daha sonra bu modelin üretilmesi için gerekli takım yolları uygun bilgisayar yazılımı ile oluşturulmaktadır. Yazılım sayesinde, STL adı verilen bir kod oluşturulmaktadır. Sonrasında, tercih edilen üretim yöntemi esas alınıp, uygun cihaz seçilerek ve parametreler oluşturularak, üretim yapılmaktadır. Seçilen malzeme, elde edilmek istenen ürünün geometrisi, mukavemet, iletkenlik ve sıcaklık dayanımı gibi fiziksel özellik istekleri yöntem seçiminde önemli olmaktadır. Eklemeli imalat, bugün için üretilen malzeme tipi kısıtlı olmakla birlikte, ham malzeme çeşitliliği gün geçtikçe artmaktadır. Farklı alaşımlar ile üretim mümkün olabilmekte, yeni üretim yöntemleri sayesinde çeşitlilik artmaktadır. Bu çalışmada, tüm bu üretim yöntemleri ve üretilen ham malzemeler ile ilgili bilgi verilmiştir. Derleme kapsamında, çeşitli eklemeli imalat yöntemleri birbirleri ile kıyaslanmış, görece üstün özellikleri tespit edilmiştir.

II. EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMLERİ

Eklemeli imalat, ülkemizde henüz tam anlamıyla iyi bilinen bir teknoloji olmamakla birlikte, dünya genelinde birçok ülkede ve firmada uzun yıllardır artan oranlarla kullanılmaktadır. Bir kısmı ürüne özel olmak üzere, çok sayıda eklemeli imalat yöntemi geliştirilmiştir. Eklemeli imalat başlangıçta prototip üretimi amacıyla kullanılmıştır. Şekil-1’de ile eklemeli imalat ile prototip üretimi için temel basamaklar gösterilmiştir. Buna göre öncelikle temel tasarım yapılmakta, ardından bu tasarım üç boyutlu olarak modellenmektedir. Modelleme işlemi sonrasında yapılan tasarımın bilgisayar destekli olarak analizi yapılır. Analiz ile birlikte teorik olarak tasarımın iyileştirilmesi yönünde çalışmalar yapılır. Ardından, iyileştirilmiş tasarım üzerinden bir prototip üretilir. Prototipler test edilir ve eğer değerlendirmeler tasarımın uygun olduğu yönünde olursa, nihai ürün seri üretime alınır. Bu noktada, prototip üretiminin önemi ortaya çıkmaktadır. Eklemeli imalat yönteminin ortaya çıkışını da bu gereksinim meydana getirmiştir. Eklemeli imalatın kullanımı, 90’lı yıllar ile başlamış, zaman içinde yaygınlaşmıştır. Zaman içinde prototip üretiminden farklı bir yönelim ile üretimi zor olan veya üretim miktarları az olan ürünlerin seri imalatı için devreye alınmıştır. Günümüz itibarıyla yıllık 6000-7000 düzeyinde cihaz-ekipman satışı söz konusudur. [2] Şekil-2 bu artışı göstermektedir. Buna göre 2005 yılı itibarıyla hızlı bir artış meydana gelmiştir. Başlangıçta çeşitli tıp uygulamaları ve prototip üretimi ile kısıtlı olan yayılma alanına bugün havacılık, uzay, otomotiv gibi ileri teknoloji içeren sektörler de dahil olmuştur. Henüz tüm malzemeler kullanılmıyor olsa da, gün geçtikçe yeni bir malzemenin tozu kullanıma sunulmaktadır.



Şekil 1. Prototip Üretim Süreci



Şekil 2. Prototip Üretim Süreci

Eklemeli imalat, yöntem ile kullanılan toz ve elde edilen ürünün malzemesine göre iki ana başlık altında incelenebilir. Bunlar, metal malzeme kullanılan yöntemler ve metal olmayan malzeme kullanılan yöntemlerdir.

A. METAL MALZEME KULLANILAN YÖNTEMLER

Metal malzemeler geleneksel olarak talaşlı imalat yöntemleri ile üretilir ve çeşitli işlemlerden geçirilerek şekillendirilir. Bu noktada herhangi bir malzeme kısıtı ile karşılaşılmaz. Eklemeli imalatla ise, henüz tüm malzemeler ve alaşımlar kullanılabilir hale gelmemiştir. [3] Kullanıma sunulmuş olan toz veya tel şeklindeki ham malzemeler şu şekildedir :

- Bazı paslanmaz çelik alaşımlar
- Takım çelikleri (düşük alaşımlı çelikler ve yüksek hız çelikleri)
- Bakır alaşımları
- Alüminyum alaşımları
- Kobalt alaşımları
- Nikel alaşımları
- Yansıtıcı metaller (refrakter grubu)
- Süper alaşımlar (superalloys)

Bu malzemelerin kullanımı temelde iki ana başlık altında, malzeme biriktirme ve toz yığma yöntemleri olarak incelenmektedir.

a. MALZEME BİRİKTİRME YÖNTEMLERİ

Bu malzemelerin kullanımı temelde iki ana başlık altında, malzeme biriktirme ve toz yığma yöntemleri olarak incelenmektedir.

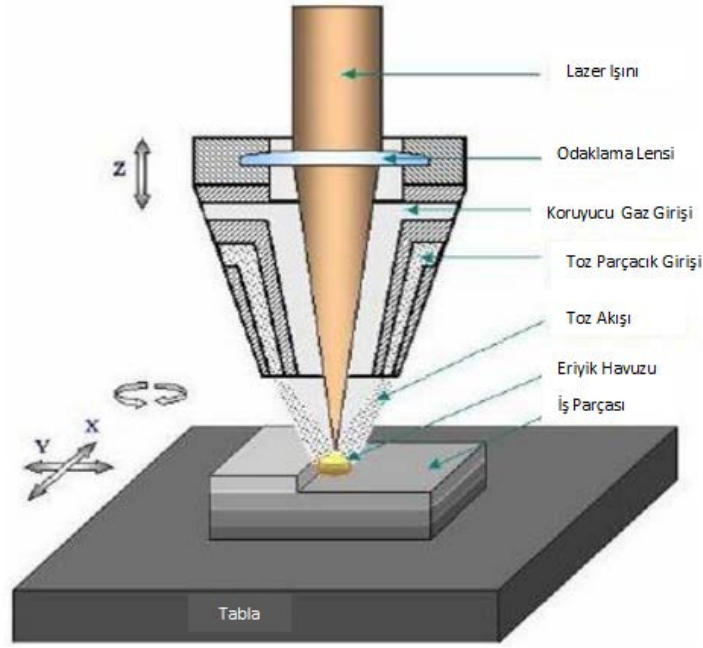
i. Toz Püskürtme

Bu yöntemde, Şekil 3’de görülebileceği üzere, toz formundaki ham malzeme, üç boyutlu model ile belirlenmiş bir takım yolu üzerine bir katman boyunca püskürtülür. Eş zamanlı olarak odaklanmış bir lazer kullanılarak parçanın üzerinde bir eriyik havuzu oluşturulur tozlar bu havuzu eriyik halde doldurur. Bu şekilde yüzeyde bir katman elde edilmiş olur. Daha sonra bir sonraki katmana geçilir ve aynı işlem tekrarlanır. [2][3] Bu işlem esnasında genellikle bir soy gaz koruyucu olarak kullanılır, böylece eriyik kitle, yüksek sıcaklık oluşumu esnasında atmosfer şartlarına karşı korunaklı hale gelmiş olur. Toz püskürtme prensibini tarif ederken direct laser deposition (DLD), direct metal deposition (DMD), laser metal deposition (LMD), laser engineering net shapes (LENS), laser cladding, laser deposition welding ve powder fusion welding isimleri kullanılabilmektedir. [4]

Bu yöntemler parça üretiminde kullanılabildiği gibi, püskürtülen tozun anlık olarak eritilip katılaşması sayesinde, tamir gereksinimlerinde de kullanılabilmektedir.

Parçanın üzerine püskürtülecek toz, kullanıcı tarafından dilendiği şekilde seçilebilmektedir. Bu durum da, şayet malzemeler birbiri ile etkileşim için uygunsa, farklı metallerin üst üste katmanlanabilmesi gibi bir yeteneği sisteme eklemektedir. FGM olarak kısaltılan functional graded materials yani işlevsel katmanlanmış malzemeler de bu sayede toz püskürtme yöntemi ile (genellikle LENS olarak adlandırılmaktadır) elde edilebilmektedir. Farklı yöntemlerle elde edilen katmanlanmış malzemelerde yaşanan belirli sorunlar, LENS yöntemi ile aşılabilmektedir. Kalıntı gerilimler, birleşme yüzeyi çatlakları, gözenek oluşumu gibi mukavemeti azaltacak sorunlar, LENS uygulamasındaki sınırsız katkı ekleme imkanı sayesinde en aza indirgenmiştir. [5]

LENS yönteminin bir başka avantajı da, mevcut CNC tezgahlarına eklenebilmesidir. Tezgahın hareket kabiliyetlerini kullanarak, eklenen toz ve lazer kaynakları sayesinde bu yöntem kullanılabilir hale gelir.



Şekil 3. Toz Püskürtme Yönteminin Şematik Gösterimi [6]

ii. Tel Besleme

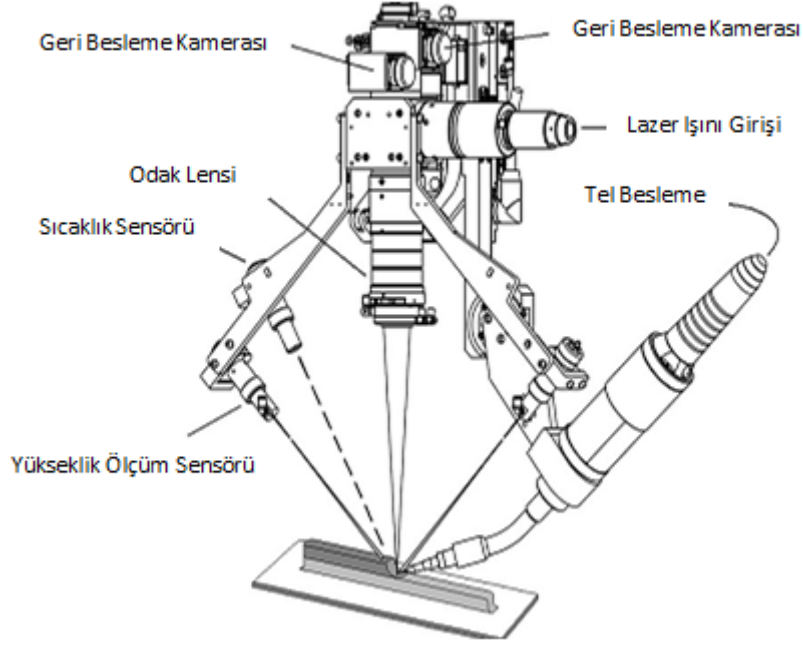
Ark kaynağından yola çıkılarak ortaya konan yeni bir yöntem “Laser metal deposition with wire concept” yani “tel konsepti ile lazerli metal biriktirme” yöntemi, bir telin istenen bölgeye iletilmesi, eş zamanlı olarak da bölgeye lazer ışını yollanması ile telin eriyik hale getirilmesi fikrine dayanmaktadır. Yine toz besleme gibi, farklı malzemelerin bir araya gelmesi veya tamir gibi yeteneklere sahip bir yöntemdir.

Kullanılacak enerji kaynağı çok çeşitli olabilir. Bu sayede, farklı özelliklerde malzemelerin kullanımı söz konusu olabilmektedir. Yine güç kaynağındaki çeşitlilik, yüksek üretim hızlarına ulaşılmasını sağlamaktadır.

Tel besleme ve enerji kaynağı ünitelerini üzerinde taşıyan yapı, farklı yataklamalar sayesinde teoride sınırsız hareket imkanına sahip olduğu için, bu yöntem sayesinde çok büyük parçaların imal edilebilmesi mümkün olabilmektedir.

Özellikle son yıllarla titanyum alaşımlarının havacılık-uzay sanayiinde yaygınlaşması ile birlikte, titanyum alaşımı tellerin kullanımı artmış, bu yöntem de artan oranlarla üretim kabiliyetleri arasında yer almaya başlamıştır.

Bu konseptin uygulanması sürecinde toz püskürtmede kullanılan ekipmanlar geliştirilmiş, çeşitli sensörlerin eklenmesi ile daha kontrollü bir üretim elde edilmiştir. Sıcaklığın anlık olarak kontrolü sayesinde, yüzeyin tamamında aynı sıcaklık dağılımının elde edilmesi için önemli yol kat edilmiştir. Geri besleme kameraları da hareket takibini kolaylaştırmıştır. Yükseklik ölçümü ile birlikte de katmanların çözünürlüğü birbirini içinde uyumlu hale gelmiştir. [7]



Şekil 4. Tel Besleme Yönteminin Şematik Gösterimi [8]

b. TOZ YIĞMA YÖNTEMLERİ

Toz yığma yönteminde, ekipman içinde biriktirilmiş malzeme tozu mevcuttur. Tozun üzerinde, lazer ya da elektron kaynağı kullanılarak bir eritme yada sinterleme sağlanmaktadır. Bir katman ya da tabaka boyunca, belirlenmiş bir geometriyi takip eden enerji kaynağı, arkasında katılmış bir kısım bırakır. Katılan kısım, tabaka ile ilgili işlem tamamlandığında iki boyutlu bir şekilde meydana getirir. İşlem, bir sonraki katmanda aynı sıranın tekrarı ile devam eder, sonuçta üç boyutlu cisim elde edilmiş olur.

i. Lazer Sinterleme

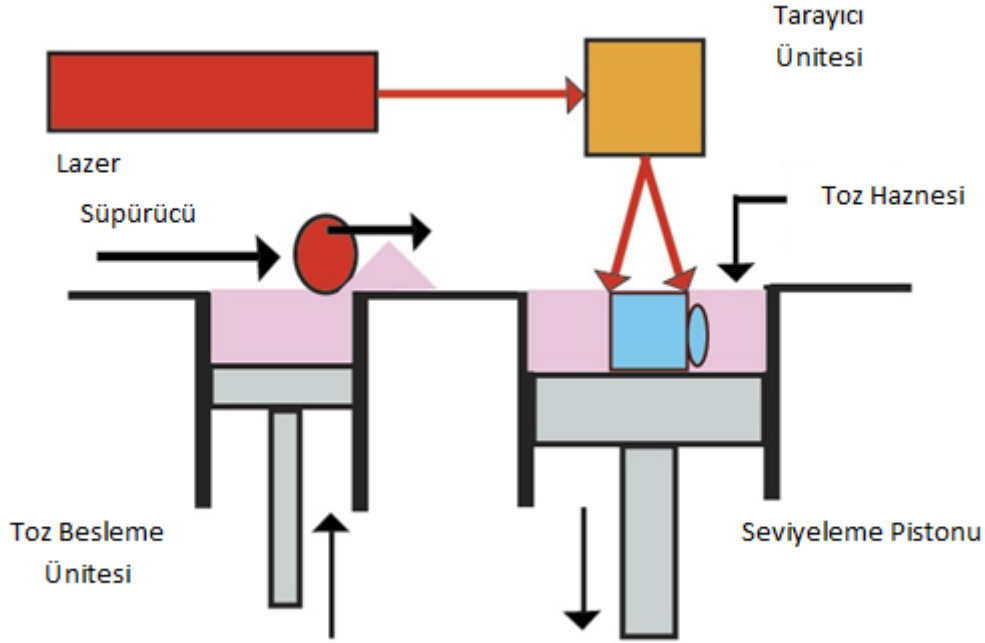
Literatürde en geniş anlamda “selective laser sintering” olarak karşılaşılan lazer sinterleme metodu, toz yığma yöntemlerinin öncüsüdür. Tozların sinterlenmesi ile parça geometrisi oluşturulur. Ekipmanın iki ana bölgesi vardır, birinde toz depolanır ve besleme yapılır, diğerinde ise sinterleme ve seviyeleme işlemi yapılır. Tozun bulunduğu kısma, elde edilmek istenen parçanın geometrisine uygun olacak şekilde lazer ışını gönderilir. Lazer sayesinde sinterleme gerçekleştirilir ve katılan toz ile birlikte katman geometrisi elde edilir. Tozu üzerinde toplamış olan tabla aşağı indirilir. Ekipmanın diğer kısmında bulunan toz haznesinden bir süpürücü yardımıyla toz transfer edilir ve yukarıdaki işlem tekrar edilir.

Sinterlemede toz sabit durduğu için, ölçüsel hassasiyet oldukça başarılıdır. Yine tozun çeşitlendirilebilir olması sayesinde, çok çeşitli malzemeler kullanılarak üretim yapılabilmekte, bu da tasarımcı için geniş imkanlar sağlamaktadır.

Yalnızca yeni parça üretimi değil, tozun mikro çatlaklara doldurulması ve bunların içinde sinterlenmesi imkanı sayesinde, tamir gibi yenileme çalışmaları lazer sinterleme yöntemi ile gerçekleştirilebilmektedir.

Bununla birlikte, sinterleme işleminin uzun süren yapısı neticesinde, yöntem ile parça üretimi çok zaman almaktadır.

Yöntem ile ilgili önemli bir dezavantaj ise, kalıntı gerilimlerin çok yüksek değerlere ulaşmasıdır. Parçaların uç noktalarında çekme, ortalarında ise baskı gerilimleri biriktiği, çeşitli çalışmalar ile tespit edilmiştir. Malzemenin şekli, türü, sinterleme biçimi gibi etkenler, kalıntı gerilim değerlerini değiştirmektedir. [9]



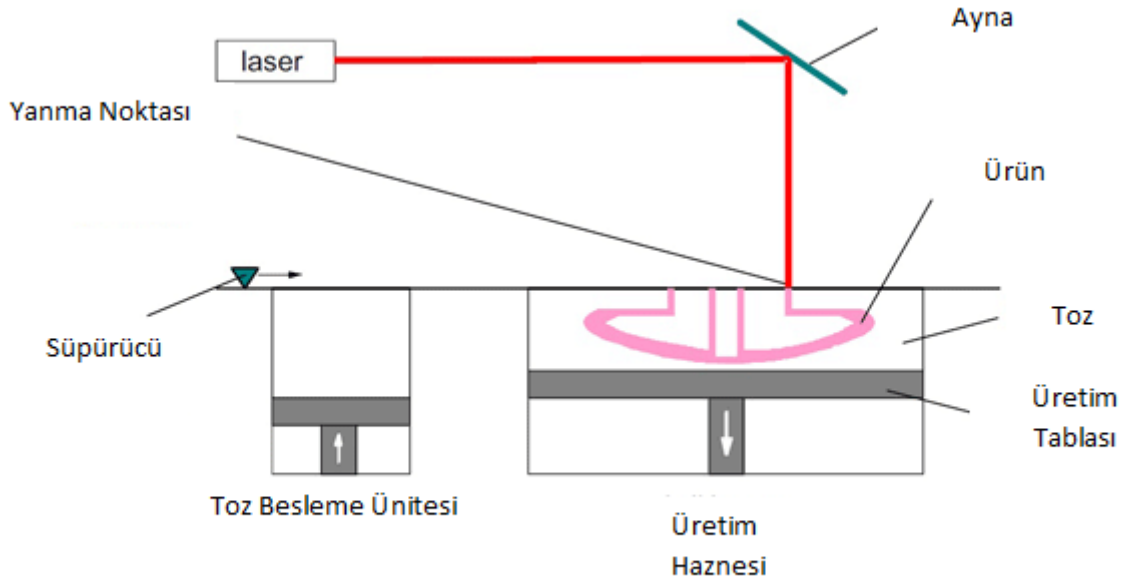
Şekil 5. Lazer Sinterleme Yönteminin Şematik Gösterimi [10]

ii. Lazer Eritme

Lazer sinterleme yönteminden yola çıkılarak geliştirmiştir. Toz halinde yığılmış malzemenin üzerine gönderilen lazer ışını, tozların erimesini sağlar. (Bkz. Şekil 6) Uygun takım yolu ile gönderilen lazer, istenen geometri üzerinde eriyik oluşturur. Koruyucu gaz atmosferi sayesinde sorunsuz bir şekilde eriyen toz, kısa süre içinde katılaşarak geometriyi oluşturur. [11]

Lazer eritme, sinterlemeye kıyasla daha iyi yüzeyler üretilmesine imkan sağlamaktadır. Keza bu yöntem ile, sinterlemede elde edilemeyen sıcaklık değerlerine ulaşılmakta ve yüzey tanımlaması daha iyi yapılmaktadır. Aynı şekilde, mekanik özellikler de sinterlemeye göre daha başarılıdır. [12]

Sinterlemede, lazer dik bir şekilde tozlara yönlendirilmez. Bu iş için, ayarlanabilir aynalardan faydalanılır. Aynanın açısı kontrolü ile, lazerin hassas bir şekilde uygun bölgeye aktarılması mümkün olmaktadır.



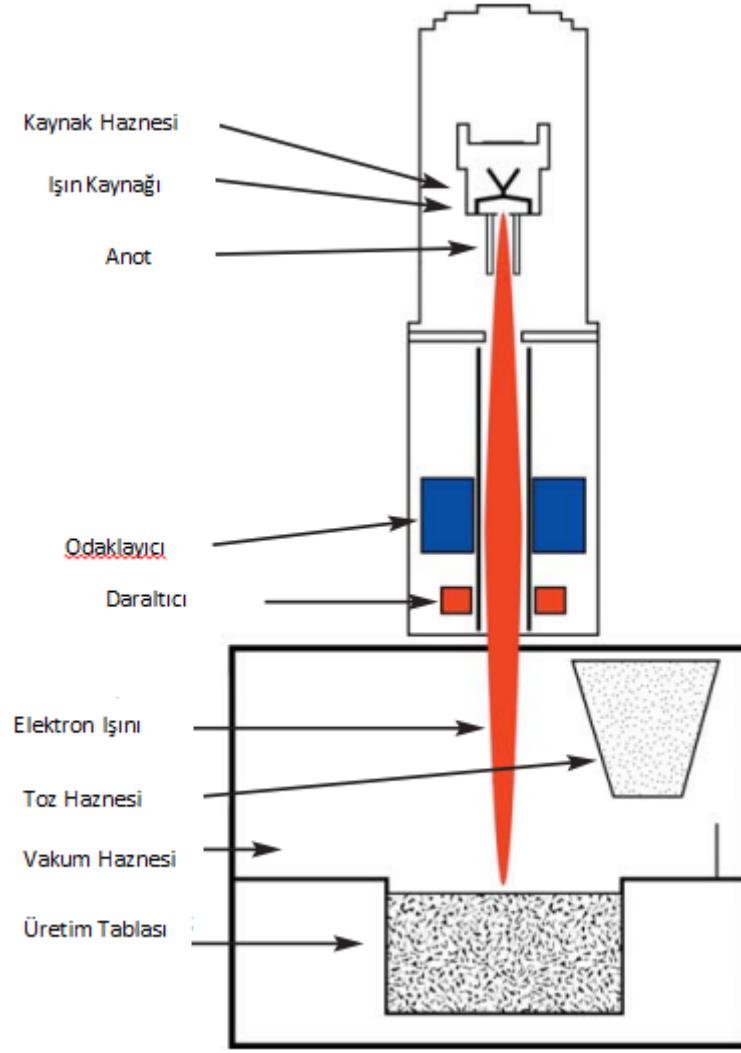
Şekil 6. Lazer Eritme Yönteminin Şematik Gösterimi [13]

iii. Elektron Işın Eritme

Lazer eritme metodu ile aynı şekilde, biriktirilmiş olan tozların eritilmesi prensibine dayanmaktadır. Şekil 7’de görüleceği üzere güçlü bir ışın kaynağı, ışını üretir. Ardından ışın merkeze odaklanır ve çapı azaltılır. Yapı olarak lazer eritme yöntemine benzer şekilde, tozların eritilmesi ve eriyik havuzunda soğuyarak katman oluşturulması, üretim haznesinin yüksekliğinin değiştirilmesi ile de katmanların üst üste oluşturulması mantığı ile üretim yapılır. Güç kaynağı olarak kullanılan elektron ışınının yüksek sıcaklıklara çıkabilme kapasitesi (3500°C) sayesinde, daha yüksek erime sıcaklığı bulunan malzemelerin de eklemeli imalat ile üretilmesi mümkün olabilmektedir. Çeşitli titanyum alaşımları, refrakter metaller ve çeşitli süper alaşımlar kullanılarak tasarlanmış ürünler, elektron ışın eritme yöntemi yardımıyla, karmaşık geometriler halinde üretilebilir. Elektron ışın eritme sayesinde, normalde birden fazla parçadan oluşan ve montaj ile bağlanan yapılar, tek parça olarak üretilebilir. Bu da, hem işçilik sürelerinin azalması hem de montaj toleranslarının ortadan kalkması sayesinde maliyetlerde bir düşüş meydana getirmektedir. [14] Yine kaynağın gücü, daha hızla başka kademelere geçebilmesini sağlamaktadır. $60\text{cm}^3/\text{saat}$ hızında tozun katılaşmasını sağlayabilmektedir. [15]

Tüm bu olumlu özellikleri ile birlikte, elektron ışın kaynağının dezavantajları da bulunmaktadır. Vakum altında yapılması gereken bu yöntem için, vakum haznesi hacmi, geometrik bir kısıt olarak ön plana çıkmaktadır. Yüksek sıcaklık değerlerinin, alüminyum benzeri malzemelerin kullanımı için bir kısıt oluşturması, yine çelik alaşımlarda kötü yüzeyler elde edilmesi gibi durumlar, bu yöntem için henüz aşılamamış sorunlardır. Yüzey kalitesindeki bu düşüş, son işleme gereksinimi doğurmakta, bu da maliyetlere olumsuz olarak yansımaktadır. Yine yaklaşık 60KV enerji gereksinimi önemli bir sorundur.

Elektron ışın üretme yönteminin geleceğinin, dış uzayda yapılacak üretimler olduğu düşünülmektedir. Sınırsız bir vakum ortamına imkan sağlayan uzay koşulları, koruyucu gaz kullanımına da gereksinim duyulmaması itibarıyla hem yüzey kalitesinin artması, hem de vakum haznesinin yarattığı hacimsel kısıtın ortadan kalkmasını sağlayarak elverişli bir üretim alanı oluşturmaktadır.



Şekil 7. Elektron Işın Eritme Yönteminin Şematik Gösterimi [15]

B. METAL OLMAYAN MALZEMELER KULLANILAN YÖNTEMLER

Metal dışındaki malzemeler, genellikle plastikler olarak üretim koşullarında karşımıza çıkmaktadır. Termoset, termoplastik ve elastomerler, bu grup altında incelenebilir. Kalıplama, şekillendirme, kesici takımlar gibi ek yöntemlerin kullanımı ile istenen ürünler elde edilebilir. Yönteme, üretim adedi ve geometrisi uyarınca karar verilmektedir. Düşük üretim miktarı olan işlerde, ya da enjeksiyon gibi deneme yanılma ile üretime geçilen işlerde prototip üretimi ciddi maliyetlere yol açmaktadır. Bu noktada, eklemeli imalat yöntemlerinin metal olmayan malzemeler için kullanımı bir çözüm olarak ortaya çıkabilmektedir.

a. MALZEME BİRİKTİRME YÖNTEMLERİ

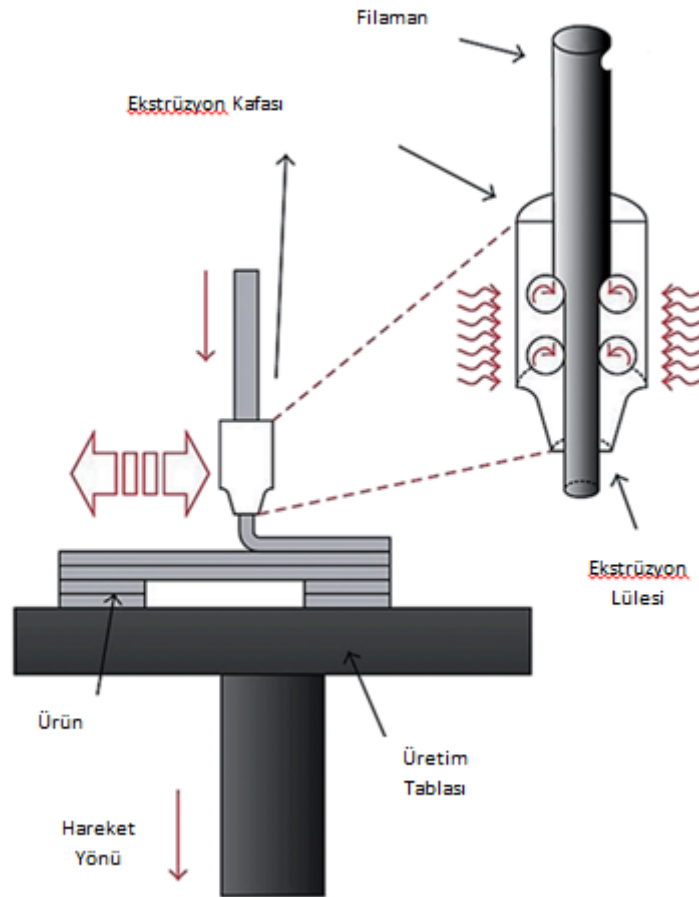
Metal malzemelerin kullanımı ile yapılan biriktirme yöntemlerinin benzeri olarak, elde edilecek ürünü oluşturması istenen malzemeler, ekipmanın üst kısmından aşağıya doğru beslenir. Oluşturulan takım yolu dahilinde, malzeme katman katman ürüne dönüştürülür.

i. Eriyik Biriktirme / Ekstrüzyon (*Fused deposition modeling*)

En sık rastlanılan, eklemeli imalat yöntemidir. 2000’li yılların ortalarında, mucitlerinin patent süresinin dolması neticesinde yaygınlaşmıştır. Ev düzeyinde kullanımı mümkündür ve maliyetleri oldukça düşüktür. İsmi literatürde genellikle FDM olarak kısaltılmaktadır.

Yöntem esasında bir ekstrüzyon prosesi olarak özetlenebilir. İnce ve uzun bir filaman şeklinde sarılmış plastik malzeme, Şekil 8’de detayları görülebilen ekipmana bağlanır. Ardından ısıtılmış çekme kafasına iletilir. Çekme kafasının çapı filamandan çok daha incedir ve filaman bu şekli alarak ekstrüzyon kafasından çıkar. İnceltilmiş filaman, ekipmanın belirlediği takım yolu dahilinde zemine gönderilir. Burada, filaman kalınlığı yüksekliğinde bir katman elde edilir. Diğer katmanlar da üst üste aynı şekilde oluşturulduğunda nihai ürün elde edilmiş olur.

Bu yöntem ile elde edilen yüzeyler oldukça kabadır. [16] Ayrıca, son işlem gibi bir olasılık da çoğunlukla mümkün değildir. Ayrıca, yöntem, elde edilen ürünün ebatlarına kıyasla çok yavaş kalmaktadır. Üretilcek ürün de, üç eksenli ekipman iç hacmi ile kısıtlıdır. Avantajlı görünen kısmı, maliyetin son derece düşük olmasıdır.



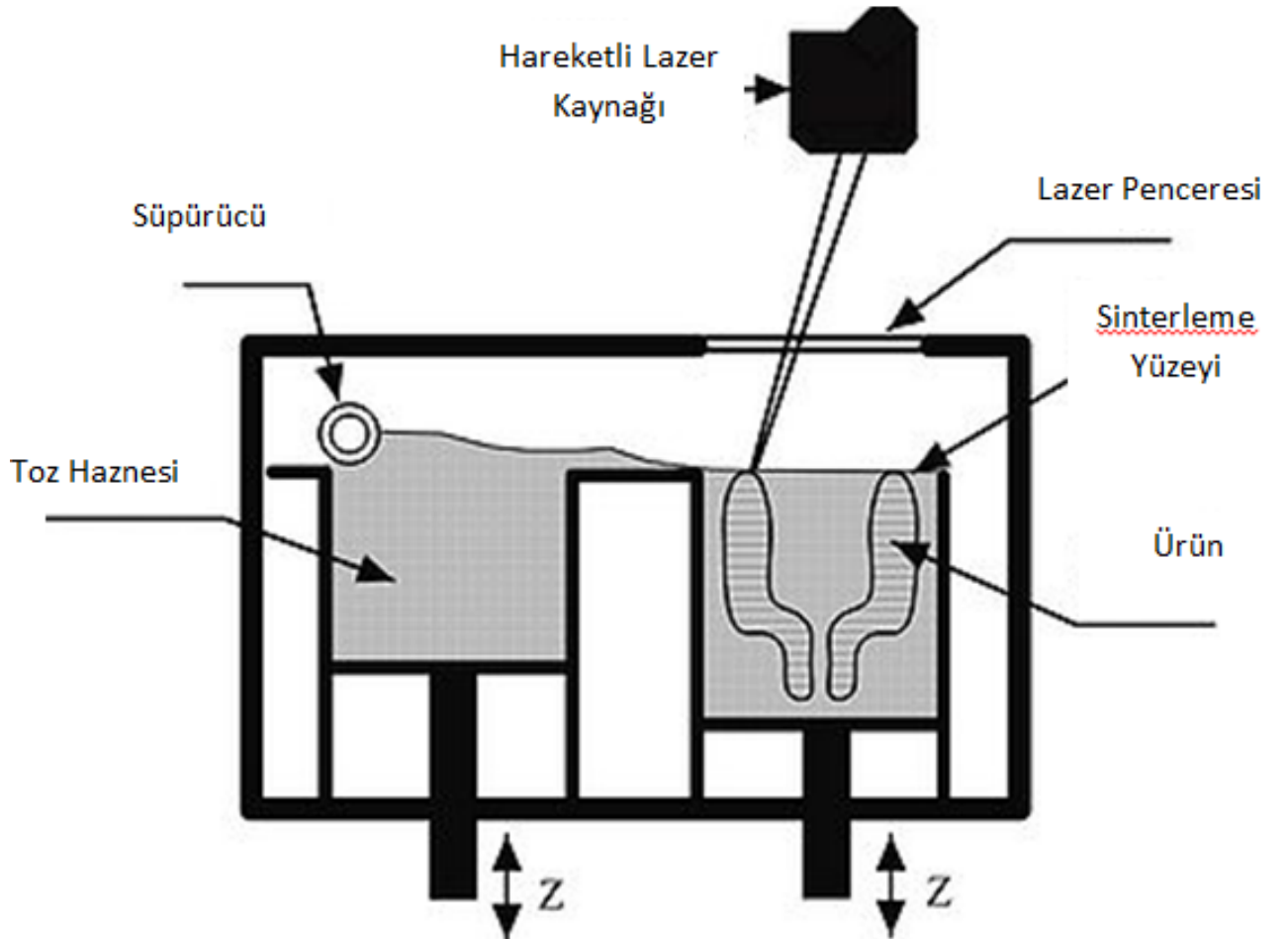
Şekil 8. Eriyik Biriktirme Yönteminin Şematik Gösterimi [17]

b. MALZEME YIĞMA YÖNTEMLERİ

Elde edilecek ürünü oluşturacak olan malzeme, toz halinde ekipmanın içinde bir haznede bulundurulur. Ekipman ile malzeme beslemesi yapılmaz, enerji iletimi sağlanır. Durağan haldeki tozun üzerine, uygun geometri dahilinde katman katman enerji nakledilerek, olgunlaştırma, eritme ve benzeri uygulamalar ile ürün elde edilmesi prensibi kullanılır.

i. Lazer Sinterleme (selective laser sintering)

Toz halde haznenin içine konulan malzeme, lazer ışını yardımıyla, önceden belirlenmiş bir geometri dahilinde sinterlenir. Lazerin bir aynaya gönderilmesi, aynanın da hareket ederek lazeri parça geometrisine uygun şekilde zemine iletmesi ile sinterleme sağlanmış olur. Katmanın sinterleme işlemi tamamlandıktan sonra alt kademeye geçilir, böylece üst üste yerleşimi yapılan katmanlar ile üç boyutlu cisim elde edilir. Toz hali hazırda yığılı olduğu ve ürünü desteklediği için, destek malzemesi kullanımına gerek olmaz. Bu sayede hem yüzeyde kalıntı pürüzler oluşmaz, hem de malzeme israfı en aza indirgenmiş olur. Orta düzeyde yüzey kalitesi elde edilen lazer sinterlemeyi ön plana çıkaran özelliği ise nispeten hızlı bir yöntem olmasıdır. Nylon, polyamid gibi yaygın kullanılan malzemeler, polystyrene ve çeşitli elastomerler, bu yöntem kullanılarak ürüne dönüştürülebilmektedir. Her bir malzeme için farklı parametreler geliştirilmesi gerekmektedir. [18]



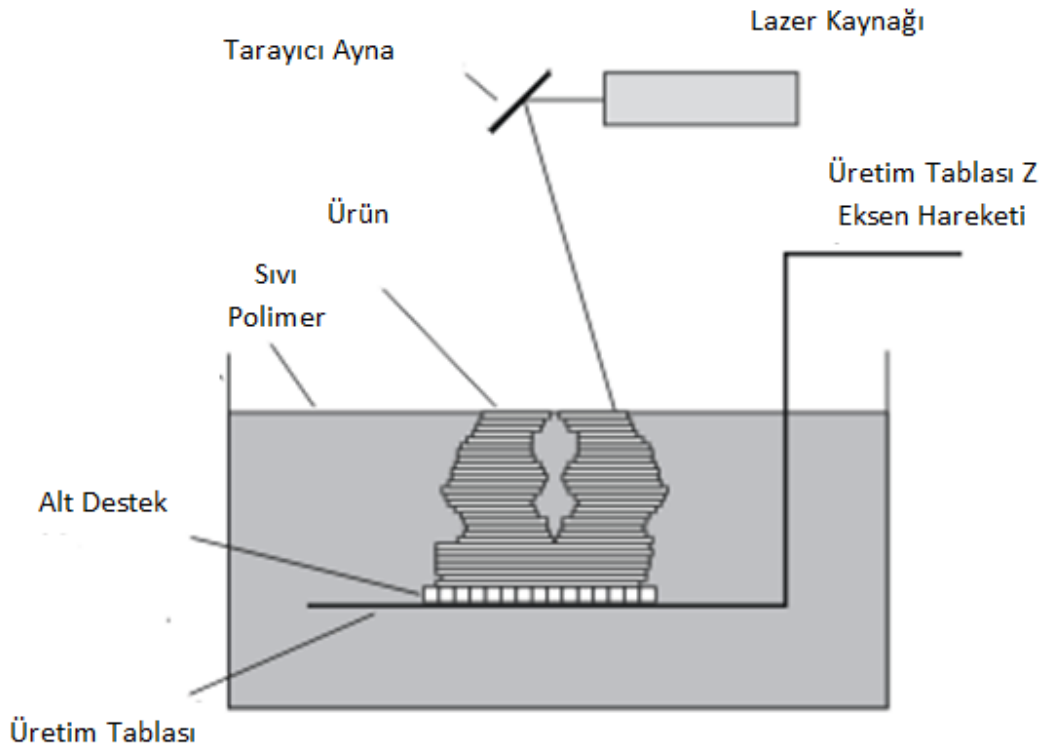
Şekil 9. Lazer Sinterleme Yönteminin Şematik Gösterimi [19]

ii. Sıvı Faz İmalat (stereolithography)

1988 yılında, 3D Systems, Inc. tarafından geliştirilmiştir. Lazer sinterleme ile aynı şekilde gerçekleştirilir. Farklı olarak, sıvı halde haznenin içine konulan termoset özellikli malzeme, uygun takım yolu boyunca lazer ışını yardımıyla olgunlaştırılır. Bu lazer, düşük enerjili, odaklanmış ultraviyole ışındır. Olgunlaşmamış kısımlar yine sıvı olarak kalır. Bu şekilde bir katman elde edilir. Ardından Şekil 10'da görünen üretim ünitesi aşağı inerek bir sonraki katmanın üretimine başlanır. Her seferinde, 0.05 mm yükseklik değişimi yapılır. Üst üste katmanların dizilmesi ile birlikte üç boyutlu şekil oluşturulur. Genellikle işlemin tamamlanması sonrasında, UV ışını yayan bir fırının içinde yüzey pürüzlülüğü giderilir. Termoset malzemenin fotopolimer olması önemlidir. Aksi halde olgunlaşma yani katılaşma gerçekleşmeyeceği için ürün elde edilemez.

Lazer sinterlemede elde edilemeyen detaylı parçaları bu yöntem ile üretmek mümkün olmaktadır. Çünkü olgunlaşma, sinterlemeye kıyasla daha iyi ısı dağılımı elde etmeyi mümkün kılmaktadır.

Üretim süresi, yalnızca modele veya STL dosyasına bakılarak elde edilememektedir. Eriyik biriktirme metodundaki net süre ve malzeme harcaması çıkarımları mümkün olmadığından, fiyat teklifi hazırlama sürecinde zorluk yaşanmaktadır. Ancak son yıllarda, bu yönde iyileştirmeye yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Farklı uygulamalar ile, yaklaşık olarak doğru malzeme harcaması ve süre tahminleri elde edilebilmektedir. [20]



Şekil 10. Sıvı Faz İmalatı Yönteminin Şematik Gösterimi [21]

c. HİBRİT YÖNTEMLER

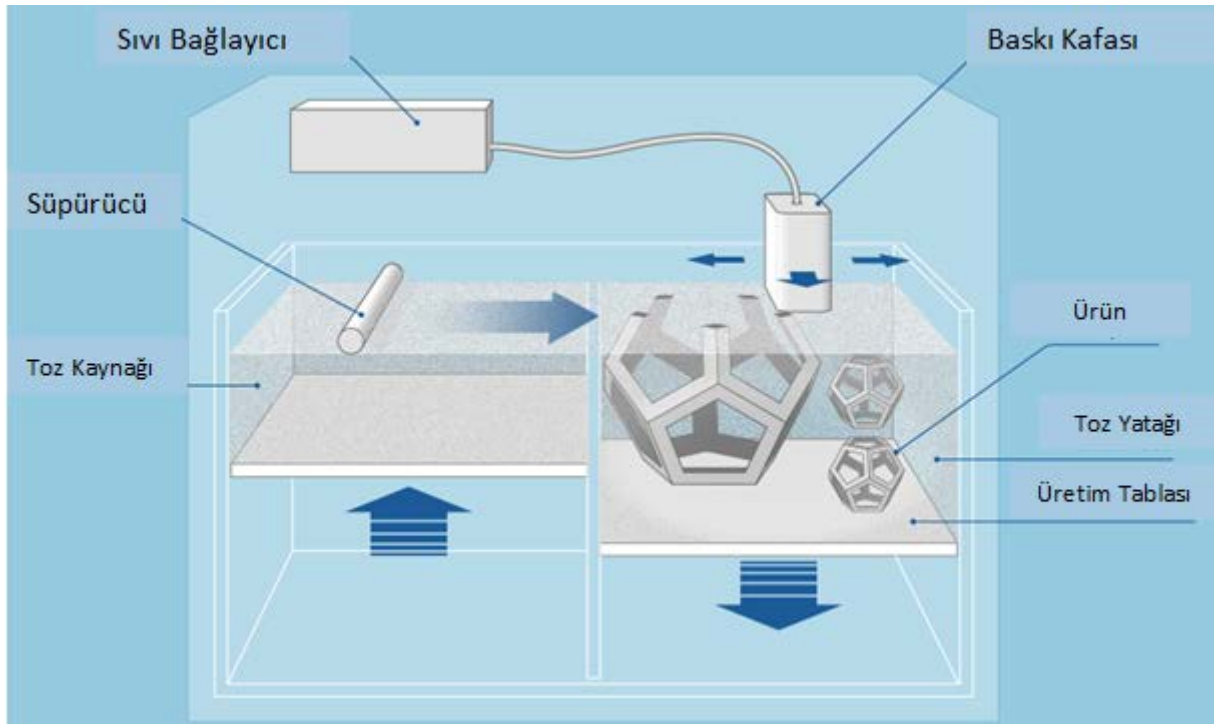
i. Üç Boyutlu Baskılama (3D printing)

3D printing, aslında genel olarak eklemeli imalat yerine kullanılan bir kelime grubudur ancak bu yanlış bir yaklaşımdır. Eklemeli imalat, tüm bu yöntemlerin genel adı olarak belirlenmiştir. üç boyutlu baskılama ise genellikle plastik-elastomer malzemelerin ürüne dönüştürülmesinde kullanılan bir alt daldır.

Ürünü oluşturacak olan malzemenin tozu, Şekil 11’de görünen ekipman içinde yığılır. Ardından eski tip püskürtmeli yazıcıların benzeri olarak, bağlayıcı malzemenin damla damla istenen takım yolu dahilinde bir katman üzerine püskürtülür. Püskürtme işlemi sonucunda, istenen geometri iki boyutlu olarak elde edilir ve katman oluşur. Sonrasında bir sonraki katmana geçilerek aynı işlem tekrarlanır. Bu şekilde ürün elde edilir.

Bu yöntem, malzeme tozunun yığılması itibariyle yığma, bağlayıcının püskürtülmesi itibariyle biriktirme tarzı yöntemlere dahil edilebileceği için hibrit olarak ele alınmıştır.

Malzemenin toz formunda bulunması sayesinde, herhangi bir destek kullanımına gerek yoktur. Her çeşit geometri ve tozu elde edilebildiği sürece her çeşit malzeme bu yöntem dahilinde ürüne dönüştürülebilir.



Şekil 11. Üç Boyutlu Baskılama Yönteminin Şematik Gösterimi [22]

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Farklı ürünler ve müşteri istekleri için farklı yöntemlerin kullanılması gerekliliği kesindir. Örneğin, lazer eritmenin lazer sinterlemeden daha iyi yüzeyler oluşturabilmesi, elektron ışın eritme yöntemi ile çok daha çeşitli ve dayanıklı tozlar kullanılabilir olması, kullanıcının uygun yöntemi seçmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Farklı ürün gereksinimleri için farklı malzemeler ön plana çıkmaktadır. Polimerler, genellikle prototip üretiminde kullanılırken, titanyum alaşımları havacılık ve uzay endüstrisi için ön plandadır. Tıp alanında da protez geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yeni yöntemler geliştirilmeye devam edildiği gibi, mevcut yöntemlerin de farklı şekillerde uygulanmaya başlaması mümkün olacaktır. Örneğin, elektron lazer eritme yöntemi vakum ve soy gaz atmosferi altında yapılmaktadır. Ancak hem soy gaz harcamasının maliyeti, hem de vakum haznesinin sınırlaması, yöntem açısından önemli handikaplardır. Bu nedenle, gelecekte bu yöntemin, uzay koşullarında uygulanır hale gelmesi bir öneri olarak ortaya konulabilir.

Ülkemizde eklemeli imalat henüz öğrenme aşamasındadır. Bazı tıp ve savunma sanayii kuruluşları, bu konuya öncülük etmektedir. Üniversitelerde de konuya ilişkin çalışmalar başlamıştır. Ancak gelişmiş ülkeler konu ile ilgili çalışmalarını ilerletmiş, tezgahların üretimi düzeyine geçiş yapmıştır. Yeni yöntemleri ortaya koyan firmalar patent edinmekte ve o alanda söz sahibi olmaktadır.

IV. SONUÇ

Çok sayıda çeşidi bulunan eklemeli imalat ile yalnızca üretim değil, tamir de yapılabilir olması, kullanılabilirliğini günden güne arttırmaktadır. Bugün çok sayıda firma, üretim hatlarında ciddi değişiklikler yaparak, geleneksel imalat yöntemlerinin yerine eklemeli imalat tezgahlarına yönelmektedir. Ham malzeme tasarrufu, daha hafif ürünler elde edilebilmesi, çok sayıda parçanın montajı ile üretilebilecek parçaların tek seferde ortaya konabilmesi, kalıp gibi belirli aralıklarla yenilenmesi gereken ekipmanların tamir edilebilir olması sayesinde eklemeli imalat gözde üretim yöntemleri arasında kendine yer bulmuştur.

Henüz ilerleme sona ermiş değildir. Çok sayıda malzeme, henüz eklemeli imalatta kullanılabilir tozlar haline dönüştürülmemiştir. Ancak çok sayıda akademisyen ve sanayii kuruluşu, eklemeli imalat konusunda çalışmalar sürdürmektedir. Konunun gelişme hızı, gittikçe artarak devam etmektedir. Bilinirlik, genellikle ev tipi FDM cihazları üzerinden artmakta, endüstriye kullanım ise LENS gibi yöntemlerin faydalılığı sayesinde ivme kazanmaktadır.

V. KAYNAKLAR

- [1] J.-P. Kruth, M.C. Leu, T. Nakagawa, Progress in additive manufacturing and rapid prototyping, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, **47(2)** (1998) 525-540
- [2] T. Grimm, *Guide to Rapid Prototyping*, 1.Baskı, Society of Manufacturing Engineers, (2004)

- [3] I. Gibson, D.W. Rosen, B. Stucker, *Additive Manufacturing Technologies*, 1.Baskı, Springer, (2010)
- [4] Anonim, <http://www.lpwtechnology.com/technical-library/technical-information/laser-metal-deposition/> (Erişim tarihi: 29th of April, 2016)
- [5] A. Bandyopadhyay, B. V. Krishna, W. Xue, S. Bose, Application of laser engineered net shaping (LENS) to manufacture porous and functionally graded structures for load bearing implants, *Journal of Materials Science : Materials in Medicine*, **20**, (2009) 29-34
- [6] Anonim, <https://chms.ucdavis.edu/research/web/schoenung/Research.htm> (Erişim tarihi: 29th of April, 2016)
- [7] Almir Heralic, Anna-Karin Christiansson, Mattias Ottosson, Increased stability in laser metal wire deposition through feedback from optical measurements, *Optics and Lasers in Engineering*, **48(4)**, (2010) 478-485
- [8] Anonim, <http://www.merlin-project.eu/project/index.jsp> (Erişim tarihi: 29th of April, 2016)
- [9] Peter Mercelis, Jean Pierre Kruth, Residual stresses in selective laser sintering and selective laser melting, *Rapid Prototyping Journal*, **12(5)**, (2006) 254 – 265
- [10] Anonim, 3dprintingfromscratch.com/common/types-of-3d-printers-or-3d-printing-technologies-overview/#sls (Erişim tarihi: 29th of April, 2016)
- [11] H.P. Qu, H.M. Wang, Microstructure and mechanical properties of laser melting deposited γ -TiAl intermetallic alloys, *Materials Science and Engineering*, **466(1-2)**, (2007) 187-194
- [12] Giovanni Strano, Surface roughness analysis, modelling and prediction in selective laser melting, *Journal of Materials Processing Technology*, **213(4)**, (2013) 589-597
- [13] Anonim, www.metal-am.com/introduction_to_metal-additive_manufacturing/processes (Erişim tarihi: 29th of April, 2016)
- [14] Joe Hiemenz, Electron beam melting, *Advanced Materials & Processes*, **165(3)**, (2007) 45-46
- [15] Anonim, www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1274037 (Erişim tarihi: 29th of April, 2016)
- [16] Antonio Armillotta, Assessment of surface quality on textured FDM prototypes, *Rapid Prototyping Journal*, **12(1)**, (2006) 35-41
- [17] R.D. Farahani, K. Chizari, D. Therriault, Three-dimensional printing of freeform helical microstructures: a review (2014) **DOI: 10.1036/C4NR02031C**
- [18] Ian Gibson, Dongping Shi, Material properties and fabrication parameters in selective laser sintering process, *Rapid Prototyping Journal*, **3(4)**, (1997) 129-136
- [19] Anonim, www.thermalfluidscentral.org/encyclopedia/index.php/Thermal_manufacturing (Erişim tarihi: 29th of April, 2016)
- [20] Hongbo Lan, Yucheng Ding, Price quotation methodology for stereolithography parts based on STL model, *Computers & Industrial Engineering*, **52(2)**, (2007) 241-256
- [21] Anonim, www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1647 (Erişim tarihi: 29th of April, 2016)
- [22] Anonim, www.additively.com/en/learn-about/binder-jetting#read-more (Erişim tarihi: 29th of April, 2016).