

3 Boyutlu Yazıcılar ve Kullanım Alanları

Anıl Şahin¹

Gökçen Şahin²

Özet

Üç boyutlu (3B) baskı teknolojisi yenilikçi ve çok yönlü bir teknoloji aşaması olarak ortaya çıkmıştır. 3B baskı teknolojileri 1980'lerden beri var olsada, makine, malzeme ve yazılımdaki son gelişmeler, 3B baskıyı daha geniş bir işleme yelpazesi için erişilebilir hale getirerek, önceden birkaç yüksek teknoloji endüstrisi ile sınırlı olan araçları daha fazla şirketin kullanmasını sağlamıştır. 3B yazıcılar, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı kullanılarak oluşturulan veya 3B tarama verilerinden geliştirilen herhangi bir üç boyutlu yüzeyin matematiksel temsilleri olan üç boyutlu modellerden parçalar oluşturur. Gerçek nesnenin küçük ölçekli bir versiyonu ile geleneksel yöntemlere göre daha kısa sürede üretim sağlar. Bu, tasarımcıların ürünün kalitesini etkileyebilecek herhangi bir tasarım kusuru varlığını araştırabilmelerine ve ürünlerini geliştirmelerine yardımcı olur. Pahalı ve uzun prototip işleme sürecinin aksine 3B yazıcılar ile her tasarım değişikliğinde ucuz ve hızlı bir şekilde yeni bir prototip oluşturulabilir. Günümüzde profesyonel, düşük maliyetli çok çeşitli masaüstü ve tezgahüstü 3B yazıcılar inovasyonu hızlandırmakta ve mühendislik, otomotiv, uzay ve havacılık, imalat, diş hekimliği, sağlık, eğitim, inşaat, yiyecek, tekstil, eğlence, mücevher ve odyoloji gibi çeşitli sektörlerdeki işletmeleri desteklemektedir. Geleneksel termoplastikler, akrilonitril bütadien stiren (ABS), polilaktik asit (PLA), termoplastik poliüretan (TPU), özelleştirilmiş mühendislik plastikleri, seramikler, grafen bazlı malzemeler, kompozit malzemeler ve metal artık 3B baskı teknolojisi kullanılarak basılabilen malzemelerdir. Günümüzde bir masaüstü 3D yazıcının maliyeti hemen hemen herkes tarafından karşılanabilir seviyededir.

- 1 Dr. Öğr. Üyesi, Trakya Üniversitesi Edirne Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Uçak Teknolojisi Programı, anilsahin@trakya.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-2623-1195
- 2 Dr. Öğrencisi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji, gokcensahin@trakya.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-6606-7150

1. Giriş

3B baskı veya eklemeli üretim (AM) teknolojileri, fiziksel parça oluşturulana kadar art arda malzeme katmanı ekleyerek bilgisayar destekli tasarım (CAD) modellerinden üç boyutlu parçalar oluşturur (Formlabs, 2021; Syed vd., 2017). Eklemeli üretim, basit fiziksel modellerden işlevsel testler için kullanılan parçalara kadar uzanan bir dizi prototip için uygun olabilir. 3B baskı, karmaşık geometrik şekillerin oluşturulmasını ve seçilen fonksiyonel bileşenlerin herhangi bir konfigürasyonda birleştirilmesini sağlar; böylece optik, kimyasal, elektronik, elektromanyetik, akışkan, termal ve akustik özellikleri potansiyel olarak birleştirebilen çok işlevli son kullanım cihazlarının üretimi için yeni bir yaklaşım sağlar (Xu vd., 2017).

1980'lerde geleneksel olarak eksiltici üretim olan eklemeli üretim denen yeni bir endüstriyel üretim yöntemi önerilmiştir. Buna göre 3B nesnelere gereksiz malzeme dolu bir bloktan çıkarmak (talaşlı imalat) yerine, nesne yoktan başlanarak ve malzeme katmanlar halinde eklenerek üretilir. Bu üretim şekli, mürekkep püskürtmeli yazıcılarda kullanılan benzer bir teknolojiye atıfta bulunarak 3B baskı olarak adlandırılmıştır.

1980'lere kadar eklemeli üretim stratejilerinin endüstriyel bağlamda elektronik endüstrisinde mikroçiplerin üretimi dışında pratik bir uygulaması yoktur. 1970'lerin sonlarında, farklı teknolojiler kullanılarak bilgisayar destekli eklemeli imalat için çeşitli yöntemler önerilmeye başlanmıştır. 1980'lerde daha kapsamlı patentler geliştirilmiştir. Charles Hull, sıvı polimerlerin ultraviyole ışık altında sertleşmesini sağlayan bir süreç olan stereolitografiyi (STL) icat etmiştir. Charles Hull Ağustos 1984'de yayınlanan bir patente, bu malzemenin katman katman bırakılmasıyla katı nesnelere yapmak için bir yöntem ve bir aparat tanımlamıştır. Yapabildiği ilk nesne 5 cm boyunda bir fincandır ve üretim süreci aylarca sürmüştür. İki yıl sonra imalat makineleri üreten ve satan bir şirket olan 3D System'ı kurmuştur. Bu gelişmeden sonra Lamine Nesne İmalatı (LOM) teknolojisi, 1980'lerin sonlarına doğru geliştirilmiştir. Fakat yıllar geçse de bu uygulama başarılı olamamıştır. Katmanlı üretim için başka bir teknoloji Texas Üniversitesi'nde icat edilmiş ve Seçici Lazer Sinterleme (SLS) olarak adlandırılmıştır. İlgili ABD Patenti C.R. Deckard tarafından 1989'da yayınlanmıştır. 2000'lerin başına kadar 3B yazıcılar endüstride prototipleme için kullanılan pahalı makinelerdir. Yaklaşık 2005 yılında, bireylere düşük maliyetli ve tescilli olmayan yazıcılar sunma hedefiyle girişimler başlamıştır. O yıl Bath Üniversitesi'nde A. Bowyer tarafından kendi parçalarının çoğunu üretebilen bir 3B yazıcı geliştirmek için Rep Rap (Replicating Rapid Prototyping) adında bir proje yürütülmüştür. Rep Rap yazıcısı, FDM'den türetilen FFF kullanarak bir veya daha fazla

ekstrüder monte edilebilen 3 eksenli bir robottan oluşuyordu. 3B yazıcılarda gerçek devrim ise tüketici 3B baskısının etkileyici genişlemesidir (Savini & Savini, 2015).

2000'li yıllardan sonra 3B baskı teknolojileri konusunda hızlı bir gelişme yaşandı. 2000 yılından bu yana 3B baskı tarihindeki önemli başarılar;

- 2002 - baskılı ilk fonksiyonel böbrek,
- 2005 - ilk kendini kopyalayan yazıcı,
- 2008 - ilk 3B baskılı protez bacak,
- 2009 - kan damarları üretmek için hastanın hücrelerini kullanan 3B biyo-baskı (Şekil 1),
- 2011 - ilk 3B baskılı insansız hava aracının uçuşu,
- 2011 - 3B baskılı gövdeye sahip ilk otomobil,
- 2013 - 100 mikrom boyutunda 3B baskılı Terahertz dalga kılavuzu,
- 2014 - sıfır yerçekimi yerleşik 3B yazıcı,
- 2014 - 3B gıda baskısı,
- 2015 - ilk 3B baskılı çimento 3 m yüksekliğe yapıştı.

3B yazıcılar, bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı kullanılarak oluşturulan veya 3B tarama verilerinden geliştirilen herhangi bir üç boyutlu yüzeyin matematiksel temsilleri olan üç boyutlu modellerden parçalar oluşturur. Tasarım daha sonra baskı hazırlama yazılımı tarafından okunabilen bir STL veya OBJ dosyası olarak dışa aktarılır. 3B yazıcılar, yazdırma ayarlarını belirlemek ve dijital modeli parçanın yatay kesitlerini temsil eden katmanlara bölmek için bir yazılım içerir. Yazdırma ayarları arasında yönlendirme, destek yapıları (gerekirse), katman yüksekliği ve malzeme bulunur. Kurulum tamamlandıktan sonra yazılım, talimatları yazıcıya kablolu veya kablosuz bağlantı yoluyla gönderir. 3B baskı için farklı malzemeler ve yöntemler kullanan çok çeşitli tipte yazıcılar vardır (Formlabs, 2021).

Genel olarak 3B baskı olarak bilinen eklemeli üretim (AM), Uluslararası Standard Organizasyonun'da (ISO)/Amerikan Test ve Malzemeler Derneği (ASTM) 52900:2015 standartında “eksiltici üretim ve biçimlendirici üretim metodolojilerinin aksine, genellikle katman katman olmak üzere 3B model verilerinden parçalar yapmak için malzemelerin birleştirilmesi süreci” olarak tanımlanır. Standarda bağlı olarak, AM prosesleri yedi kategoride sınıflandırılabilir (Tablo 1).

Tablo 1. Eklemeli imalat yöntemlerinin ASTM standartına göre sınıflandırılması

AM Prosesleri	Alt Teknolojiler
Bağlayıcı Püskürtme	Voxeljet ExOne Renkli Hızlı Yazdırma (CJP)
Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme	Lazerle Tasarlanmış Net Şekillendirme (LENS)
Malzeme Ekstrüzyonu	Eriyik Yığıma Yöntemi (FDM)
Malzeme Püskürtme	Stratasys' Polyjet 3D Sistem Çoklu Yazdırma SolidSpace
Toz Yatağı Füzyonu	Seçici Laze Sinterleme (SLS) Seçici Lazer Ergitme (SLM) Elektron Işını Ergitme (EBM)
Levha Laminasyonu	Lamine Obje İmalatı (LOM) MCor'un A4 Kağıt Yazdırma Kira'nın Kağıt Lamine Teknolojisi (PLT)
Fotopolimerizasyon	Stereolitografi Aparatı (SLA) Dijital Işık İşleme (DLP)

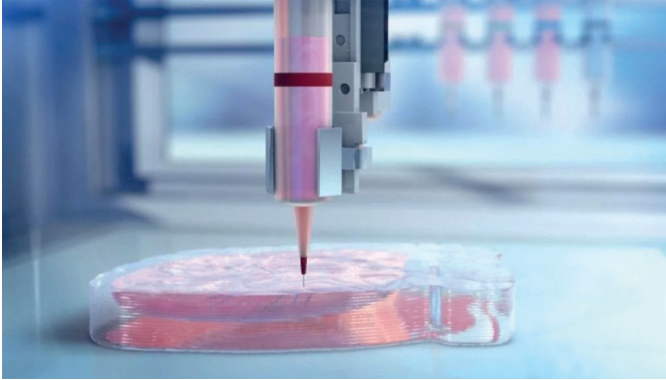
Kaynak: Lee, An & Chua, 2017.

Bu yedi sınıflandırma haricinde bu yöntemleri kullanan çeşitli 3B yazıcılar vardır. Bu yazıcılar parçaları katman katman oluşturan çeşitli üretim teknolojilerini kapsar. Her biri plastik ve metal parçaları oluşturma biçimi, malzeme seçimi, yüzey kalitesi, dayanıklılık, üretim hızı ve maliyet açısından farklılık gösterebilir (Tablo 2).

Tablo 2. 3B yazıcı çeşitlerinin genel özellikleri

Yöntemler	Hal	Katman yazdırma	Ana özellikler	Malzemeler
FDM	Katı	Katı malzemenin biriktirilmesi	Düşük maliyet, temiz yüzey	Termoplastikler (PLA, ABS, PU), kompozitler
SLS	Toz	Toz katmanı	Yumuşak parçacıklar, sinterleme	Metaller ve alaşımları, seramikler, polimerler (PP), kompozitler
SLM	Toz	Metal toz katmanı	Tamamen erime	Metaller ve alaşımları, seramikler, kompozitler
SLA	Sıvı	Sıvı katmanın kirlenmesi	Ultraviyole kirlenme, yüksek çözünürlük	Polimerler, seramikler, kompozitler
DLP	Sıvı	Sıvı katmanın kirlenmesi	Destek yapısı yok, yüksek hız	Elastomerler, meta malzemeler
DIW	Sıvı	Akışkan katmanın kirlenmesi	Kendinden destekli, tiksotropik mürekkep	Polimerler, seramikler, balmumları, polielektrolitler, kompozitler
Inkjet	Sıvı	Sıvı katmanın katılaştırılması	Çoklu yazdırma yetenekleri, karmaşık yapılar, yüksek çözünürlük	Werowhite, max, visijet M3, kristal, MED620, MED625FLX

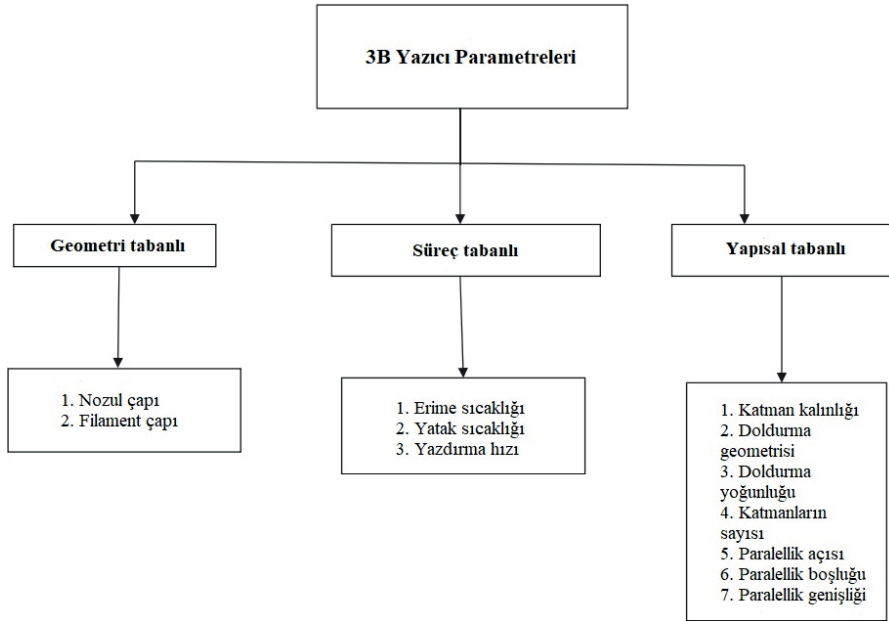
Kaynak: *Quanjin vd., 2020.*



Şekil 1. 3B biyo-baskı Kaynak: *Mashambanbaka, 2018.*

Uygulama için doğru 3B baskı sürecini seçmek her teknolojinin avantajlarını ve sınırlamalarını uygulamanın en önemli gereksinimleriyle uyumlu hale getirmekten geçer. Doğru süreci seçmek, fikirlerin etrafa

saçıldığı ve ihtiyacınız olan tek şeyin bir iş arkadaşınızla paylaşmak için bir model olduğu ilk aşamalarda sizin açınızdan yüzey kaplamaları pek önemli değildir. Ancak kullanıcı testi yapmanız gereken noktaya geldiğinizde, kozmetik ve dayanıklılık gibi faktörler önem kazanmaya başlar. Herkese uyan tek bir çözüm olmamasına rağmen, ürün geliştirme boyunca 3B baskı teknolojisinin uygun şekilde kullanılması tasarım riskini azaltacak ve sonuç olarak daha iyi ürünlerle sonuçlanacaktır (Ahart, 2019). Üretim için seçilen 3B yazıcının çeşitli yazdırma parametrelerinin yapılan işe uygun olarak ayarlanması da elde edilen ürünlerin yüzey kalitesi ve dayanımı üzerinde büyük öneme sahiptir (Şekil 2).



Şekil 2. 3B yazıcı parametrelerinin sınıflandırılması Kaynak: Prabhakar vd., 2020.

3B baskı teknolojisi yenilikçi ve çok yönlü bir teknoloji aşaması olarak ortaya çıkmıştır. Yeni fırsatlar açmıştır ve üretim verimliliğini artırmak isteyen şirketler için umut vermektedir. 3B baskı teknolojileri 1980'lerden beri var olsada, makine, malzeme ve yazılımdaki son gelişmeler, 3B baskıyı daha geniş bir işletme yelpazesi için erişilebilir hale getirerek, önceden birkaç yüksek teknoloji endüstrisi ile sınırlı olan araçları daha fazla şirketin kullanmasını sağlamıştır. Günümüzde profesyonel, düşük maliyetli masaüstü ve tezgahüstü 3B yazıcılar inovasyonu hızlandırmakta ve mühendislik, imalat, diş hekimliği, sağlık, eğitim, eğlence, mücevher ve odyoloji gibi

çeşitli sektörlerdeki işletmeleri desteklemektedir. Geleneksel termoplastikler, seramikler, grafen bazlı malzemeler ve metal artık 3B baskı teknolojisi kullanılarak basılabilen malzemelerdir (Low vd., 2017).

Günümüzde bir masaüstü 3D yazıcının maliyeti hemen hemen herkes tarafından karşılanabilir seviyededir. Bu nedenle, muhtemelen fabrikasyon süreçlerinde bir devrimin başlangıcındayız (Savini & Savini, 2015).

2. 3B Yazıcılarda Kullanılan Baskı Teknolojileri

2.1. Seçici Lazer Sinterleme (SLS)

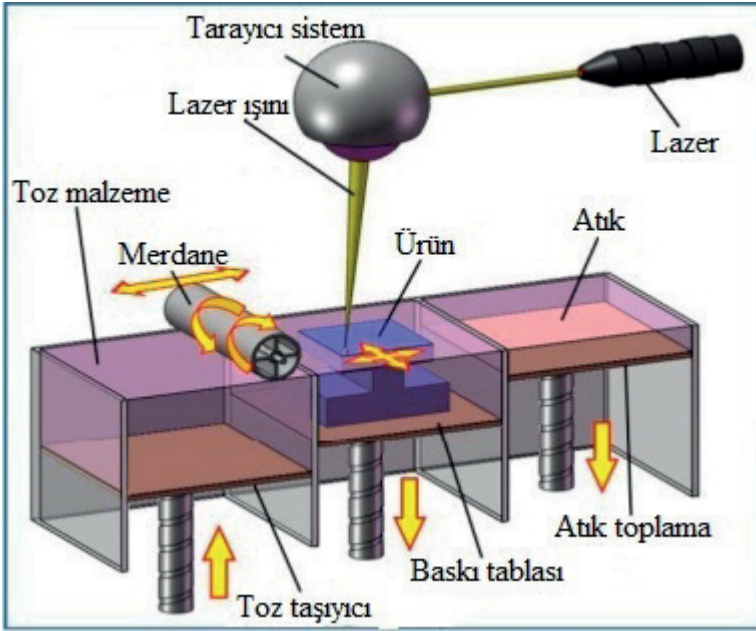
Seçici lazer sinterleme yöntemi literatürde Selective Laser Sintering (SLS) olarak isimlendirilmektedir. Powder Bed Fusion teknolojisi ve polimer tozu ile bir nesne oluşturmak, genellikle Seçici Lazer Sinterleme (SLS) olarak bilinir (All3dp, 2021). Seçici lazer sinterleme (SLS) tekniği, Teksas Üniversitesi öğretim üyesi Dr. Carl Deckard ve meslektaşları tarafından 1988 yılında icat edilmiştir ve 1989 yılında patentlenmiştir (Deckard, Beaman & Darrah, 1992).

SLS ve SLA arasındaki en dikkate değer fark, SLS'nin yaptığı gibi bir tankta sıvı reçine yerine tankta toz halinde malzeme kullanmasıdır. Diğer 3B yöntemlerin geri kalanı gibi, yöntem de bilgisayar destekli tasarımın (CAD) oluşturulmasıyla başlar ve daha sonra oluşturulan geometrinin özel uygulamalarla .stl formatına dönüştürülmesi gerekir (Snikhovska, 2020).

İlk olarak bir kutu polimer tozu polimerin erime noktasının hemen altındaki bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Daha sonra, bir yeniden kaplama bıçağı veya silici, bir baskı tablasına çok ince bir toz halinde polimer tabakası (tipik olarak 0,1 mm kalınlığında) bırakır. Bir lazer ışını daha sonra yüzeyi taramaya başlar (Şekil 3). Seçici lazer sinterleme (SLS) 3B yazıcılar küçük polimer toz parçacıklarını katı bir yapıya sinterlemek için yüksek güçlü bir CO₂ lazer kullanır. Lazer tozu seçici olarak sinterleyecek ve nesnenin bir enine kesitini katılaştıracaktır. SLA teknolojisine benzer şekilde lazer bir çift galvo ile doğru konuma odaklanır. Tüm enine kesit tarandığında baskı tablası bir katman kalınlığı yükseklikte aşağı hareket edecektir. Yeniden kaplama bıçağı, yakın zamanda taranan tabakanın üzerine yeni bir toz tabakası bırakır ve lazer nesnenin bir sonraki kesitini önceden katılmış enine kesitler üzerine sinterler (All3dp, 2021; Formlabs, 2021).

Bu adımlar tüm nesne tamamen basılana kadar tekrarlanır. Sinterlenmemiş toz olduğu yerde kaldığı için basılan nesneyi destekler bu yüzden destek yapılarına olan ihtiyacı ortadan kaldırır. Bu SLS'yi iç özellikler, alttan

kesmeler, ince duvarlar ve negatif özellikler içeren karmaşık geometriler için ideal hale getirir (All3dp, 2021; Formlabs, 2021).



Şekil 3. SLS yazdırma teknolojisi çalışma prensibi Kaynak: Xu vd., 2017.

SLS teknolojisi ile çok çeşitli malzemeler kullanılarak dayanıklı ve yüksek hassasiyetli parçalar üretebilir. Tam işlevli, son kullanım parçaları ve prototipler için mükemmel bir teknolojidir. SLS baskı ile üretilen parçalar enjeksiyonla kalıplanmış parçalara benzeyen mukavemet ile mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. Parça başına düşük maliyet, yüksek üretkenlik ve yerleşmiş malzemelerin birleşimi, SLS'yi fonksiyonel prototipleme için mühendisler arasında popüler bir seçim haline getirir (All3dp, 2021; Formlabs, 2021; 3dinsider, 2020).

Seçici lazer sintereleme için en yaygın malzeme mükemmel mekanik özelliklere sahip popüler mühendislik termoplastiği olan naylondur. Naylon hafif, güçlü esnek olmasının yanı sıra darbeye, kimyasallara, ısıya, UV ışığına, suya ve kire karşı da dayanıklıdır (Formlabs, 2021).

Baskı için kullanılan diğer toz malzemeler cam, seramik, alüminyum, gümüş veya çelik gibi bazı metallere kadar değişebilir. SLS yazıcılarda kullanılacak geniş malzeme seçimi nedeniyle bu tür 3B baskı özelleştirilmiş ürünler için oldukça popülerdir. Bu teknoloji yüksek güçlü

lazerlerin kullanılmasını gerektirir ve buda yazıcıların oldukça pahalı olmasına neden olur bundan dolayı SLS tekniğinin evde 3B yazıcı kullanan amatör kullanıcılar yerine ticari üreticiler arasında daha fazla yaygınlaşmasına neden olmuştur (Snikhovska, 2020).

SLS teknolojisinin boyutsal doğruluğu ± 0.3 (alt sınır ± 0.3 mm) dir; fonksiyonel parçalar, karmaşık kanal sistemi (içi boş tasarımlar), düşük sayıda parça üretimi gibi uygulamalarda kullanılır; fonksiyonel parçalar, mükemmel mekanik özellikler, karmaşık geometriler güçlü yanları; daha uzun teslim süreleri, fonksiyonel uygulamalar için FDM'den daha yüksek maliyetli olması ise bu teknolojinin zayıf yanlarıdır (All3dp, 2021).

SLS teknolojisi özellikle FDM teknolojisi ile karşılaştırıldığında daha uzun yazdırma süreleri gerektirir ve çok daha yüksek maliyetlidir. Endüstriyel patentlerin süresi doldukça SLS 3B baskı teknolojisi giderek daha yaygın hale gelecek ve maliyeti düşecektir.

2.2. Stereolitografi (SLA)

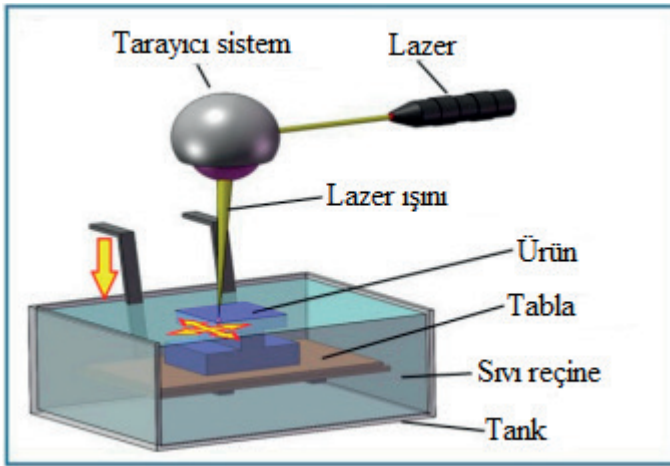
Stereolitografi yöntemi literatür de Stereolithography (SLA) olarak isimlendirilmektedir. SLA, dünyanın ilk 3B baskı teknolojisi olma tarihi ayrıcalığına sahiptir ve hala profesyoneller için en popüler teknolojilerden biridir. Stereolitografi, 1986 yılında teknoloji üzerine bir patent başvurusunda bulunan ve onu ticarileştirmek için 3D Systems şirketini kuran Chuck Hull tarafından icat edilmiştir. Bu, fotopolimer reçine adı verilen bir malzemenin bir ışık kaynağı tarafından özel olarak restore edildiği Vat Polimerizasyonu adı verilen bir 3B baskı tekniğidir. SLA ilk modern 3B baskı yöntemidir. SLA yazıcılar sıvı reçineyi fotopolimerizasyon adı verilen kürlenme işlemi ile sertleştirilmiş plastiğe dönüştürmek için bir lazer kullanır (All3dp, 2021; Formlabs, 2021; Kothari, 2021).

SLA yazıcılar galvanometreler veya galvolar olarak bilinen, biri X ekseninde, diğeri Y ekseninde konumlandırılmış aynalar kullanır. Bu galvolar, lazer ışınını bir reçine kabı boyunca hızla hedefleyerek, nesnenin bu inşa alanı içindeki bir kesitini seçici olarak kürler ve katılaştırır, nesneyi bu şekilde katman katman oluşturur. Çoğu SLA yazıcısı parçaları kürlenmek için katı hal lazeri kullanır (All3dp, 2021).

SLA hızlı bir prototipleme sürecidir. Baskıda net doğruluk ve kesinlik isteyen kullanıcılar bu teknolojiyi kullanırlar. Sadece birkaç saat içinde 3B CAD verisi (bilgisayar tarafından oluşturulan) dosyalarından nesnelere üretebilir. Bu teknoloji ince detayları ve kesinliği ile popüler olan bir 3B baskı işlemidir. Bu teknolojiyi kullanan yazıcılar benzersiz modeller, desenler, prototipler ve çeşitli endüstriyel parçalar üretir. Bunu sıvı fotopolimerleri

(özel bir plastik türü) her seferinde bir katman olmak üzere katı 3B nesnelere dönüştürerek yaparlar (3dinsider, 2020).

Plastik önce ısıtılarak yarı sıvı hale getirilir. Yazıcı X ve Y filtreleme aynaları tarafından koordine edilen parlak bir lazer kullanarak bu katmanların her birini katılaştırır. Fotopolimer lazer ışınının sıvının yüzeyine çarptığı her yerde hızla katılaştır. Platform, katman kalınlığına (~0.003-0.002 inç) eşit değerde alçaltılır ve daha önce tamamlanmış katmanların üzerinde bir sonraki katman oluşturulur veya her baskı döngüsünden hemen önce ince reçine tabakasının nesne üzerinde eşit bir şekilde yayılmasını sağlamak için bir yeniden kaplama bıçağı yüzey boyunca hareket eder. Baskı döngüsü aşağıdan yukarıya doğru 3B nesnelere oluşturacak şekilde devam eder (Şekil 4). Malzemenin kendinden yapışkan özelliği sonraki her katmanın bir öncekine bağlanmasını ve böylece birçok katmandan eksiksiz üç boyutlu bir nesne oluşturulmasını sağlar. Çıktılar veya altı boş olan nesnelere imalat işlemi sırasında destek yapıları ile desteklenmelidir. Bu destekler hızlı prototipleme için özel olarak geliştirilmiş bir bilgisayar programı ile manuel veya otomatik olarak tasarlanır. Baskı işlemi tamamlandığında parça reçine kabının üzerine yükseltilir ve çıkartılır (Kothari, 2021; Ramya & Vanapalli, 2016).



Şekil 4. SLA yazdırma teknolojisi çalışma prensibi Kaynak: Xu vd., 2017.

Yazdırma işlemi tamamlandığında 3B nesne yazıcıdan alınır ve platformdan dikkatlice ayrılır. Parça üzerindeki fazla polimer silinir veya yüzeylerden durulanır. Baskıdan sonra nesneyi ultraviyole fırında kürlenmek de yaygın bir uygulamadır. Böylece yazdırılan öge daha dayanımlı ve kararlı hale gelir. Daha sonra parçaya bağlı olarak yüzeyler elle zımparalama

işlemeden geçirilebilir ve bazı profesyonel boyamalar yapılabilir (3dinsider, 2020).

SLA reçine 3B yazıcılar, yüksek hassasiyetli, izotropik ve su geçirmez prototipler ve çeşitli gelişmiş malzemelerle detaylı özelliklere ve pürüzsüz yüzey kaplamasına sahip parçalar üretme yetenekleri nedeniyle oldukça popüler hale gelmiştir. SLA reçine formülasyonları, standart, mühendislik ve endüstriyel termoplastiklerin özelliklerine uygun çok çeşitli optik, mekanik ve termal özellikler sunar (Formlabs, 2021). Stereolitografi 3D yazıcılar tarafından basılan parçalar genellikle pürüzsüz yüzeylere sahiptir, ancak kalitesi kullanılan SLA yazıcının kalitesine bağlıdır (Snikhovska, 2020).

SLA 3D yazıcılar mühendislikte imalat için ürün tasarımında, otomobil, klinik, havacılık, dişçilik, kuyumculuk, model yapımı ve eğitime kadar çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Formlabs, 2021; Kothari, 2021; 3dinsider, 2020).

SLA 3B baskı teknolojisinin dezavantajı tek nokta lazer kullanmasından dolayı bir nesnenin kesitini izlemenin DLP'ye kıyasla daha uzun sürmesidir (All3dp, 2021).

2.3. Dijital Işıklı İşleme (DLP)

Dijital ışıkla işleme yöntemi literatürde Digital Light Processing (DLP) olarak isimlendirilmektedir. DLP, SLA'ya çok benzeyen başka bir 3B baskı işlemidir. DLP teknolojisi 1987 yılında Texas Instruments'tan Larry Hornbeck tarafından yapılmış ve projektörlerin üretimde kullanılmasıyla tanınmıştır (Snikhovska, 2020).

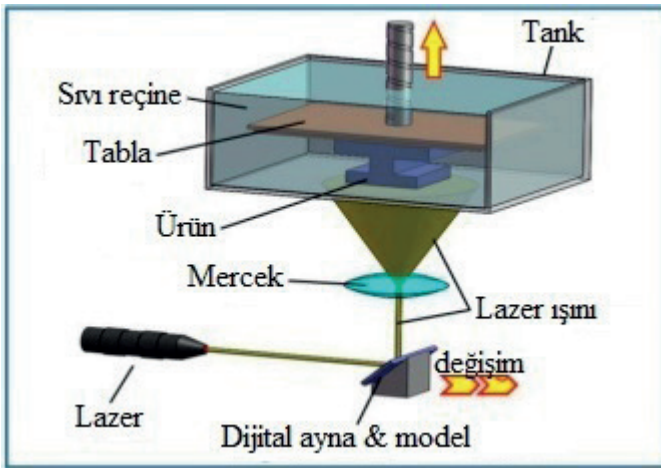
Dijital ışık işleme yazıcılarına bakıldığında 3B baskı teknolojisi SLA ile hemen hemen aynıdır. Yazıcı tarafından kullanılan sıvı plastik reçine yarı saydam bir reçine deposunda bulunur. Bununla birlikte DLP ve SLA arasındaki en büyük fark kullanılan ışık kaynağıdır. SLA ultraviyole ışık kullanırken, DLP genellikle daha geleneksel bir ışık kaynağı olan ark lambalarını kullanır. En önemli fark, DLP'nin her katmanın tek bir görüntüsünü bir kerede (veya daha büyük parçalar için birden çok) oluşturmak için bir dijital ışık projektörü kullanmasıdır. Bu süreç oldukça yüksek baskı hızlarına izin verir. Bol ışık olduğunda reçine çabuk (saniyeler içinde) sertleşir (All3dp, 2021; 3dinsider, 2020).

3B baskı için hem DLP hem de SLA fotopolimerlerle çalışır. Ancak, SLA ve DLP teknolojisi arasındaki fark DLA'nın ek bir aydınlatma kaynağı gerektirmesidir. Işık yayan diyot (LED) ekranlar veya bir UV ışık kaynağı (lamba) kullanılarak reçine üzerine yönlendirilen bir ışık Dijital Mikroayna

Cihazı (DMD) tarafından yapı yüzeyine yansıtılır (Şekil 5). DLP baskı için sıklıkla ark lambaları gibi daha geleneksel ışık kaynaklarını kullanır. DMD ışığın nereye yansıtıldığını kontrol eden ve yapı yüzeyinde ışık desenini oluşturan bir dizi mikro ayna içeren parçadır. Sistem yarı iletken bir çip üzerine yerleştirilmiş dijital mikro aynaları kullanır. DLP yazıcının diğer bir önemli parçası ise ışığı her baskı katmanının tüm yüzeyine birkere de uygulayan LCD (sıvı kristal ekran) panelidir. Her katmanın görüntüsü kare piksellerden oluşur ve bu da voksel adı verilen küçük dikdörtgen bloklardan oluşan bir katmanla sonuçlanır (All3dp, 2021; Snikhovska, 2020).

DLP baskıda SLA'ya kıyasla daha düşük sürelerde baskı elde edebilir. Bunun nedeni, DLP baskı teknolojisinin kesit alanını lazer noktasıyla izlemek yerine, tüm katmanı bir kerede oluşturmasıdır.

DLP için baskı hızı en önemli şeydir. Bu tür bir yazıcı ile birkaç saniye içinde sertleştirilmiş bir malzeme tabakası üretilir. Katmanın biri tamamlandıktan sonra tabla hareket ettirilir ve bir sonraki katmanın yazdırılmasına başlanır (Snikhovska, 2020). Bu baskı teknolojisinin bir diğer artı noktası ise dayanıklı olması ve her seferinde yüksek çözünürlüklü modeller üretmesidir. Ayrıca karmaşık ve ayrıntılı nesnelere için bile daha ucuz malzemeler kullanılabilmesiyle ekonomiktir. Böylece yalnızca israf azaltılmakla kalmaz, aynı zamanda baskı maliyetleri de düşer (3dinsider, 2020).



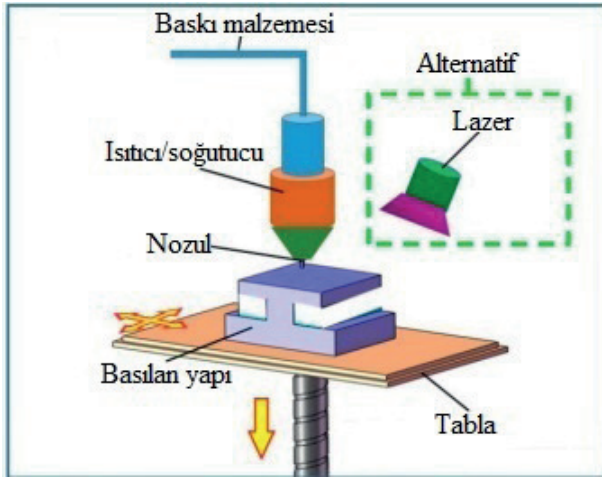
Şekil 5. DLP yazdırma teknolojisi çalışma prensibi Kaynak: Xu vd., 2017.

DLP baskıda kullanılan malzemeler genellikle fotopolimer reçine (Standart, Dökülebilir, Şeffaf, Yüksek Sıcaklık) türü; boyutsal doğruluğu $\pm 0.5\%$ (alt limit ± 0.15 mm)dir; genel uygulamaları enjeksiyon kalıbı

benzeri polimer prototipleri, mücevherat, diş uygulamaları, işitme cihazlarıdır; güçlü yönleri pürüzsüz yüzey kalitesi, ince ayrıntılar ve zayıf yönleri ise basılan parçaların gevrek olması ve mekanik parçaların basımı için uygun olmamasıdır (All3dp, 2021).

2.4. Doğrudan Mürekkep Yazdırma (DIW)

Doğrudan mürekkep yazdırma yöntemi literatürde Direct Ink Writing (DIW) olarak isimlendirilmektedir. Doğrudan mürekkeple yazan yazıcılar malzemeleri doğrudan tablaya ekstrüde eden nozul kullanır (Şekil 6). Bu teknoloji nozuldaki çıktıktan sonra şekillerini korumalarını sağlayan oldukça viskoz sıvı baskı malzemelerinin kontrollü bir şekilde biriktirilmesine izin verir. Doğrudan mürekkeple yazma teknolojisi yazdırılabilen malzemeler açısından son derece çok yönlüdür çünkü seramikler, plastikler, gıdalar, hidrojel ve hatta canlı hücreler gibi çok çeşitli baskı malzemeleri kullanılabilir. Nozul çapı, baskı malzemesinin yoğunluğu ve viskozitesi, tarama hızı, nozuldaki malzeme çıkış hızı ve diğer parametreler optimum bir basılmış yapı (ürün) elde etmek için ayarlanabilir. Baskı sonrası üretilen ürünün mekanik özelliklerini geliştirmek için sinterleme, ısıtma, UV kürleme ve kurutma adımları gibi bir üretim sonrası prosese ihtiyaç duyulabilir (Xu vd., 2017).

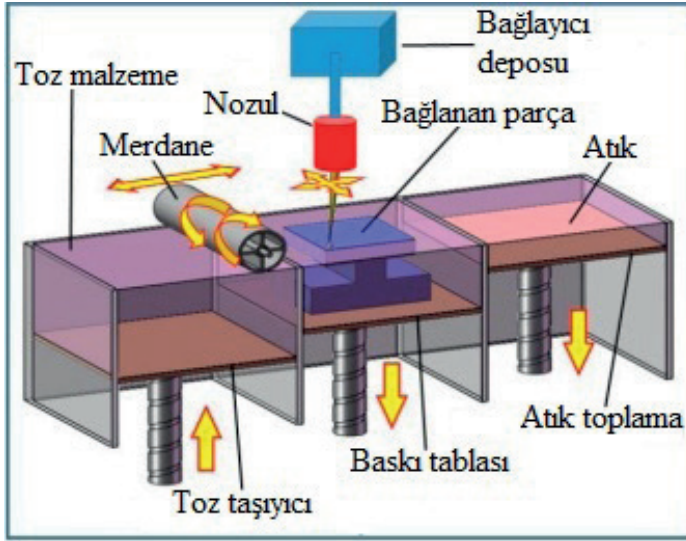


Şekil 6. DIW yazdırma teknolojisi çalışma prensibi Kaynak: Xu vd., 2017.

2.5. Bağlayıcı Püskürtme (3DP)

Bağlayıcı püskürtme yöntemi literatürde Binder Jetting (3DP) olarak isimlendirilmektedir. 3DP yazdırma tekniğinde özel yapıştırıcılar bir mürekkep püskürtme nozulundan püskürtülür ve ince toz katmanları

üzerine biriktirilir. Aslen sıvı bağlama maddesinin (yapıştırıcı) toz yatağının bölgelerini seçici olarak bağladığı bir 3B baskı işlemidir (Şekil 7) (Xu vd., 2017).



Şekil 7. 3DP yazdırma teknolojisi çalışma prensibi Kaynak: Xu vd., 2017.

3DP yapı platformunda bir ilk toz katmanı gereksinimi ile SLS yöntemine benzer bir 3B baskı teknolojisidir. Bağlayıcı püskürtme yönteminde bir baskı kafası yaklaşık olarak 80 mikron çapında olan yapıştırıcı damlacıklarını toz malzeme yüzeyi üzerinde hareket ettirir. Bu damlacıklar, toz partiküllerini birbirine bağlayarak parçanın her bir katmanını oluşturur. Bir katman yazdırdıktan sonra toz yatağı alçalır ve yeni basılan katmanın üzerine yeni bir toz katmanı yayılır. Bu işlem ürün tamamen oluşana kadar tekrarlanır. Elde edilen ürün sertleşmesi ve dayanımının artması için belirli süre toz içinde bırakılır. Daha sonra ürün toz yatağından çıkarılır ve üzerindeki yapışmamış tozlar basınçlı hava yardımı ile temizlenir (All3dp, 2021).

Bu yöntemde tozlar kendilerini destekleyebildiği için herhangi bir destek yapısına ihtiyaç duyulmaz. 3DP yazıcılar seramik, alçı, kum, metal tozları ve şeker gibi çok çeşitli toz malzemelerle çalışabilir. Üretilen ürünün ölçüsel doğruluğu metal tozlarında ± 0.2 mm ve kumda ise ± 0.3 mm'dir. Ucuz maliyetlidir, büyük hacimler ve işlevsel metal parçalar yazdırılabilir. Bu teknoloji birden fazla malzemeyi yazdırabilir ancak üretilen parçanın dayanımı ve yüzey pürüzlülüğü iyi değildir (All3dp, 2021, Xu vd., 2017).

2.6. Eriyik Yığıma Yöntemi (FDM/FFF)

Eriyik yığıma yöntemi literatürde Fused Deposition Modeling (FDM) ve Fused Filament Fabrication (FFF) olarak isimlendirilmektedir. FDM, 1988 yılında Stratasys'den S. Scott Crump'ın çalışmasıyla ortaya çıkmıştır. İlginç bir şekilde tüm bu teknolojiler arasında FDM'nin eklemeli imalat araştırma ortamındaki konumu benzersizdir.

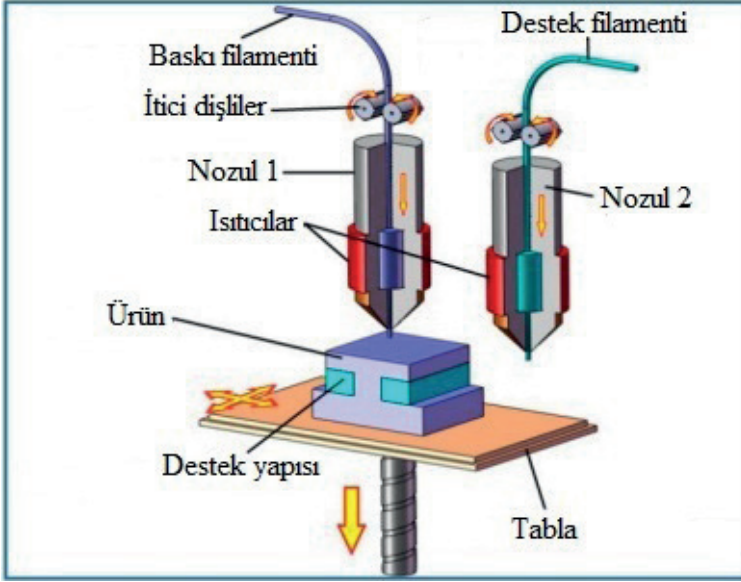
Malzeme ekstrüzyon cihazları dünyadaki en yaygın ve en ucuz 3B baskı teknolojisi türleridir. Bunlara Fused Deposition Modeling veya FDM olarak aşına olabilirsiniz. Bazen Fused Filament Fabrication veya FFF olarak da adlandırılırlar (All3dp, 2021).

Bu yazdırma teknolojisi kısmen; (i) FDM baskı platformunun basitliği, (ii) düşük maliyetli ve az bakım gerektiren FDM yazıcıların mevcudiyeti – bazıları 400 dolardan daha düşük bir fiyatta mevcuttur, (iii) çok çeşitli FDM yazdırılabilir malzemelerin yaygınlaşmasından dolayı son zamanlarda büyük bir ilgi görmüştür. Örneğin şu anda piyasada bulunan FDM malzemelerinin bazıları acrylonitrile butadiene styrene (ABS), polipropilen, poliüretan bazlı polimer, polikarbonat, polilaktik asit ve polilaktik asit kompozitlerini içerir. Yine de ticari olarak temin edilebilen FDM malzemeleri genellikle fonksiyonellik açısından sınırlıdır. Sonuç olarak, çeşitli laboratuvarlarda hazırlanan malzemelerin üst düzey akıllı bileşenlerin üretimi için kullanımında dikkat çekecek kadar artış olmuştur (Kumar vd., 2020).

FDM yazdırma işlemi başlamadan önce, kullanıcının özel bir yazılım kullanarak 3B CAD verilerini (3B model) birden çok katmana ayırması gerekir. 3B yazıcıya bağlı bilgisayarda çalışan dilimleme yazılımı, bir nesnenin ölçülerini X, Y, Z koordinatlarına çevirir (STL dosya uzantısı), baskı sırasında nozulun ve tablanın hesaplanan rotayı takip etmesini kontrol eder. Dilimlenmiş CAD verileri daha sonra yapı platformunda bir seferde nesne katmanını oluşturan yazıcıya gider (3dinsider, 2020).

Çalışma şekli 3B yazıcıya bir filament makarasının yüklenmesi ve filamentin ekstrüzyon kafasındaki bir yazıcı nozuluna beslenmesidir. Yazıcı nozulu istenen sıcaklığa kadar ısıtır, bunun üzerine bir motor filamenti ısıtılmış nozula iterek erimesine neden olur. Nozul parça kenarlarını izleyen XY çizici tipi bir mekanizmaya monte edilmiştir ve bazı yazıcılarda destek malzemesi için (model malzemesinden farklı) ikinci bir ekstrüzyon nozulu vardır. Nozul gerekli geometride tabla üzerinde hareket ettirildiğinde her katmanı oluşturmak için ince bir ekstrüde plastik biriktirir. Plastik nozuldan çıktıktan hemen sonra sertleşir ve alttaki katmana yapışır. Nesne parça oluşturulurken dikey olarak aşağı katman katman hareket eden mekanik

bir tabla üzerine inşa edilir. Bir katman tamamlandığında, yazıcı başka bir katmanı yazdırmaya devam eder. Bu enine kesitleri yazdırma işlemi 3B nesne tamamen oluşana kadar katman katman oluşturularak tekrarlanır (Şekil 8). Nesnenin geometrisine bağlı olarak bazen destek yapıları eklemek gerekir. Destek yapıları, sarkan geometriler için otomatik olarak oluşturulur ve daha sonra bunlar nesneden ayrılarak kaldırılır. ABS parçaları için suda çözünür bir destek malzemesi de mevcuttur (All3dp, 2021; Patel & Kadia, 2014).



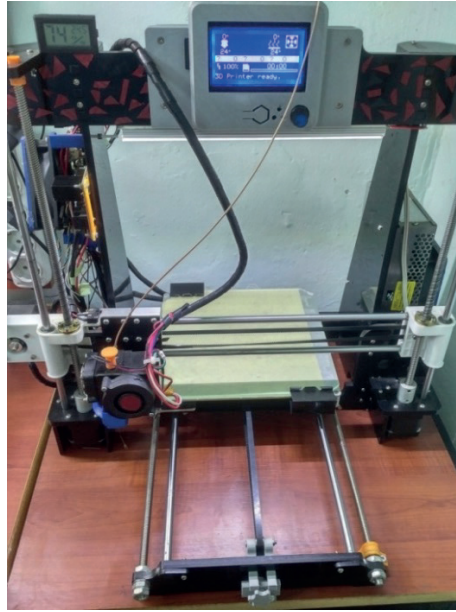
Şekil 8. FDM yazdırma teknolojisi çalışma prensibi Kaynak: Xu vd., 2017.

Diğer birçok 3B teknoloji gibi bitmiş ürünün temizlenmesi gerekir. Ham FDM parçaları bazı ürünlerde oldukça görünür katman çizgileri gösterebilir. Bunların düzeltilmesi baskıdan sonra elle zımparalamayla ve bitirmeyle olabilir. Düz bir yüzeye sahip pürüzsüz bir son ürün elde etmenin tek yolu budur (3dinsider, 2020).

FDM 3B yazıcılar modellerin temel hallerinin yanı sıra tipik olarak işlenebilecek parçalar gibi basit parçaların hızlı ve düşük maliyetli prototiplenmesi için çok uygundur. Ancak FDM, SLA veya SLS ile karşılaştırıldığında en düşük çözünürlüğe ve doğruluğa sahiptir, karmaşık tasarımları veya karmaşık özelliklere sahip parçaları yazdırmak için en iyi seçenek değildir. Kimyasal ve mekanik cilalama işlemleri ile daha kaliteli yüzeyler elde edilebilir (Formlabs, 2021).

FDM teknolojisi şu anda en popüler 3B baskı teknolojisidir. FDM tüketici düzeyinde en yaygın kullanılan 3B baskı teknolojisidir. FDM'nin yardımıyla sadece operasyonel prototipleri değil, aynı zamanda lego, plastik dişliler ve çok daha fazlası gibi kullanıma hazır ürünleri de yazdırabilirsiniz. Bu teknolojiyle ilgili harika olan şey FDM ile basılan tüm bileşenlerin yüksek performans ve mühendislik dereceli termoplastik olabilmesidir bu da makine mühendisleri ve üreticiler için oldukça faydalıdır.

FDM son kullanıcı ürünlerinin üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 9). Bazı termoplastikler (toksik olmayan PLA gibi) gıda ve ilaç ambalajlarında bile kullanılabilir buda FDM'yi tıp sektöründe favori bir 3B baskı yöntemi haline getirir (Snikhovska, 2020). FDM ile üretilmiş ürünler hem işlevsel hem de dayanıklıdır. Bu nedenle BMW, tanınmış gıda şirketi Nestle ve adı anılmayan birçok şirket FDM 3B baskı teknolojisini kullanmaktadır (3dinsider, 2020).

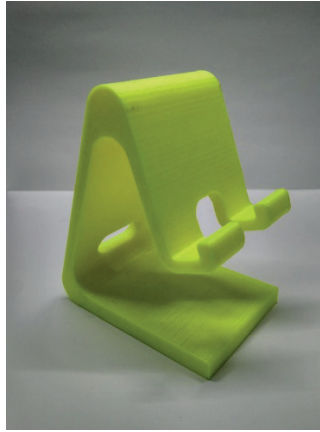


Şekil 9. FDM teknoloji ile ev tipi bir 3B yazıcı

FDM baskı teknolojisinde;

- Baskı süresi, modelinizin boyutuna ve karmaşıklığına bağlıdır,
- Küçük nesnelere nispeten hızlı bir şekilde tamamlanabilirken, daha büyük, daha karmaşık parçalar daha fazla zamana ihtiyaç duyar,

- SLA ile karşılaştırıldığında FDM teknolojisi daha yavaş baskı hızına sahiptir,
- Nesnelere basıldıktan sonra boyanabilir, kaplanabilir ve hatta dövülebilir,
- FDM teknolojisi günümüzde yaygın olarak kullanılmakta ve otomobil üreticileri, gıda üreticileri ve oyuncak üreticileri gibi sektörlerde kullanılmaktadır,
- FDM, yeni ürün geliştirme, prototip oluşturma ve hatta son ürün imalatında kullanılır (Şekil 10). Bu teknoloji, kullanımı kolay ve çevre dostu olarak kabul edilir. Bu 3B baskı yönteminin kullanılmasıyla karmaşık geometrilere ve boşluklara sahip nesnelere oluşturmak mümkün hale gelmiştir,
- Bu teknoloji ile basılan parçalar, mükemmel mekanik mukavemete ve ısı direncine sahip olup, basılı modelleri işlevsel prototipler olarak kullanmanıza olanak tanır,
- İşlevsel prototipler, konsept modeller ve üretim yardımcılarını üretmek için popülerdir. Doğru ayrıntılar oluşturabilen ve olağanüstü bir güç-ağırlık oranına sahip bir teknolojidir,
- Endüstriyel FDM 3B yazıcılar baskı için daha geniş bir mühendislik termoplastik çeşidi sunarlar ancak aynı zamanda yüksek bir fiyata sahiptirler.

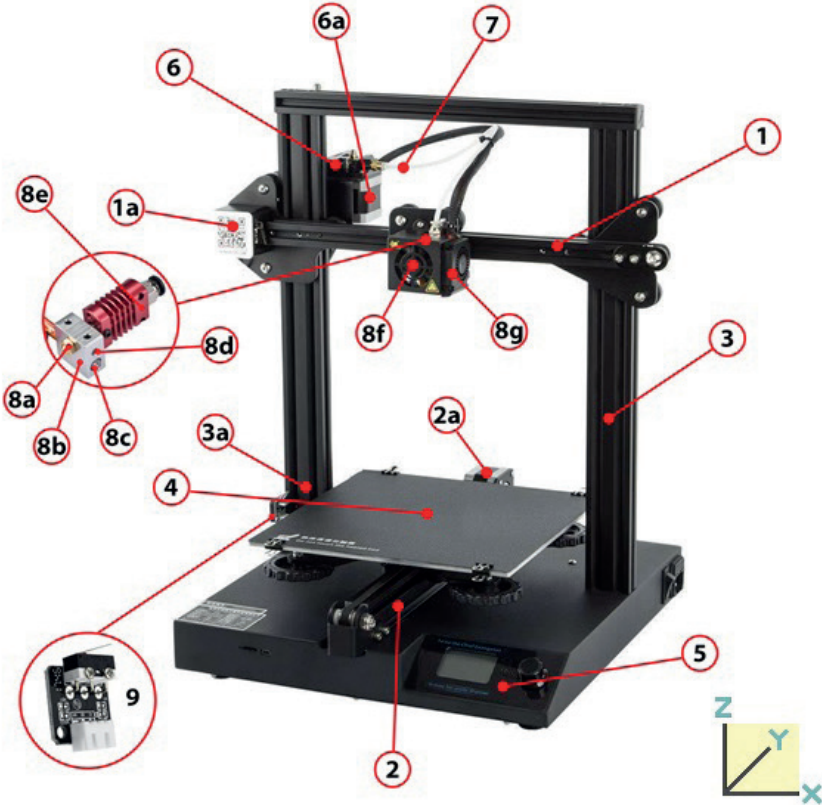


Şekil 10. FDM teknolojisi kullanan ev tipi (amatör) 3B yazıcı ile üretilmiş cep telefonu standı

FDM baskı teknolojisinde baskı malzemesi olarak termoplastik filamentler (PLA, ABS, PET, PETG, TPU, HIPS, Nylon, PCABS, ULTRAT, Karbon Fiber) kullanılır (All3dp, 2021). Bununla birlikte bir polimerin FDM yazıcı ile kullanıma uygun olması için erime sıcaklığının oldukça düşük olması ve hızlı soğutma yoluyla faz dönüşümü yapabilmesi gerekir (Spinelli vd., 2018). FDM teknolojisinin boyutsal doğruluğu $\pm 0.5\%$ (alt limit ± 0.5 mm) dir; güçlü yönleri iyi yüzey kalitesi, tam renkli ve çoklu malzeme kullanımının mümkün olması; zayıf yönleri ise üretilen parçaların kırılkan, mekanik parçalar için sürdürülebilir olmaması ve görsel amaçlar için SLA/DLP'den daha yüksek maliyetli olmasıdır (All3dp, 2021).

3. 3B Yazıcı Genel Parçaları

3B yazıcılar çok farklı parçalara sahip olmalarına rağmen tüm yazıcılarda genel olarak bulunan bazı parçalar vardır. Bu parçalar Şekil 11'de gösterilerek açıklanmıştır.



Şekil 11. Üç boyutlu yazıcının genel parçaları Kaynak: 3dprinteruniverse, 2021.

1. **X eksen:** Baskı kafasının sola ve sağa doğru hareketleri X eksenı boyunca olur. Baskı kafası genellikle X eksenı boyunca hareket eder.
 - a. **X eksenı motoru:** Baskı kafasının X ekseninde hareket etmesini sağlar ve kontrol kartı tarafından yönetilir.
2. **Y eksenı:** Öne ve arkaya doğru hareketler Y eksenı boyunca olur. Baskı yatağı genellikle Y eksenı boyunca hareket eder.
 - a. **Y eksenı motoru:** Baskı yatağının Y ekseninde hareket etmesini sağlar ve kontrol kartı tarafından yönetilir.
3. **Z eksenı:** Yukarı ve aşağı hareketler Z eksenı boyunca olur. Yazıcının markasına ve modeline göre baskı kafası veya baskı yatağı Z eksenı boyunca hareket edebilir.
 - a. **Z eksenı motoru:** Baskı kafasının veya baskı yatağının Z ekseninde hareket etmesini sağlar ve kontrol kartı tarafından yönetilir.
4. **Baskı yatağı:** Baskının oluşturulduğu yüzeydir. Baskı yatakları metalden yapılır ve alt yüzeyinde yatak sıcaklığının kontrol kartı tarafından istenen sıcaklığa ayarlanması sağlayan rezistansa sahiptir. Baskı yatağının yüzeyi baskının yatağa yapışmasına yardımcı olan ve baskı işleminin bitmesi sonrası parçanın yataktan rahat çıkarılmasını sağlayan çeşitli malzemelerden yapılabilir veya manyetik özelliği sayesinde kolayca çıkarılabilen baskı yatağı yüzeyine sahip olabilir.
5. **Denetleyici (Kontrol kartı):** Bu kısım üç boyutlu yazıcının beynidir. Genellikle yazıcıyı kontrol etmek için gerekli arabirimin olduğu ve diğer tüm parçaların kontrollerinin bağlı olduğu yerdir. Kontrol kartı üzerinde çeşitli bilgileri görmemizi sağlayan bir ekran ve çeşitli seçimleri yapabilmemizi sağlayan kontrol tuşları bulunabilir.
6. **Ekstrüder:** Filamentin baskı için nozula iletilmesini sağlar. İçerisinde bir ekstrüder motoru ve kontrol kartından gelen komuta göre filamentı yavaşca iten dişli bir sistem vardır. Farklı filamentler için farklı özelliklere sahip birçok ekstrüder çeşidi vardır. Ekstrüderler bowden tipi (uzaktan) veya direkt hotend üzerinde doğrudan tahrikli olabilir.
 - a. **Ekstrüder motoru:** Filamentı ileri veya geri hareket ettirerek istenen hızda nozula iletilmesini sağlar.

7. **Bowden borusu (Teflon boru):** Bowden tarzı ekstrüderli yazıcılarda filamentin nozula iletilmesini sağlayan ısıya dayanıklı borudur.
8. **Hotend (Sıcak uç):** Hotend düzeneği filamentin eritildiği ve böylece baskının oluşturulmasını sağlayan kısımdır. Hotend birkaç bölümden oluşur:
 - a. **Nozul:** Isıtılarak filamentin eritildiği kısımdır. Nozul ısıtıcı bloğuna bağlanmıştır. Alınan baskının hassasiyetine bağlı olarak 0,1 mm'den 2 mm'ye kadar çeşitli çıkış ucu çapları vardır. En çok kullanılan nozul çapı 0,4 mm'dir. Nozul bağlantı kısmı dişli yapıya sahiptir ve gerektiğinde değiştirilebilir.
 - b. **Isıtıcı bloğu:** Isıtıcı fişegin bağlı olduğu yerdir. Blok çevresinde yalıtım olabilir veya olmayabilir. Yalıtım, ısıtıcı bloğundaki ısı dalgalanmasını önlemeye yardımcı olur.
 - c. **Isıtıcı fişek:** Isıtıcı fişek filamentin erimesi için ısıtıcı bloğun ısısını arttıran parçadır.
 - d. **Termistör:** Isıtıcı bloğun hemen içine yerleştirilmiştir ve hotendin sıcaklığını ölçer. Kontrol kartı kullanıcı tarafından ayarlanan ve ölçülen sıcaklık değerine bağlı olarak ısıtıcı fişegin çalışmasını kontrol eder.
 - e. **Isı dağıtıcı:** Isıtıcı bloğundan gelen ısının hotendten çok uzağa gitmesini önlemek için kullanılan kısımdır. İdeal olarak ısı, filamentin eridiği bölgede izole edilmelidir. Filamentin sıcak uçta çok fazla yumuşaması filamentin nozuldan itilememesine ve bundan dolayı tıkanmaya neden olur.
 - f. **Soğutma fanı:** Isı dağıtıcısını soğutarak filamentin daha etkin soğutulmasını sağlar.
 - g. **Parça soğutma fanı:** Nozuldan çıkan malzemeyi hızla soğutur böylece yazdırılan katmanın boyutlarının değişmesini ve geometrik şekil bozukluğunun engellenmesini sağlar. Tüm yazıcılar buna sahip değildir ve her zaman gerekli değildir. Gereksinim, kullanılan malzemeye bağlıdır.
9. **Limit anahtarları (Son duraklar):** Her eksenin başlangıç konumunu işaretlerler. Yazdırma kafası 0,0,0 koordinatlarına gönderildiğinde (eksenleri ana konumlarına hareket ettirerek), her eksen bu son duraklara (limit anahtarlarına) doğru hareket edecektir. Baskı kafası ve baskı yatağı limit anahtarlarına ulaşmış anahtarları kapattığında

o eksenin hareketi duracaktır. Bu, yazıcıya baskı kafasının ve baskı yatağının X, Y, Z ekseninde başlangıç konumuna ulaştığını bildirir.

10. Ekstra parçalar: Bu parçalar tüm yazıcılar için gerekli değildir ancak yazıcıların kullanımlarını kolaylaştırdıkları için giderek daha yaygın hale gelmektedirler.

- a. **Otomatik seviye sensörü:** Otomatik seviye sensörleri tamamen isteğe bağlıdır ve birçok farklı formda olabilirler. Bu sensör yazıcının farklılıkları telafi edebilmesi için yataktaki alçak ve yüksek noktaların nerede olduğunu belirlemek için kullanılır. Bu baskı yatağının düz olmasa bile yazıcının yüzeye eşit şekilde yazdırmasını sağlayabilir veya kullanıcının baskı yatağının manuel kalibrasyonunu daha doğru ve kolay yapmasını sağlar.
- b. **Filament sensörü:** Bu ünite filamentin bittiğini algılar ve baskıyı duraklatır. Daha sonra yeni bir filament takılarak baskı kaldığı yerden devam ettirilebilir.

4. 3B Yazıcıların Kullanım Alanları

4.1. Eğitim

Her gün daha fazla okul müfredatlarına 3B baskı yöntemlerini dahil etmektedir. 3B baskının eğitim için faydası öğrencilerin pahalı araçlara ihtiyaç duymadan prototipler oluşturmasına olanak tanınmasıdır. Bu sayede öğrenciler, gerçekte tutabilecekleri modelleri tasarlayarak ve üreterek 3B baskı uygulamaları hakkında bilgi sahibi olurlar. 3B baskı fikirler ve ekrandaki tasarımlar arasındaki boşluğu doldurarak, bu fikirlerin/tasarımların fiziksel şekilde 3 boyutlu dünyada oluşturulmasına olanak tanır. Bu sayede grafik tasarım öğrencileri karmaşık çalışma parçalarına sahip modelleri kolayca oluşturabilir, fen bilimleri öğrencileri diğer biyolojik örneklerin yanı sıra insan vücudundaki organların enine kesitlerini oluşturabilir ve inceleyebilir, kimya öğrencileri ise moleküllerin ve kimyasal bileşiklerin 3 boyutlu modellerini yapabilirler (Makerbot, 2021).

İnşaat: İnşaat alanında 3B baskı, binaları veya inşaat bileşenlerini üretmenin ana yolu olarak çeşitli teknolojiler sunar. İnşaatta 3B baskı özel, ticari, endüstriyel ve kamu sektörlerinde çok çeşitli uygulamalara sahiptir. Bu teknolojilerin avantajları arasında daha fazla karmaşık yapıların oluşturulabilmesi, yüksek doğruluk, daha hızlı inşaat, daha düşük işçilik maliyetleri, daha fazla işlevsel entegrasyon ve daha az atık bulunmaktadır. Beton 3B baskı, binaların ve diğer yapıların inşa edilebilmesinin daha hızlı ve daha ucuz bir yolu olarak 1990'lardan beri geliştirilmektedir. Beton basmak

için özel olarak tasarlanmış büyük ölçekli 3B yazıcılar, temelleri dökülebilir ve yerinde duvarlar inşa edebilir (Makerbot, 2021). 3B baskı ile tamamen tamamlanmış ilk konut binası 2017 yılında Rusya'nın Yaroslavl kentinde inşa edilmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. 3B yazıcı ile üretilmiş ev Kaynak: Cian, 2017.

4.2. Sağlık

Son yıllarda tıp dünyasında ameliyat hazırlığından protezlere kadar pek çok 3B biyobaskı uygulaması olmuştur. 3B baskılı protezler, 3B baskının çok yönlülüğünün yararlı bir uygulamasıdır. Hasta üzerinde ölçülen protezler kişiye özel modellenebilir ve çok düşük fiyatlar ile basılabilir. 3B baskı odaklı tedavilerin cerrahi kullanımları, kemik rekonstrüktif cerrahi planlaması için anatomik modelleme ile 1990'ların ortalarından beri kullanılmaktadır (Şekil 13). Gelecekte biyobaskı veya 3B baskılı hücreler ve dokular ile ihtiyacı olan hastalar için kemik ve organlar basılabilecektir (Ooi, 2019).

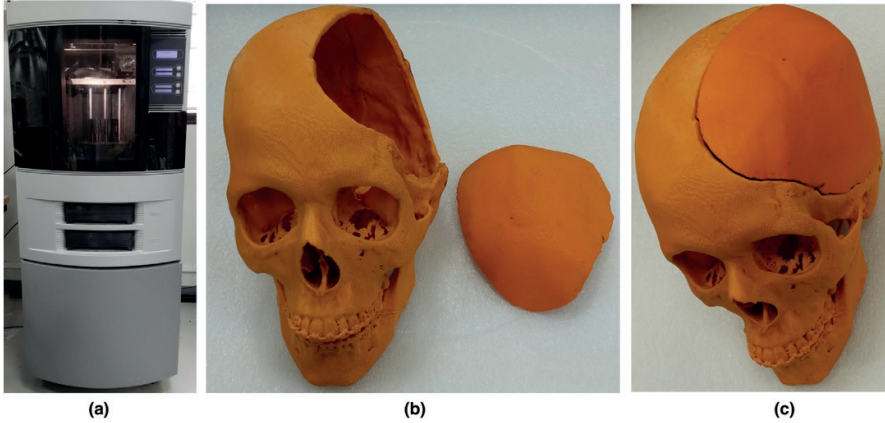
4.3. Yiyecek

Gıdaların katman katman basılarak üç boyutlu nesnelere haline getirilmesiyle eklemeli gıda üretimi gerçekleştirilmektedir. NASA gıda israfını azaltmak ve bir astronotun beslenme ihtiyaçlarına uyacak şekilde tasarlanmış yiyecekler yapmak için 3B baskılı yiyecekler teknolojisini araştırmaktadır (Nasa, 2013).

4.4. Tekstil

3B baskı teknolojisi giyim dünyasına 3B baskılı bikiniler, ayakkabılar ve elbiseler deneyen moda tasarımcılarıyla girmiştir. Ticari üretimde

Nike, Amerikan futbolu oyuncularını için 2012 Vapor Laser Talon futbol ayakkabısını prototiplemek ve üretmek için 3B baskı kullanmış ve New Balance firmasında sporcular için özel olarak tasarlanmış 3B ayakkabılar üretmektedir (Fitzgerald, 2013).



Şekil 13. (a) Stratasys FDM yazıcıda üretilen parçalar; (b) Kafatası çerçevesi ile kafatası implantı, (c) Kafatası implantının montaj değerlendirilmesi Kaynak: Moiduddin vd., 2017.

4.5. Endüstriyel sanat ve mücevherat

3B baskı takı ve mücevher yapmak için kalıplar ve hatta takıların kendisini üretmek için kullanılır. 3B baskı metal veya plastik sanatsal ürünlerde, oyuncak bebek modellerinde ve özelleştirilebilir hediyeelik eşya endüstrisinde hızla popüler hale gelmektedir (Envisiontec, 2021).

4.6. Bilgisayarlar

3B baskı masaüstü veya taşınabilir bilgisayarların kasalarını, klavye ve fare gibi çeşitli ekipmanları üretmek için kullanılmaktadır.

4.7. Çevresel kullanım

Mercan poliplerini kolonize etmeye ve hasarlı resifleri yeniden oluşturmaya teşvik eden benzersiz mercan şekilli yapılar oluşturmak için kumtaşı benzeri bir malzeme kullanan büyük ölçekli 3B baskı kullanılmaktadır. 3B yazıcı ile üretilmiş yapay resifler kullanılan diğer yapılardan ziyade doğal bir şekle ve kimyasal uyuma sahiptir.

4.8. Evsel kullanım

Evlerde kullanılan hobi amaçlı 3B yazıcılar ile kullanıcılar çalışan sistemler, saatler, sanatsal objeler ve kendi tasarımlarına ait birçok nesneyi basabilmektedir. Kullanıcılar sahip oldukları 3B yazıcı ile farklı 3B yazıcıların veya kendi 3B yazıcılarının parçalarını üretebilmektedir.

4.9. Dişçilik

Diş hekimleri için 3B yazıcılarla üstün uyum ve tekrarlanabilir sonuçlar ile düşük birim maliyetlerde yüksek kalitede özel ürün ve cihazlar üretebilir. 3B yazıcılar ile diş hekimlerinin kullandığı taç ve köprü modelleri, şeffaf hizalayıcı ve Hawley tutucu modelleri, cerrahi kılavuzlar, döküm ve presleme kalıpları ile takma dişler üretilir (Formlabs, 2021).

4.10. Otomotiv endüstrisi

3B baskı teknolojisi otomotiv endüstrisinde daha kısa üretim süreleri ve azaltılmış maliyetler ile daha hafif, daha güvenli ve çevre dostu arabalar üretilmesinin kapılarını açmıştır. Otomobil tasarımında temel amaç, güvenliği sağlarken otomobilin ağırlığını en aza indirmektir. Eklemeli imalat teknikleri kullanılarak, parçalardaki petek hücresi veya boşluklar gibi karmaşık kesit alanlarının üretimi mümkün kılınmıştır. 3B yazıcılar eski araçlar için bulunması zor parçaların yeniden yapılmasında da kullanılır (Lim vd., 2016).

4.11. Uzay ve havacılık

3B baskı teknolojisi uzay ve havacılık sanayinde de giderek artan bir kullanıma sahiptir. Havacılık endüstrisinde 3B baskı teknolojisi, enerji gereksinimini ve kaynakları azaltabilen hafif parçalar, gelişmiş ve karmaşık geometriler yapma potansiyeline sahiptir. 3B baskı teknolojisi havacılık parçalarını üretmek için kullanılan malzeme miktarını ve böylece ağırlığı azaltabileceğinden uçaklarda yakıt tasarrufu sağlayabilir. Ayrıca, motorlar gibi bazı havacılık bileşenlerinin yedek parçalarını üretmek için 3B baskı teknolojisi yaygın olarak kullanılmaktadır (Shahrubudin, Lee & Ramlan, 2019). Airbus, A350 XWB modelinin 3B baskı ile üretilen 1000'den fazla bileşene sahip olduğunu duyurmuştur. 3B baskı çeşitli hava kuvvetleri tarafından uçakların yedek parçalarını basmak için de kullanılmaktadır. NASA mühendisleri Mars aracını oluşturan parçaların yaklaşık 70'ini doğrudan bilgisayar tasarımlarını kullanarak üretim sınıfı bir Stratasys 3B yazıcıda inşa etmişlerdir (Şekil 14) (Ramya & Vanapalli, 2016).



Şekil 14. NASA uluslararası uzay istasyonunda kullanılan 3B yazıcıda üretilmiş anahtar Kaynak: Nasa, 2014.

5. Sonuç

Sonuç olarak 3B yazıcıların kullanım avantajları;

- Gerçek nesnenin küçük ölçekli bir versiyonu ile geleneksel yöntemlere göre daha kısa sürede üretim sağlar. Bu, tasarımcıların ürünün kalitesini etkileyebilecek herhangi bir tasarım kusuru varlığını araştırabilmelerine ve ürünlerini geliştirmelerine yardımcı olur.
- Pahalı ve uzun prototip işleme sürecinin aksine 3B yazıcılar ile her tasarım değişikliğinde ucuz ve hızlı bir şekilde yeni bir prototip oluşturulabilir.
- Bir 3B baskı tesisi kurmanın ilk maliyeti yüksektir fakat geleneksel üretim yöntemleri kullanıldığında oluşan işçilik ve üretim maliyetlerine nazaran bu maliyet çok daha düşüktür.
- 3B yazıcı teknolojisi ile ürünler gerektiğinde üretilebilmekte böylece fazla üretilen ürünler ortadan kalktığı için ürünlerin depolama maliyetleri azalmaktadır.
- 3B baskı teknolojisinin yaygın kullanımı bu yazıcıları tasarlamak ve üretmek için ihtiyaç duyulan mühendislere, sorun giderme ve bakım konusunda teknisyenlere olan talebi artırarak yeni iş imkanlarının artmasına neden olacaktır.
- 3B yazıcılardaki teknolojinin ilerlemesi ile özelleştirilebilir insan vücudu parçaları ve organları üretilebilecektir. Buda yalnızca organ bağışçılarının eksikliğini gidermekle kalmayacak aynı zamanda oluşturulan organlar hastanın benzersiz DNA'sından oluşacağından vücudun organı reddetme olasılığını da ortadan kaldıracaktır.

- 3B yazıcılar belirli bir parçayı üretmek için gerekli malzemeyi kullandığından (sıfır veya çok az israf ile) toplam malzeme maliyetinin düşmesini sağlar.
- 3B baskı teknolojisinin kullanılması üretim sürecinde oluşan atık malzeme miktarını azaltır.
- 3B baskı, karmaşık şekillerin geleneksel üretim yöntemlerine nazaran çok daha hafif olarak üretilmesine olanak tanır.
- 3B yazıcılarda basılmış parçalar; su geçirmezlik, yüksek mukavemet ve ısı direnci gibi belirli özellikler sunan özelleştirilmiş malzemelerden üretilir.
- Geri dönüştürülmüş, geri dönüştürülebilir veya organik bitki bazlı malzemeler filament olarak kullanılabilir için 3B yazıcılar ile üretilmiş ürünler çevre dostudur.
- 3B yazıcılar eklemeli bir üretim süreci kullandığı için bir parçanın üretimini esnasında geleneksel yöntemlerde (torna, freze, vb.) olduğu gibi kesim sonucu ortaya çıkan talaş yoktur. Bu sayede daha az ana malzeme kullanılır buda malzeme maliyetlerini azaltabilir.
- 3B yazıcılar ile üretilen parçalarda geleneksel üretime göre daha tutarlı parça ölçüleri oluşmakta ve üretim esnasında tüm parça katmanları takip edilerek üretim sıkı bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Buda üretilen parçaların kalitesini arttırmaktadır.
- 3B baskı yöntemi ile geleneksel yöntemlerle üretilmesi zor olan içi boş ve karmaşık şekilli parçaların üretimi mümkündür.
- 3B baskı yöntemi geleneksel üretim süreçlerinde ortaya çıkan tasarım kısıtlamalarını ortadan kaldırmıştır.
- Tek adımlı bir üretim süreci olarak 3B baskı, zamandan ve dolayısıyla üretim için farklı makinelerin kullanılmasıyla ilişkili maliyetlerden tasarruf sağlar.
- Üç boyutlu yazıcılar sayesinde geleneksel yöntemlerle üretim yapılırken ihtiyaç duyulan çok çeşitli makine, teçhizat ve işçilik maliyetleri ortadan kalkar.
- Baskıda kullanılan filamentler çok çeşitli yapılarda ve uygun fiyatlar ile temin edilebilir.
- Özellikle baskıda kullanılan PLA filamentini sağlığa zararsızdır, eridiğinde çevreye ve sağlığa zararlı gazlar çıkarmaz ve doğada çözünebilir olması

ile çevreye zarar vermez (Inktonerstore, 2021; Kroll & Artzi, 2011; Miller, 2021; Twi-global, 2021).

3B yazıcıların kullanım dezavantajları ise;

- 3B yazıcılar ile oluşturulan parçaların boyutu şu an için sınırlıdır ancak yakın gelecekte mimari yapılar gibi büyük öğeler 3B baskı kullanılarak oluşturulabilir.
- Geleneksel üretim yönteminde kullanılacak çok çeşitte ve sayıda hammadde vardır fakat şu anda 3B yazıcılar yaklaşık 100 farklı hammadde (plastik, metal, vb.) ile çalışabilmektedir.
- 3B yazıcıların kullanılması ile geleneksel yöntemlerde ihtiyaç duyulan makine ve teçhizat sayısı azalacak bunun yanında iş gücüne ihtiyaç duyulmayacağı için işsizlik artabilecektir.
- 3B baskıda baskı dosyasına sahip herkes ürünleri üretebilecektir; bu durum telif hakkı sahibini zora sokacaktır. Benzersiz ve çok özel ürünler üreten şirketler zarar görebilecektir.
- Kullanımı tehlikeli olabilecek ürünler kontrolsüz biçimde üretilbilecektir.
- Özellikle FDM yöntemi kullanılarak üretilen parçaların belirli eksenlerde gelen kuvvetlere karşı dayanımları düşüktür.
- 3B yazıcı teknolojisinin endüstriyel alanlarda kullanımı için hala geliştirilmesi gerekmektedir.
- Büyük boyutlarda veya özel malzemeler (cam, metal) kullanarak baskı alabilen 3B yazıcılar halen pahalıdır.
- Bazı basılan parçaların sonradan işlenmesi gerekebilir (destek bölgelerinin ve yüzeyin temizlenmesi).
- 3B baskı ile ilgili diğer bir potansiyel sorun ise kullanılan bazı yazıcıların daha düşük baskı toleranslarına sahip olmaları nedeniyle nihai parçaların orijinal tasarımdan farklı olabilmesidir. Bu baskı sonrası düzeltilebilir ancak bu üretim süresini ve maliyetini arttıracaktır (Inktonerstore, 2021; Miller, 2021; Twi-global, 2021).

REFERANSLAR

- Formlabs. (2021). <https://formlabs.com/3d-printers> adresinden 16 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.
- Syed, A.M.T., Elias, P.K., Amit, B., Susmita, B., Lisa, O., ve Charitidis, C. (2017). Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials Today*, 21(1), 22-37.
- Xu, Y., Wu, X., Guo, X., Kong, B., Zhang, M., Qian, X., Mi, S., ve Sun, W. (2017). The Boom in 3D-Printed Sensor Technology. *Sensors*, 17(5), 1166.
- Savini, A., ve Savini, G.G. (2015). A short history of 3D printing, a technological revolution just started. 2015 ICOHTEC/IEEE International History of High-Technologies and their Socio-Cultural Contexts Conference (HISTELCON), 1-8.
- Lee, J., An, J., ve Chua, C.K. (2017). Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials. *Applied Materials Today*, 7, 120-133.
- Quanjin, M., Rejab, M.R.M., Idris, M.S., Kumar, N.M., Abdullah, M.H., ve Reddy, G.R. (2020). Recent 3D and 4D intelligent printing technologies: A comparative review and future perspective. *Procedia Computer Science*, 167, 1210-1219.
- Mashambanhaka, F. (2018). What is 3D Bioprinting?. <https://all3dp.com/2/what-is-3d-bioprinting-simply-explained> adresinden 16 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.
- Ahart, M. (2019). Types of 3D Printing Technology. <https://www.protolabs.com/resources/blog/types-of-3d-printing> adresinden 16 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.
- Prabhakar, M., Saravanan, A.K., Lenin, A., Leno, I., Mayandi, K., ve Piramanayagam, S.R. (2020). A short review on 3D printing methods, process parameters and materials. *Materials Today: Proceedings*, 45(2), 6108-6114.
- Low, Z., Chua, Y.T., Ray, B.M., Mattia, D., Metcalfe, I.S., ve Patterson, D.A. (2017). Perspective on 3D printing of separation membranes and comparison to related unconventional fabrication techniques. *Journal of Membrane Science*, 523(1), 596-613.
- All3dp. (2021). <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology> adresinden 15 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.
- Deckard, C.R., Beaman, J.J., ve Darrah, J.F. (1992). Method For Selective Laser Sintering with Layerwise Cross-Scanning. Patent No. 5, 155, 324, Washington, 1-3.
- Snikhovska, K. (2020). The Different Types of 3D Printing Technology. <https://penandplastic.com/3d-printer-types/> adresinden 20 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.

- 3dinsider. (2020). <https://3dinsider.com/3d-printer-types> adresinden 16 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.
- Kothari, A. (2021). What Are the Different Types of 3D Printing?. <https://www.futurelearn.com/info/courses/getting-started-with-digital-manufacturing/0/steps/184102> adresinden 16 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.
- Ramya, A., ve Vanapalli, S.I. (2016). 3D Printing Technologies in Various Applications. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 7(3), 396-409.
- Kumar, S., Singh, R., Singh, T.P., ve Batish, A. (2020). Fused filament fabrication: A comprehensive review. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 36, 794-814.
- Patel, V.N., ve Kadia, K.P. (2014). Parametric Optimization of The Process of Fused Deposition Modelling In Rapid Prototyping Technology – A Review. *IJRST- International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1(7), 80-82.
- 3dprinteruniverse. (2021). <https://3dprinteruniverse.com/blogs/world-of-3d-printing/anatomy-of-a-3d-printer> adresinden 23 Haziran 2021 tarihinde alınmıştır.
- Makerbot. (2021). <https://www.makerbot.com/stories/design/top-5-3d-printing-applications> adresinden 16 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.
- Ooi, T. (2019). 5 Greatest 3D Printing Applications. <https://all3dp.com/2/greatest-3d-printing-applications> adresinden 27 Haziran 2021 tarihinde alınmıştır.
- Nasa. (2013). https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/home/feature_3d_food.html adresinden 16 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.
- Fitzgerald, M. (2013). With 3-D Printing, the Shoe Really Fits. <https://sloanreview.mit.edu/article/with-3-d-printing-the-shoe-really-fits> adresinden 16 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.
- Moiduddin, K., Darwish, S., Al-Ahmari, A., Elwatidy, S., Mohammad, A., ve Ameen, W. (2017). Structural and mechanical characterization of custom design cranial implant created using additive manufacturing. *Electronic Journal of Biotechnology*, 29, 22-31.
- Envisiontec. (2021). <https://envisiontec.com/3d-printing-industries/professional/jewelry> adresinden 16 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.
- Lim, C.W.J., Le, K.Q., Lu, Q., ve Wong, C.H. (2016). An Overview of 3-D Printing in Manufacturing, Aerospace, and Automotive Industries. *IEEE Potentials*, 35(4), 18-22.
- Shahrubudin, N., Lee, T.C., ve Ramlan, R. (2019). An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. In *Procedia Manufacturing*, 35, 1286-1296.

- Ramya, A., ve Vanapalli, S.I. (2016). 3D Printing Technologies in Various Applications. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 7(3), 396-409.
- Nasa. (2014). Space Station 3-D Printer Builds Ratchet Wrench To Complete First Phase Of Operations. https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/3Dratchet_wrench adresinden 16 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.
- Inktonerstore. (2021). <https://blog.inktonerstore.com/3d-printing-know-its-advantages-and-disadvantages> adresinden 16 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.
- Kroll, E., ve Artzi, D. (2011). Enhancing aerospace engineering students learning with 3D printing wind-tunnel models. *Rapid Prototyping Journal*, 17(5), 393 – 402.
- Miller, D. (2021). Advantages and Disadvantages of 3D Printing. <https://io-3dprint.com/advantages-disadvantages-of-3d-printing> adresinden 16 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.
- Tw-global. (2021). <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is3dprinting/pros-and-cons> adresinden 16 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.