

## EKLEMELİ İMALAT (3 BOYUTLU BASKI) TEKNOLOJİLERİNİN EĞİTİMDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Öğr. Gör. Dr. Koray ÖZSOY<sup>1</sup>,

[korayozsoy@sdu.edu.tr](mailto:korayozsoy@sdu.edu.tr)

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi Senirkent MYO, ISPARTA

Öğr. Gör. Dr. Burhan DUMAN<sup>2</sup>

[burhanduman@sdu.edu.tr](mailto:burhanduman@sdu.edu.tr)

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi Uluborlu S.Karasoy MYO, ISPARTA

### ÖZET

1980'li yıllarda ortaya çıkan eklemeli imalat teknolojileri, ilk olarak prototip üretimi için kullanıldığından hızlı prototipleme olarak isimlendirilmiştir. Günümüzde de son kullanım fonksiyonel parçaların imalatında kullanıldığından eklemeli imalat olarak anılmaktadır. Eklemeli imalatta temel mantığı aynı olmakla birlikte birbirinden farklı yaklaşımlarla imalat yapan pek çok teknoloji geliştirilmiştir. En yaygın eklemeli imalat teknolojileri; steryolitografi (SLA), ergiterek yığma ile modelleme (FDM), üç boyutlu yazıcı (3DP), seçmeli lazer sinterleme (SLS), seçmeli lazer ergitme (SLM), elektron ışınli ergitme (EBM) gibi yöntemlerdir. Eklemeli imalat teknolojilerinin tıp, dişçilik, havacılık ve uzay sanayi, otomotiv, kuyumculuk gibi birçok sektörde kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Son yıllarda isminden sıkça bahsedilen Endüstri 4.0 sanayi devrimi içerisinde de önemli bir yeri olacağı tahmin edilmektedir. Bu anlamda sanayiye nitelikli teknik eleman yetiştiren meslek yüksekokullarında, eklemeli imalat teknolojilerinin eğitiminin verilmesi ve kullanılması ülkemizin sanayi devrimini gerçekleştirmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmada eklemeli imalat (üç boyutlu yazdırma) teknolojilerini tanıtılması ve eğitiminde kullanılabilirliği üzerine bir araştırma yapılmıştır. Eklemeli imalat teknolojilerinin eğitimindeki teknik, sağlık ve sosyal bilimler alanlarında kullanılabileceği, bunun sonucunda öğrencilerin daha becerili, teknik ve donanımlı hale gelerek ülkenin gelecek sanayi strateji hedeflerine ulaşmasında olumlu etkisi olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Eğitim, eklemeli imalat, üç boyutlu baskı

## USABILITY OF ADDITIVE MANUFACTURING (THREE DIMENSIONAL PRINTING) TECHNOLOGIES IN EDUCATION

### ABSTRACT

Additive manufacturing technologies which are emerge in 1980's years, they are using for prototip production in first time for that reason their denomination rapid prototyping . Nowadays it called additive manufacturing because of it using for end use functional part's production. In additive manufacturing, the basic rationales the same, but many different technologies have been developed to manufacture with different approaches. The most common additive manufacturing technologies are stereolithography (SLA), fused deposition modelling (FDM), 3 dimensional printer (3DP), selective laser sintering (SLS), selective laser melting (SLM) and electron beam melting (EBM). Addictive manufacturing technologies are becoming increasingly widespread in medicine, dentistry, aerospace industry, automotive, jewelry. It is estimated that Industrial 4.0 will have a key position in the industrial revolution, which has been mentioned frequently in recent years. In this sense, it is thought that the training and use of addictive manufacturing technologies in vocation schools that produce technical staff of industrialization will contribute to the realization of the industrial revolution of our country. In this study has been made on

introducing additive manufacturing (three-dimensional printing) technologies and its applicabilty in associate degree education. Additive manufacturing technologies can be used in technical, health and social sciences in associate degree education, so it is considered that the students will be more skillful, technical and equipped and will have a positive effect in reaching the future industrial strategy aims of the country.

**Key words:** Education, additive manufacturing, three dimensional printing

## 1. GİRİŞ

Bilimsel ve teknolojik gelişmelerin büyük bir hızla gelişim göstermesi; eğitimde yeniliklerin doğmasına mevcut olanların da modern teknoloji araçlar vasıtasıyla daha da hızlanmasına neden olmuştur. Bilgi toplumu olma yolundaki hedefimize ulaşmak için de teknolojiyi kullanmak kaçınılmaz olmuştur. Nesnelerin interneti, büyük veri, bulut bilişim, siber güvenlik, simülasyon, otonom robotlar gibi birçok teknoloji hayatımızı kolaylaştırmaktadır. Hayatımızı kolaylaştıran ve geleceğin teknolojisi olarak görülen 3 boyutlu yazıcılar, bilgisayar ortamında parça modellenerek, kısa bir süre içinde elle tutulabilir somut nesnelere dönüştüren makinelerdir.

Günümüzde “Üç boyutlu (3B) yazıcı” ile ifade edilen teknoloji aslında 1970 yıllarında hızlı prototipleme olarak, tasarımların numunelerini imal etmeyi amaçlamıştır. 80’li yılların başından itibaren numune yerine gerçek parça imalatı gündeme gelmeye başlamıştır. 90’lı yıllarda metal ve seramikten son kullanım doğrudan fonksiyonel parçalar üretilmesiyle imalat yönteminin adı “Eklemeli İmalat” olarak ifade edilmiştir [1-2]. Eklemeli imalat, üç boyutlu (3B) geometrik verileri kullanarak malzemenin bir biri ardına katman katman eklenmesiyle, karmaşık geometrili fiziksel parçaların hızlı bir şekilde imalatını gerçekleştiren bir imalat tekniğidir.

Endüstri devrimlerinin tarihi süreci incelendiği zaman, üretim sisteminde kolaylık sağlayan bir gelişme olduğu görülmektedir. Dolayısıyla dördüncü endüstri devrimi için de yeni bir imalat yöntemi ya da üretim sistemi olması gerekmektedir. Bu nedenle eklemeli imalat (3B yazdırma) teknolojilerinin yaygın kullanılmaya başlaması Endüstri Devrimi (4.0)’ın temelini oluşturmaktadır. Dünyada üretimin kaynağı Asya iken, pazarı Avrupa konumundadır. Türkiye, Asya ve Avrupa arasında önemli avantaj sağlayan coğrafi konumu sayesinde ülkeler arasında ticaretin gelişmesi için köprü konumundadır. Türkiye, dünya ekonomisi sıralamasında 16. olmasına rağmen; küresel rekabette, yeniliklere, iş kolaylığından, eğitim kalitesine kadar birçok uluslararası sıralamada mevcut durumunu da ekonomik göstere gibi yükseltebilir. Yüksek orta gelirli ekonomiler arasında yer alan Türkiye’de imalat sanayi, teknolojik olarak alt seviyede kalmıştır. Fakat orta gelir grubunda bulunan Türkiye’nin yüksek gelirli ekonomiler arasına girebilmesi için, yüksek teknolojiye üretime geçiş yapması gerekmektedir [3].

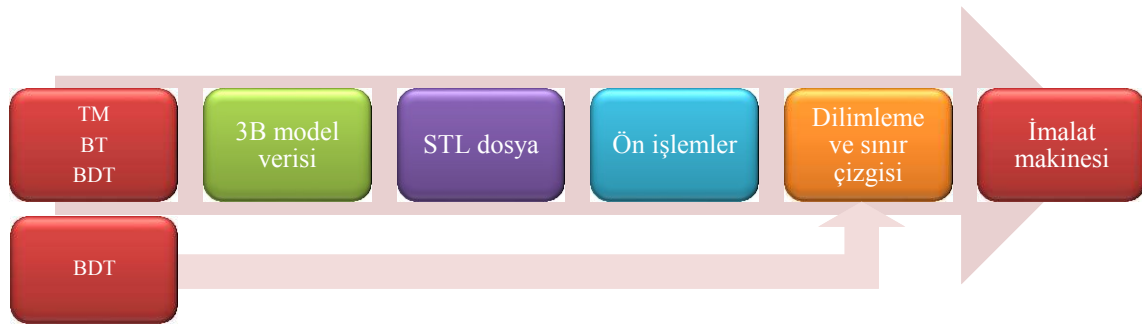
Türkiye’nin bu üretime geçiş yapması için kas gücünden farklı olarak öğrenmeye açık, araştıran, sorgulayan, karşılaştıran ve akli melekeleri ile üreten dinamik bir insan kaynağına ihtiyacı vardır. Bu kaynağı oluşturacak dönüşümü ise hızla gerçekleştirecek, doğru hedefler koymalı ve bu hedeflere ulaşmayı kolaylaştıracak politikaları oluşturan yapısal reformlara ihtiyaç vardır. Fakat bu reformların statik değil, dinamik olması gerekmektedir. Hem özel sektör hem de kamu kurumları ve bürokrasi için devrimsel değişikliklere ihtiyaç vardır [4]. Bu bağlamda sanayi-üniversite işbirliği çerçevesinde nitelikli teknik eleman yetiştiren meslek yüksekokulları önemli bir görev düşmektedir.

Eklemeli imalat teknolojileri ile Tıp, Uzay ve havacılık, Kalıpcılık, Otomotiv, Dişçilik, Askeri donanım, Mimari, Kişisel araç-gereç, Heykeltçilik, Kuyumculuk ve Eğitim alanlarında üretilen parçalar ve ürünlerin kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada eklemeli imalat (üç boyutlu yazdırma) teknolojilerinin tanıtılması ve eğitiminde kullanılabilirliği üzerine bir araştırma yapılmıştır. Eklemeli imalat teknolojilerinin eğitimdeki teknik, sağlık ve sosyal bilimler alanlarında kullanılabileceği vurgulanmıştır.

## 2. EKLEMELİ İMALAT (3B BASKI) TEKNOLOJİLERİ

Eklemeli imalat, modern (alışılmamış) imalat yöntemlerinden birisidir. Eklemeli imalat, üç boyutlu (3B) geometrik verileri kullanarak malzemenin bir biri ardına katman katman eklenmesiyle, karmaşık geometriyi fiziksel parçaların hızlı bir şekilde imalatını gerçekleştiren bir imalat tekniğidir. Bu teknikte parça, bilgisayar destekli tasarım (BDT) programları ile çizim, tersine mühendislik (TM), bilgisayarlı tomografi (BT) gibi farklı yöntemlerle elde edilen 3B modelden imal edilir. 3B model çok sayıda ince katmanlara ayrılır (dilimlenir) ve imalat sistemleri, parça tamamlanıncaya kadar her bir katmanı ardışık biçimde imal etmek için bu geometrik veriyi kullanırlar [5-9].

İmalatı düşünülen 3B katı model çoğu durumda doğrudan imalat makinesine gönderilmemektedir. 3B Model ilk olarak, eklemeli imalat standart arabirimi olan STL biçimli dosyaya dönüştürülür. Daha sonra, hata kontrolü ve onarımı, tablaya yerleşim ve inşa yönü, ihtiyaç halinde destek yapılarının oluşturulması gibi bazı ön işlemlere tabi tutulur. Ön işlemlerden geçirilen 3B model dilimlenerek (2B katmanlara ayrılarak) imalata hazır hale getirilir ve imalat makinesine gönderilir. İmalatı düşünülen 3B katı model STL dosya dönüşümü yapılmadan da dilimlenerek imalat makinesine gönderilebilmektedir (Şekil 1). İmalat makineleri, dilimlenerek elde edilmiş sınır çizgilerinden oluşan 2B geometrik veriyi kullanarak katman katman imalat işlemini gerçekleştirirler.

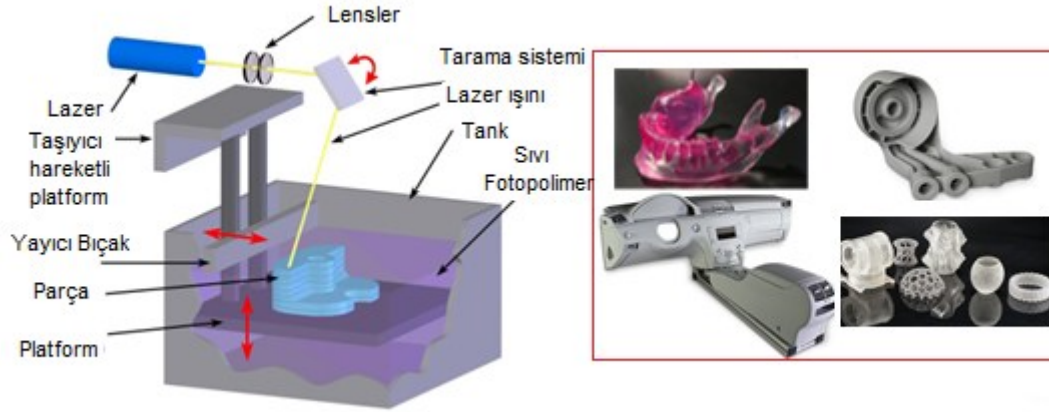


Şekil 1: Eklemeli imalat işlemi veri akışı [10]

STL dosya formatı, bütün BDT formatları ile yüksek çözünürlüklü 3B yazdırma bağlantısı için defacto standardıdır [7,10-12]. STL formatı modelin dış yüzeyini temsil eden sıralanmamış bir üçgen yüzey listesinden ibarettir [13]. Bir STL dosyası, üçgen yüzeyleri oluşturan her üç vektör için belirtilen x, y, z koordinatları ve bir normal vektörle tanımlanır. STL dosya formatıyla çalışmanın; üç boyutlu BDT verilerinin basit bir şekilde temsil edilmesi, çoğu Eİ ve BDT sisteminde kullanılabilmesi ve geometrik şekillerin veri transferi için basit dosyalar sağlaması gibi birçok belirgin avantajları vardır [14]. En yaygın eklemeli imalat teknikleri; Stereolitografi (SLA), Ergiterek Yığılma ile Modelleme (FDM), Üç Boyutlu Yazıcı (3DP), Seçmeli Lazer Sinterleme (SLS) ve Seçmeli Lazer Ergitme (SLM), Elektron Işınlı Ergitme (EBM) gibi yöntemlerdir. Bu teknikler ile sıvı reçineden, polimerlerden, polimer tozlarından ve metal tozlarından 3B fiziksel parçalar imal edilebilmektedir.

## 2.1. Stereolitografi (SLA)

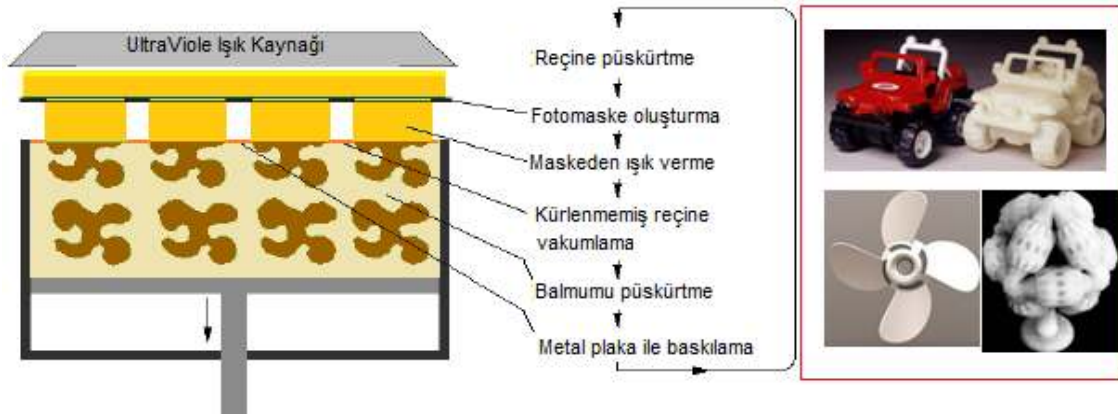
Stereolitografi tekniği, oda sıcaklığına sıvı halde bulunan fotopolimer reçine tabakasının noktasal bir morötesi (ultraviyole) lazer ışını vasıtasıyla belirli bölgelerinin kürleştirilmesi (katılaştırılması) prensibine dayanır. Bilgisayar kontrolü ile hareket eden tarama sistemi, lazer ışınını reçine tabakası üzerinde parça geometrisine göre gezdirerek (tarayarak) ilk katmanı oluşturur. Bir katman bittikten sonra parçanın bulunduğu platform (elevator) katman kalınlığı kadar aşağı indirilir ve bir kanat yardımıyla yeni bir kat sıvı fotopolimer ilkinin üzerine sıvanır ve kürleştirme işlemi sırasıyla devam ederek parçanın üretilmesi sağlanır. Katmanlar tamamlandıktan sonra parça reçine havuzundan çıkarılır. Parça oluşurken destek görevi gören yapı parçadan mekanik olarak ayrıştırılır. Şekil 2'de SLA sisteminin çalışma prensibi [5,9-10, 15-16] ve imal edilen parça görüntüleri verilmiştir[17,18].



Şekil 2: SLA sistem şematiği ve imal edilmiş parçalar

## 2.2. Katı zemin kütleme (SGC)

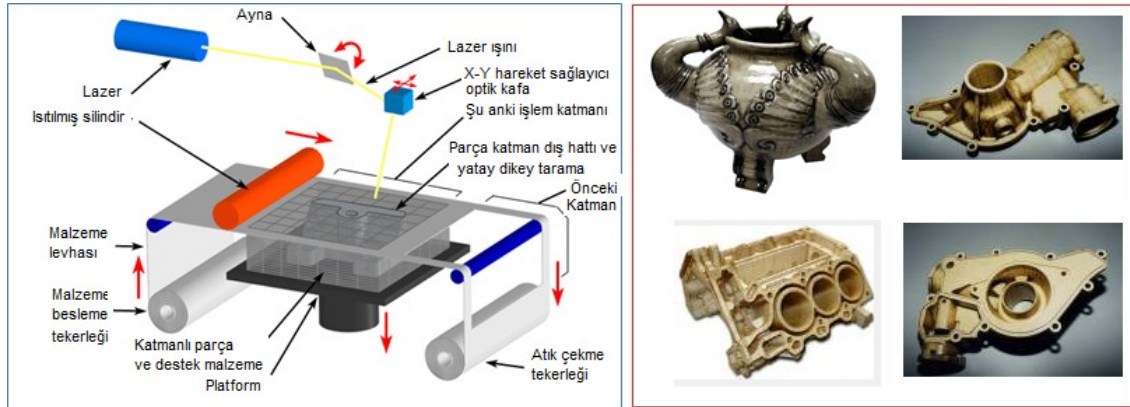
Bu teknolojinin İngilizcesi, "*Solid Ground Curing (SGC)*" olarak bilinir. KZK sisteminde yüzeye ince bir tabaka fotopolimer püskürtülür ve bu işlemlere paralel olarak cihazın başka bir kısmında cam bir plaka üzerine elektrofotografi yöntemi ile cam üzerine toner ile maske oluşturulur. Her kesit için ayrı bir maske hazırlanır ve kullanılan toner bir sonraki maskede tekrar kullanılır. Maske, fotopolimer tabakası üzerine getirilerek yukarıdan güçlü bir ampül ile UltraViolet (morötesi) ışık verilir. Bu esnada maskelenmemiş bütün alanlar kür olur. Sıvı halde kalan fotopolimer, elektrikli süpürge gibi bir vakum kafası ile emilir. Vakum ile temizlenen boşluklara destek malzemesi olarak erimiş mum püskürtülür. Mumun çabuk sertleşmesi için ise su ile soğutulan metal bir plaka ile mumun üzerine bastırılır. Bir sonraki işlem için yüzeyin düzeltilmesi amacıyla tüm yüzey bir freze çakısı ile traşlanır. Şekil 3' de KZK sisteminin şematiği verilmiştir [16].



Şekil 3: SGC sistem şematığı ve imal edilmiş parçalar [19]

### 2.3. Lamine Nesne İmalatı(LOM)

Helisys tarafından geliştirilen İlk ticari Lamine Nesne İmalatı (Layered Object Manufacturing-LOM) sistemi 1991' de piyasaya sürülmüştür. Sisteminin ana bileşenleri; inşa platformu üzerine bir levha ilerleten besleme mekanizması, levhayı aşağıdaki katmana yapıştırır (birleştirmede) basınç uygulamak için bir ısıtılmış silindir ve her bir levha katmanında parçanın dış hatlarını kesmek için bir lazer vardır (Şekil 4). Parçalar, yapışkan kaplı levha malzemenin bir önceki katmanların üzerine yapıştırılması, kesilmesi ve yığılması ile imal edilmektedir. Bir lazer, her bir katmandaki parçanın dış kısmını keser. Her kesme işlemi tamamlandıktan sonra, platform levha kalınlığına (tipik olarak 0,002-0,020) eşit derinlikte indirilir ve diğer bir levha, daha önce yerleştirilen levhanın üzerine ilerletilmektedir. Bu platform, sonra hafifçe yükselir ve ısıtılmış bir silindir yeni katmanı yapıştırmak için basınç uygular. Lazer, parça ana hattı ile dıştaki kısımları keser ve parça tamamlanana kadar bu işlem tekrar edilir. Bir tabaka kesildikten sonra artık malzeme, parçaya destek görevi üstlenmesi için yerinde kalır [5].



Şekil 4: LOM sistem şematığı ve imal edilmiş parçalar[20,21]

### 2.4. Eriyik Yiğarak Modelleme(FDM)

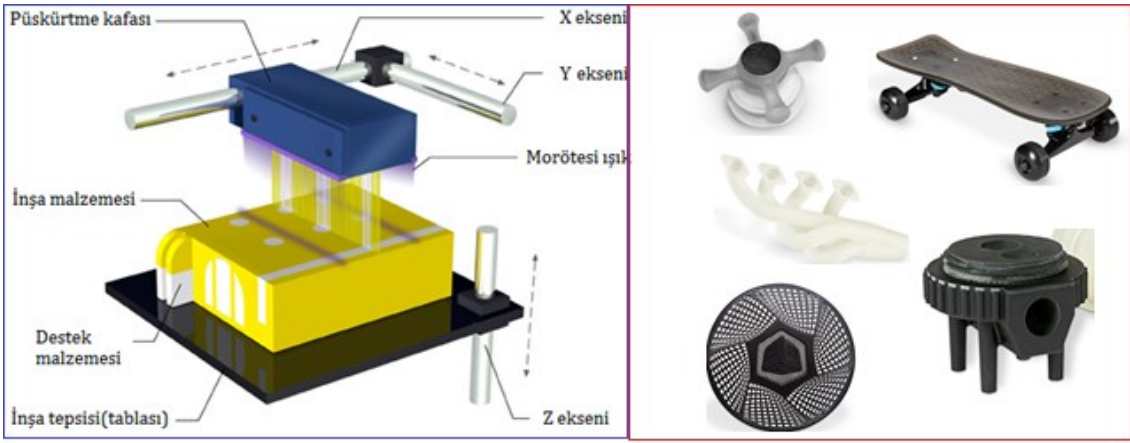
1988 'de ortaya çıkan yılında bu tekniğin esas ismi "Fused Deposition Modeling (FDM)" 'dir (Stratasys/3d-printers, 1989). FDM tekniğinde inşa hammadresi olan termoplastik malzeme, makaraya sarılmış olarak ince plastik filament halinde cihaza beslenir. Bir dizi kontrollü tahrik düzeneği ile nozula beslenen filament, nozula ulaştığında sıcaklıkla eritilerek yarı-ergiyik hale getirilir. İki eksende bilgisayar destekli üretim (BDÜ) yazılımı ile hareket edebilen ekstrüzyon





## 2.6. Çok Jetli (Polyjet-Multijet) Modelleme

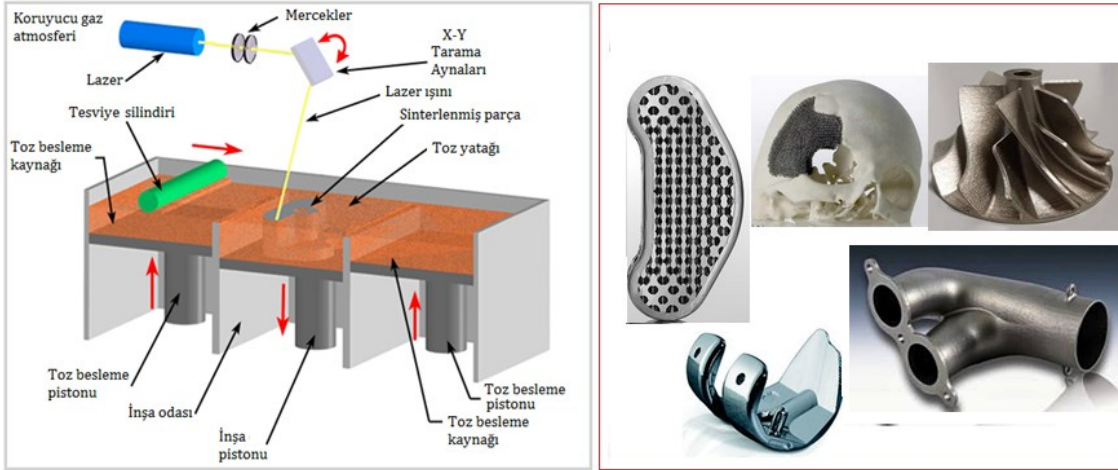
Sıcaklıkla eritilmiş inşa malzemesini, yazıcı kafadaki çok sayıda nozuldan püskürterek 3B modeller oluşturmaya dayalı bu sistem, farklı firmalar tarafından polyjet, multijet gibi isimlerle ticarileştirilmiştir. Çok jetli modelleme tekniğinde, oda sıcaklığında sıvı halde bulunan fotopolimer reçine 2 eksende bilgisayar destekli imalat (BDİ-CAM) yazılımı ile hareket eden enjeksiyon bloğuna yürütülür. Blok üzerinde cihazlara göre değişen adetlerde enjeksiyon kafası bulunmaktadır. Her bir enjeksiyon kafası üzerindeki küçük çaplardaki (mikron seviyesinde) çok sayıda nozuldan malzeme püskürtülerek boş bir tablanın üzerine bir katman oluşturulur. Püskürtülen hammadde tahliye edildiği anda morötesi (ultraviyole) lambalar vasıtasıyla dondurularak veya soğuma ile katılaştırılır. Her katmanda tabla bir adım aşağıya iner ve katmanlar halinde parça inşa edilir. Enjeksiyon kafalarından yarısı, parçayı oluşturan malzemeyi püskürtürken diğer yarısı da destek görevi görecektir malzemeyi püskürtür. İmalat tamamlandığında parça tabladan sökülür ve destek malzemesi parçadan mekanik yöntemlerle ayrıştırılır [7,16] (Şekil 7).



Şekil 7: Polyjet-Multijet sistem şematığı ve imal edilmiş parçalar [28]

## 2.7. Seçmeli lazer sinterleme ve eritme(SLS/SLE)

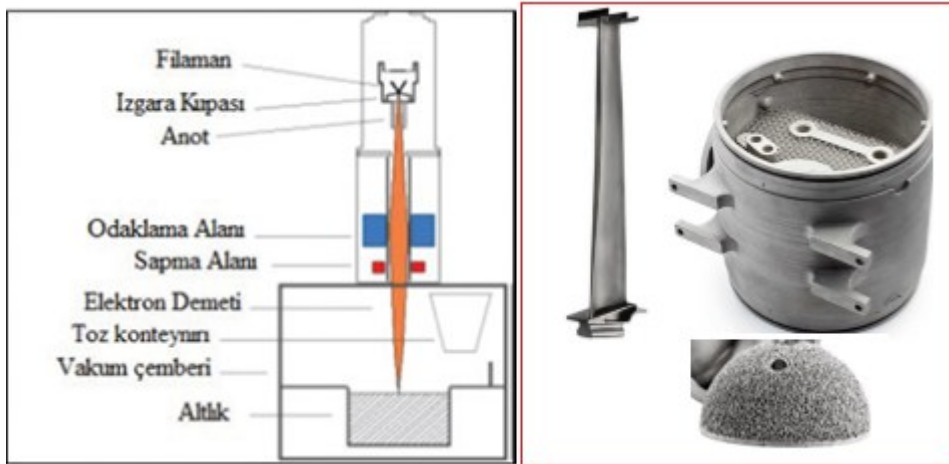
Seçmeli Lazer Sinterleme (SLS) ve Seçmeli Lazer Eritme (SLE) yöntemleri, eklemeli imalat yöntemleri grubuna girmektedir [29]. Bu teknoloji 1980'li yılların ortalarında Teksas Üniversitesinde Dr. Carl Deckard ve akademik danışmanı Dr. Joe Beaman tarafından geliştirilmiştir. SLS ve SLE tekniğinde, ısıtıldığında kaynaşabilen toz halindeki bir inşa hammaddesi ince ve düzgün bir tabaka halinde yayılır. Ardından yüzeydeki seçilen bölgeler lazer ışınıyla taranır. Işının yüzeye çarptığı noktalarda oluşan sıcaklıkla toz malzeme kısmen eriyerek veya sinterlenerek temas halinde olduğu diğer toz taneleri ile kaynaşır. Bu işlemten sonra inşa zarfının tabanında bulunan platform, bir katman kalınlığı kadar aşağı çekilir. Her katmanın inşası için bu işlemler gerektiği kadar (defalarca) tekrarlandıktan sonra, inşa süresince doğal bir destek görevi üstlenmiş olan serbest tozlar fırça veya vakumlu emici ile manuel olarak temizlenerek imal edilen parça alınır [30-32,16].



Şekil 8: SLS/SLM sistem şematığı ve imal edilmiş parçalar [33,34].

## 2.8. Elektron ışınli ergitme (EBM)

Elektron ışınli ergitme (EBM) prosesi toz halindeki metalleri ısıtarak ergitme ve birleştirme prensibine dayanır. Bu yönüyle Seçmeli Lazer Sinterleme (SLS) metodu ile benzerlik gösterir. Ancak EIE işleminde tam yoğunlukta metal parçalar, katman katman metal tozundan güçlü bir elektron ışını ile ergitilerek inşa edilir. EIE makinesi 3B BDT model verilerini okuyarak toz malzemenin ardışık katmanlarını oluşturmaktadır. Her bir katman BDT modeli ile tanımlanan kesin geometriye ergitilir. 1000°C sıcaklıkta, vakumda bulunan hareketli tabla üzerine yaklaşık 0,1mm kalınlığında tabaka oluşturacak şekilde serilen metal tozları, bilgisayar kontrollü elektron bombardımanına tutulur. 2800°C elektron kaynağından gelen elektronlar hızlandırıldıktan sonra yarım ışık hızı büyüklükte bir hız ile toza çarpar. Bu hızdaki elektronların kinetik enerjisi ile metal ergitilir. Ergitme bittikten sonra tabla dikey düzlemde aşağı kaydırılır, eritilecek yeni tabaka toz serilir ve işlem tüm katmanlar imal edilene kadar tekrarlanır. Bu tekniğin şematik resmi Şekil 9' de verilmiştir [35,36].



Şekil 9: EBM sistem şematığı ve imal edilmiş parçalar [36]

## 3. EKLEMELİ İMALAT KULLANIM ALANLARI

Eklemeli imalat teknolojisi incelendiğinde Tıp, Uzay ve havacılık, Kalıpcılık, Otomotiv, Dişçilik, Askeri donanım, Mimari, Kişisel araç-gereç, Heykeltçilik, Kuyumculuk ve Eğitim alanlarında üretilen parçalar ve ürünlerin kullanıldığı görülmektedir. Eklemeli imalat teknolojileri son



yıllarda hem kullanım alanı yaygınlaştığı hem de teknolojisi gelişerek kullanım alanı gittikçe arttığı görülmektedir. Eklemeli imalatın ile medikal alanında yapılan akademik çalışmalar incelendiğinde diğer alanlara göre oldukça fazladır. Eklemeli imalat ile kişiye özel medikal ve dental implant üretimi, canlı doku ve yapay organ baskısı gün geçtikçe kullanımı artan uygulamalar arasında yer almaktadır. Bu bağlamda medikal ve dental alanlar eklemeli imalat uygulamaları içerisinde son 15 yılda en büyük üçüncü pazarı oluşturmuştur [37].

Dr. Peckitt üst çene kemiği kesit parça alma ve yeniden yapılandırma (reconstruction) operasyonunu standart implantların kullanılması ile 13 saat gibi bir süre ile gerçekleştirirken, eklemeli imalat yöntemiyle kişiye özel implant üreterek aynı operasyonu 2,5 saat gibi daha kısa bir sürede gerçekleştirmiştir [38,39]. İngiltere’de eklemeli imalat yöntemiyle üretilen leğen kemiğinin nakledildiği kanser hastası değnek yardımıyla yürümesi sağlanmıştır. Bir diğer önemli hayat kurtaran operasyon ise Hollanda’da eklemeli imalat yöntemiyle kişiye özel kafatası üretilerek sentetik bir kafatası ile değiştirilmiştir. Hastanın önceki yöntemlere göre daha olumlu bir sonuç verildiği görülmüştür [40].

Eklemeli imalat teknolojisinin diğer uygulamaları incelendiğinde; hava taşıt araçları üreten Airbus tarafından 20 kg ağırlığında ve 4 m uzunluğunda Thor isimli model uçak eklemeli imalat yöntemiyle imal edilmiştir. Bu model ile uçağın imal edilmesindeki amacı, eklemeli imalat ile üretilen parçaların uçaklarda kullanılmasının sağlanmasıdır. ABD’de NASA 2013 yılında eklemeli imalat ile roket motoru parçaları imal edip ve test etmişlerdir. Uluslararası Üretim Teknolojileri Fuarında görüntülenen ve motoru dışında tüm aksamı eklemeli imalat ile sadece 2 günde üretilen, hızı saatte 60 Km/h ulaşabilen “STRATI” isimli bu aracın maliyeti 17.000 Dolar’dır.

Türkiye’nin ilk yerli 3 boyutlu yazıcısını üreten LTS Teknoloji Grup, hayata geçirdiği “Sihirli Fabrika” projesiyle Doğu’daki çocukların hayal ettikleri oyuncakları üretmeye başlamıştır. Ayrıca aynı firma TC Vagon Sanayi A.Ş (TÜVASAŞ) üreteceği vagonların yapım ve tasarım aşamasında ortak çalışma başlatmıştır. Sonuç olarak; Stratasys firmasına göre eklemeli imalat ile geleneksel imalat karşılaştırıldığında maliyet olarak %58 ve zaman olarak %92 kazanç olacağı ön görülmüştür[41].

#### 4. EKLEMELİ İMALAT EĞİTİM ORTAMINDA KULLANIMI

Eklemeli imalat teknolojisinin eğitim öğretim ortamında doğru biçimde kullanılabilmesi için nitelikli eleman, teknik destek, yazılım, donanım erişimi gibi okullarda alt yapısı uygun olması gerekir. 3B baskı teknolojileri; meraklı ve hayal gücü sınırsız çocuklarımız için fikirlerini sonuca dönüştürmeye yarayan bir araçtır. Bu yönleriyle örgün eğitimin sınırlılıkları içinde imalatı mümkün olmayan ya da yapılması zaman ve kaynak kullanımı bakımından verimli olmayan etkinliklerin gerçekleşmesine katkı sağlayabilirler. Bundan dolayı, 3B baskı ürünleri, eğitsel etkinlikler kapsamında üretkenliği artırmaya yönelik teknolojiler olarak düşünülebilir [42]. Özel orta öğretim kurumlarının hemen hemen hepsi bu çağın imalatı makine ve sistemleriyle ilgilenmektedir. Devlet okullarının yönetici ve idarecileri bu konuda okul aile birliği katkıları ile çağın üretim teknoloji ve sistemlerini erişmeleri müfredatlarına almaları ile endüstri devrimini sağlam temeller üzerinde yükselsecektir.

Eğitim ortamında eklemeli imalat teknolojisinin kullanılması ile öğrenciler kendi fikirlerini somut modellere aktarıp, hayal güçlerinin gelişebileceği ön görülmektedir. Böylece, eklemeli imalat teknolojilerinin eğitimindeki teknik, sağlık ve sosyal bilim alanlarında kullanılabilmesi, bunun sonucunda öğrencilerin daha becerili, teknik ve donanımlı hale gelerek ülkenin gelecek sanayi strateji hedeflerine ulaşmasında olumlu etkisi olacağı düşünülmektedir. Buna ek olarak güncel bir teknoloji olması sebebiyle eklemeli imalat (3B baskı) teknolojilerinin ham madde temini, yazılım ve donanım giderlerinin yüksek olması, eğitim ortamlarında yaygın bir biçimde tercih edilememesine yol açmaktadır. Bu kısıtlamalara çözüm önerisi ise, açık kaynak koda sahip

teknolojinin kullanımınıdır [43,44]. Bu sayede 3B baskı teknolojileri üretimi gerçekleştiren öğretmenlerin edindikleri bu deneyimi kendi sınıflarında uygulamaya başladıkları görülmüştür [45]. Uluslararası Eğitim Teknolojileri Topluluğu'na göre 5 sene içerisinde 3D yazıcıların, nesnelerin interneti (Internet of Things) ve oyunlaştırma STEM (Science-Technology-Engineering-Mathematics) kapsamında eğitim teknolojileri içinde yerini alacağı belirtilmiştir. Milli Eğitim bakanlığının hizmet içi eğitim kursları ile tüm eğitim kurumlarında öğretmenlere bu konuda farkındalık kazandırarak, öğrencilere de teknoloji tasarım dersleri müfredatında sanayi devrimi teknolojilerini kullanmaya teşvik edilmesi ülke açısından faydalı olacaktır.

3D baskı teknolojilerin diğer uygulama alanı proje tabanlı öğrenmedir. Bu yöntem, öğrencinin aktif katılımını teşvik eden, üst düzey bilişsel aktiviteleri destekleyen, çok çeşitli araç ve kaynak kullanımını gerektiren; akademik sosyal ve hayat becerilerini birlikte ele alan ve teknoloji kullanımını vurgulayan bir öğretim modelidir. Proje tabanlı eğitimin hızla arttığı günümüzde öğrenci merkezli bir yaklaşımla çocukların daha fazla hayal etmesi, kendini geliştirmesi, özgün fikirlerle desteklenmiş bir eğitim şekli üretilmesine destek olur [46]. Bu yöntem ile; 3 Boyutlu düşünme becerisi, üretim becerilerinin geliştirilmesi, matematiksel düşünme becerilerinin gelişmesi, proje tabanlı öğrenme yardımıyla sorun giderme, tasarım odaklı düşünme ve tasarım becerilerinin gelişmesidir [47].

## 5. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı eklemeli imalat (üç boyutlu yazdırma) teknolojilerini tanıtılması ve eğitiminde kullanılabilirliği ile ilgilidir. Çalışmada eklemeli imalat teknolojilerinden bahsedilmiş ve genel olarak karşılaştırılmıştır. Eklemeli imalat (3B baskı) teknolojilerin eğitimindeki teknik, sağlık ve sosyal bilim alanlarında kullanılması ile aşağıdaki kazanımlar elde edilebilir:

- Öğrencilerin bu teknolojinin kullanımı ile birlikte 3 Boyutlu düşünebilme kabiliyetin elde edilmesi,
- Öğrenciler, tasarladıkları bir objenin “.stl” formatındaki çıktısını alarak 3B baskı teknolojisinin ara yüzüne kolaylıkla erişip üretimi becerilerinin geliştirilmesi,
- Öğrencilerin analitik düşünme becerilerin geliştirilmesi,
- Öğrencilerin proje tabanlı öğrenime geçmeleri sağlanması,
- Okul ve sınıflarda tasarım odaklı düşünme ile problemlere çözüm bulmak ve mevcut sistemleri daha iyi duruma getirebilmesi,
- Öğrencilerin tasarım becerilerinin geliştirilmesi,
- Öğrencilerin el becerileri ve motor kasları geliştirilmesidir.

## 6. KAYNAKLAR

[1] M. Shellabear, J. Lenz, V. Junior, E-manufacturing with laser sintering—to series production and beyond, in: Proceedings of the Fourth Laser Assisted Net Shape Engineering, LANE 2004, vol. 1, September, Erlangen, Germany, pp. 435–444.

[2] J. Alcisto, A. Enriquez, H. Garcia, S. Hinkson, T. Steelman, E. Silverman, P. Valdovino, H. Gigerenzer, J. Foyos, J. Ogren, J. Dorey, K. Karg, T. McDonald, and O.S. Es-Said, Tensile Properties and Microstructures of Laser-Formed Ti-6Al-4V, JMEP, 2011, 20(2), p 203–212

[3] <https://www.3dsystems.com/3d-printers/projet-mjp-3600-series>

[4] <http://www.stratasys.com/materials/fdm/absplus>

[5] CustomPartNet, 2008. Inc., <http://www.custompartnet.com/wu/additive-fabrication>

- [6] Society of Manufacturing Engineers (SME), (1970). [http://www.sme.org/Tertiary.aspx?id=17485#sthash\\_gkpsIRmg.dpuf](http://www.sme.org/Tertiary.aspx?id=17485#sthash_gkpsIRmg.dpuf)
- [7] Stratasys Ltd. (1989). <http://www.stratasys.com>
- [8] Giannatsis, J., Dedoussis, V. (2009). Additive Fabrication Technologies Applied To Medicine And Health Care: A Review, Int. J. Adv. Manuf. Technol., 40, 116-127.
- [9] Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M. C., Duysak, A. (2013). Hızlı Prototipleme Teknolojileri ve Uygulama Alanları. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 31, 53-69.
- [10] Duman B, Kayacan M.C.. Seçmeli Lazer Sinterleme Tezgâhı İçin İmalat Yazılımı Geliştirilmesi [Development Of Manufacturing Software For Selective Laser Sintering Machine] [article in Turkish]. SDU International Journal of Technologies Science 2016;8(3):27-45.
- [11] Kai, C.C., Jacob, G.G.K., Mei, T., 1997. Interface Between CAD and Rapid Prototyping Systems Part 1: A Study of Existing Interfaces. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 13, 566-570.
- [12] Wikinetfabb, 2014. Erişim Tarihi:18.09.2014. [http://wiki.netfabb.com/STL\\_Files\\_and\\_Triangle\\_Meshes](http://wiki.netfabb.com/STL_Files_and_Triangle_Meshes)
- [13] Zhang, L.-C., Han, M., Huang, S.-H., 2003. CS File – An Improved Interface Between CAD and Rapid Prototyping Systems. Int. J. Adv. Manuf. Technol., 21,15–19.
- [14] Özüğür B. Hızlı prototipleme teknikleri ile kompleks yapıdaki parçaların üretilebilirliklerinin araştırılması (Master's Thesis). [The investigation of manufacturability of parts having complex structure by rapid prototyping technologies] [Thesis in Turkish] Ankara. 2006. <http://lib.gazi.edu.tr/>.
- [15] WikipediaTrSL, 2014. Erişim Tarihi:08.10.2014. <https://tr.wikipedia.org/wiki/H%C4%B1zli%28SLA%29>
- [16] Neğiş, E., Turkcadcam, 2014. Erişim Tarihi: 09.09.2014. <http://www.turkcadcam.net/rapor/autofab/>
- [17] <https://www.3dsystems.com/3d-printers/plastic#stereolithography-printers-sla>
- [18] <http://www.3ders.org/articles/20150625-zhuhai-ctc-electronic-announces-affordable-sla-3d-printer-riverside-with-durable-resin-plate.html>
- [19] <https://grabcad.com/library/4-bladed-propeller>
- [20] <https://3dvisdesign.com/3d-printing-next-billion-dollar-industry/>
- [21] <http://www.modellbau-hermann.de/leistungen/rapid-prototyping/laminated-object-manufacturing-lom.html>
- [22] <http://www.stratasys.com/materials/fdm/absplus>
- [23] <http://proto3000.com/news/2013/12/06/3dprinting/nylon-12-3d-printing-material-fdm-stratasys-canada>
- [24] <http://www.stratasys.com/3d-printers/idea-series/mojo#content-slider-1>
- [25] <http://www.3ders.org/articles/20150625-zhuhai-ctc-electronic-announces-affordable-sla-3d-printer-riverside-with-durable-resin-plate.html>

- [26] [http://www.turkcadcam.net/rapor/autofab/tech-light\\_curing-masking.html](http://www.turkcadcam.net/rapor/autofab/tech-light_curing-masking.html)
- [27] <https://3dprintingindustry.com/news/super3dm-content-developer-korea-35667/>
- [28] <https://www.3dsystems.com/3d-printers/projet-mjp-3600-series>
- [29] Tolosa, I., Garciandía F., Zubiri F., Zapirain F., Esnaola A., 2010. Study of Mechanical Properties of AISI 316L Stainless Steel Processed by Selective Laser Melting, Following Different Manufacturing Strategies, *Advanced Manufacturing Technology*, 5, 639–647.
- [30] Deckard, C., 1989. Method and apparatus for producing parts by selective sintering. US Patent 4,863,538, filed 17 October 1986, published 5 September 1989.
- [31] King, D., Tansey, T., 2002. Alternative materials for rapid tooling. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 121, 313–317.
- [32] Partee, B., Hollister, S.J., Das, S., 2006. Selective Laser Sintering Process Optimization for Layered Manufacturing of CAPA® 6501 Polycaprolactone Bone Tissue Engineering Scaffolds. *Journal of Manufacturing Science and Engineering(ASME)*, Vol. 128, 531-540.
- [33] <http://3dprintingsystems.com/additive-manufacturing-using-metals/>
- [34] [https://www.eos.info/systems\\_solutions/metal](https://www.eos.info/systems_solutions/metal)
- [35] WikipediaEnEBM, 2014. Erişim Tarihi:18.09.2014. [https://en.wikipedia.org/wiki/Electron\\_beam\\_melting](https://en.wikipedia.org/wiki/Electron_beam_melting)
- [36] <http://www.arcam.com/solutions/creating-value-additive-manufacturing/>
- [37] Wohlers, T. (2012). Wohlers report 2012. Wohlers Associates, Inc.
- [38] Lohfeld S., McHugh P., Serban D., Boyleb D., O'Donnell G., Peckitt N. Engineering Assisted Surgery™: A route for digital design and manufacturing of customised maxillofacial implants, *Journal of Materials Processing Technology*, 183, 333–338, (2007).
- [39] Jun Y., Choi K., Design of patient-specific hip implants based on the 3D geometry of the human femur, *Advances in Engineering Software*, 41, 537–547, (2010).
- [40] <http://www.voksel.com.tr/blog/saglik-sektorunde-cigir-acan-devrim-3d-yazici-teknolojisi/96>
- [41] [www.stratasys.com/](http://www.stratasys.com/)
- [42] Kuzu Demir E.B., ÇAKA C., TUĞTEKİN U., Demir K., İSLAMOĞLU H., KUZU A. Üç Boyutlu Yazdırma Teknolojilerinin Eğitim Alanında Kullanımı: Türkiye'deki Uygulamalar Ege Eğitim Dergisi. 2016(17) 2: 481 – 503.
- [43] <https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/56-okullarda-3-boyutlu-yazici-kullanimi>
- [44] Lipson, H. ve Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. Indianapolis, IN: John Wiley & Sons, Inc.

[45] Schelly, C., Anzalone, G., Wijnen, B., ve Pearce, J. M. (2015). Open-source 3-D printing technologies for education: Bringing additive manufacturing to the classroom. *Journal of Visual Languages & Computing*, 28, 226-237.

[46] <http://www.complet3d.com/okullarda-3-boyutlu-yazici-ile-egitim-farki-olusuyor/>

[47] <http://market.makerhane.com/3-boyutlu-yazici-tasarim-atolyesi>