

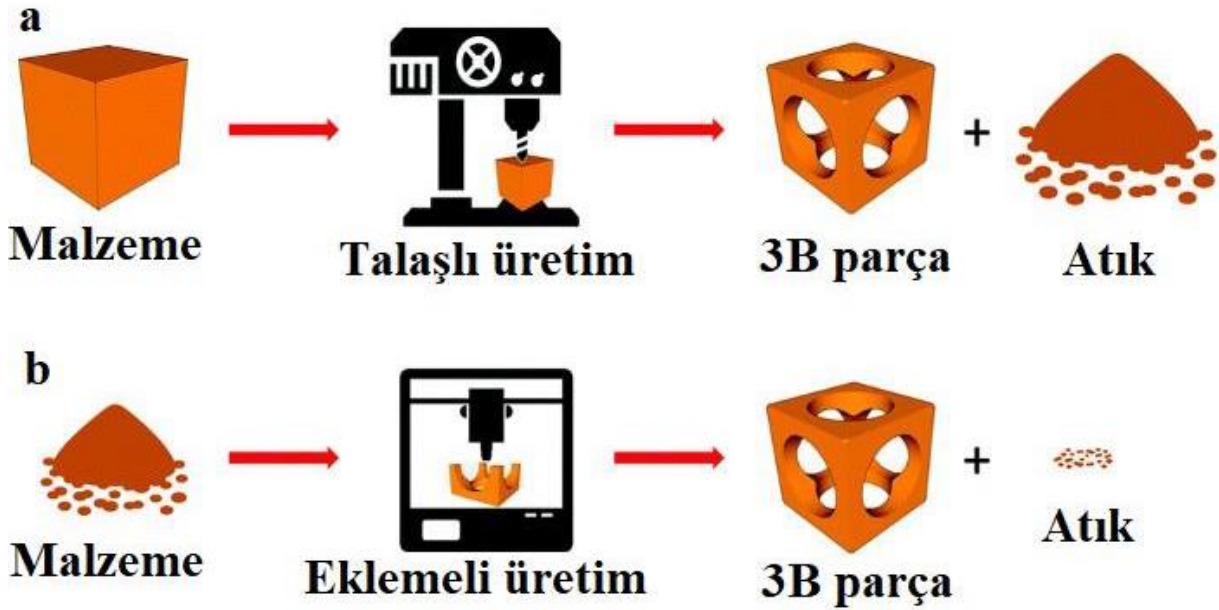
Eklemeli İmalat

Eklemeli Üretim diğer adıyla Katmanlı Üretim veya genel olarak insanlar tarafından bilinen adıyla 3 boyutlu baskı (3D), 1983 yılında ABD’de Chuck Hull tarafından bulunmuş bir katmanlı üretim yöntemidir.

Malzemelerin ince katmanlar halinde yayılıp istenen objeyi oluşturması prensibi ile çalışan bu teknoloji, başlangıçta kendini süs eşyaları ve oyuncaklar gibi basit ürünler ile tanınmış olsa da günümüzde 3 boyutlu baskı uygulamaları çok daha ileri seviyelere geçmiş ve kullanılmaya başlanmış durumdadır.

American Society for Testing and Materials (ASTM) standardına göre 3 boyutlu baskı (hızlı prototip üretme) (serbest formlu üretim), “makineyle işleme gibi çıkarmalı üretim yöntemlerinin aksine, malzemelerin 3 boyutlu model verilerinden nesnelere yapmak için genellikle üst üste katmanlar şeklinde birleştirilmesi sürecidir” şeklinde tanımlanmaktadır.

Eklemeli üretim yöntemi, geleneksel talaşlı üretim yöntemlerinden (Şekil 1a) farklı olarak, katmanların birbiri üzerine dizilmesiyle istenilen şeklin üretilmesi yöntemidir (Şekil 1b). Bu nedenle aynı zamanda katmanlı üretim olarak da adlandırılır.



Şekil 1. Üretim Teknolojileri

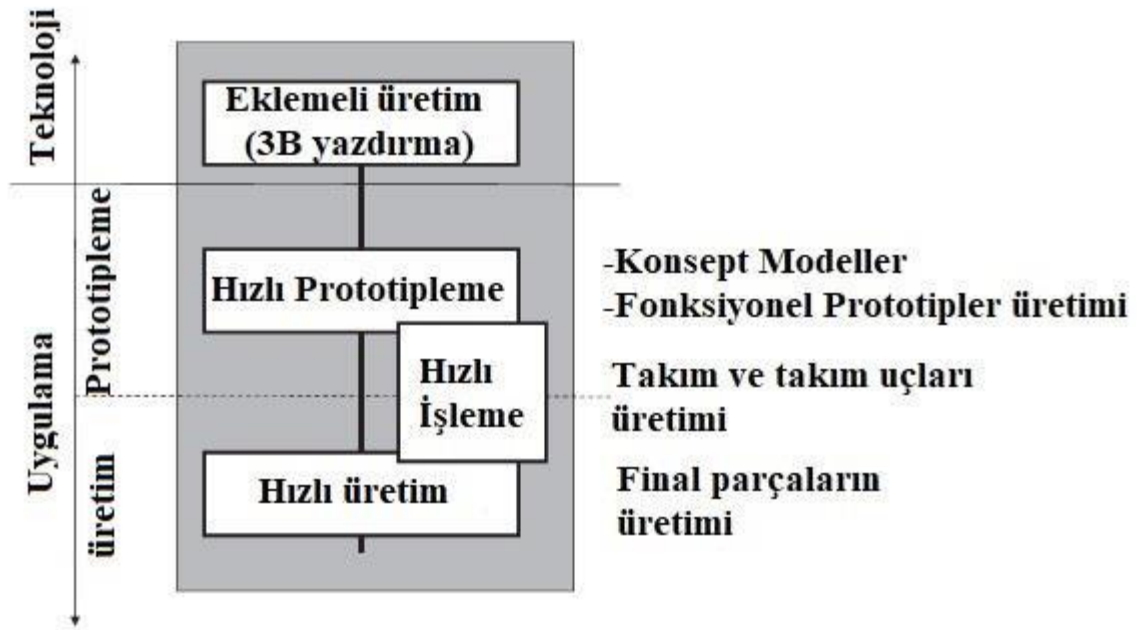
Eklemeli üretim terimi, voksel (bir pikselin 3 boyutlu karşılığı) denilen hacim elemanlarını birleştirerek otomatik olarak parça üreten tüm üretim teknolojilerini kapsayan genel bir terimdir. Eklemeli üretimle, 3 boyutlu olan CAD modeli, başka tür bir model olan üçgensel kafesli bir modele (Stereolithography-STL, STL bugünlerde 3 boyutlu baskı uygulamaları için en yaygın format olmasına rağmen son yıllarda AMF veya 3MF gibi başkaları da ortaya çıkmıştır) dönüştürülür.

Model, özel yazılımlarla katmanlara ayrıştırıldıktan sonra üç boyutlu yazıcı yardımıyla katman katman bir parçaya dönüştürülmektedir. Eklemeli üretim sayesinde, tasarımda oldukça kolaylık sağlanmakta ve üretimi oldukça zor olan parçalar kısa sürede rahatlıkla üretilmektedir.

Eklemeli üretim yöntemi, geleneksel talaşlı üretim yöntemlerinden farklı olarak, katmanların birbiri üzerine dizilmesiyle istenilen şeklin üretilmesi yöntemidir. Eklemeli üretim teknolojileri iki ana uygulama bölümüne ayrılmaktadır; “hızlı prototipleme” ve “hızlı üretim”.

Hızlı prototipleme, eklemeli üretimin prototip, model veya maket yapımını kapsarken hızlı üretim terimi ise, nihai parça ve ürünlerin üretilmesini göstermektedir. Takımların, takım uçlarının, masterların ve benzerlerinin üretimine ise “hızlı işleme” adı verilmektedir.

Buradaki "hızlı" kelimesi görecelidir; tipik olarak birkaç saat içinde parçaların üretebilmesini göstermekle birlikte kullanılan yöntemin tipine ve aynı anda üretilen parçaların boyutuna, sayısına ve karmaşıklığına bağlı olarak bu süre önemli ölçüde değişebilmektedir.



Sanal ortamda tasarlanmış 3 boyutlu nesnelere katı formda somut nesnelere dönüştüren makineler 3 boyutlu yazıcı denir. 3 boyutlu baskı teknolojisi ile ihtiyaç duyulan bir aparat basılabilir, 3 boyutlu tarayıcı ile taranan bir cismin çıktısı alınabilir, çizilen bir tasarım prototiplenebilir.

3 boyutlu yazıcılar, katmanlı imalat diye nitelendirilen bir üretim yöntemi ile çalışırlar. Baskı için birçok hammadde kullanılsa da genellikle filament diye nitelendirilen termo polimerik malzemeler kullanılır.

3 Boyutlu yazıcılar 30 yıldan uzun bir süredir kullanılmakla beraber teknolojinin gelişimi ile eklemeli üretimde hızlı bir şekilde gelişme sürecine girmiştir. Eklemeli üretimin, çok yönlü ve esnek olarak tanımlanmış, özelleştirilebilir oluşu da hesaba katıldığında endüstriyel üretim yapan sektörlerin çoğunda üretim süreçlerini karşılayabilir olarak değerlendirilmektedir.

Eklemeli üretim teknolojileri kullanılan malzeme ve işleme sürecine bağlı olarak yıllar içinde farklı üretim yöntemleri ve yazıcı tipleri ile geliştirilmiştir. Endüstride yer alan eklemeli üretim teknolojileri ve açıklamaları Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1: Eklemeli üretim yöntemleri

Eklemeli Üretim Yöntemi	Tanım
BJ (Binder jetting)	Yapıştırıcı püskürtme
DLP (Digital light processing)	Dijital ışık işleme
DMD (Direct metal deposition)	Doğrudan metal biriktirme
DMLS (Direct metal laser sintering)	Doğrudan lazer metal sinterleme
EBM (Electron beam melting)	Elektron demeti ile ergitme
FDM (Fused deposition modeling)	Birleştirmeli yağma modellemesi
LMD (Laser metal deposition)	Lazer metal biriktirme
LOM (Laminated object manufacturing)	Lamine nesne imalatı
MJM (Multijet modeling)	Çok jetli modelleme
PP (Plaster-based 3D printing)	Alçı bazlı 3D baskı
SHS (Selective heat sintering)	Seçimli ısıtma sinterleme
SLA (Stereolithography)	Stereolitografi
SLM (Selective laser melting)	Seçimli lazer ergitme
SLS (Selective laser sintering)	Seçimli lazer sinterleme
UC (Ultrasonic consolidation)	Ultrasonik birleştirme

Köklü teknolojik değişim ve geçişlerden biri olarak gösterilen eklemeli üretimin birçok farklı üretim yöntemine ve çeşide sahip olması ve üzerine düşülmesinin ardında, kişiselleştirme mega trendi yatmaktadır. Yani hızla değişen müşteri talepleri ve pazar dinamikleri, şirketlerin müşteri ihtiyaçlarına ayak uydurmasını zorlaştırmaktadır.

Gelecek standardize edilmiş ürünler ile başarı yakalamamanın mümkün olmadığı bir duruma geçiş yapmıştır. Geleceği yakalamak için fabrikaların esnek ve kendini değiştirebilen bir yapıda olması gerekmektedir. Bu sebeple dağıtık üretim sistemlerini kullanan şirketlerin, talep değişikliklerini takip etmede avantaj sağladığına da inanılmaktadır.

Pazardaki rekabeti belirleyici hale gelen bu gibi trendler sebebiyle, eklemeli üretim rekabet gücü yüksek bir silah olarak tanımlanmaktadır. Eklemeli üretim beraberinde altı yeni iş modeli de getirmiştir.

i. Kitlesele Kişiselleştirme:

- ✓ Son tüketicinin taleplerini tamamıyla karşılama imkânı
- ✓ Ürün çeşitliliğinde artış, daha kişiselleştirilmiş ürünlerin üretimi
- ✓ Standart ürünlerden memnun olmayan müşterilerin olduğu büyük pazarlar için uygunluk
- ✗ Müşteriler verilerinin toplanmasında ekstra masraf oluşumu

ii. Kitle Çeşitliliği:

- ✓ Güçlü ve değişken tercihleri olan ancak kişiselleştirilmiş ürünlere ihtiyaç duymayan müşteriler için uygunluk
- ✓ Müşteriye ait kişisel bilgilerin toplanması yerine, uygun fiyatla farklı çeşitlerin sunumu
- ✗ Gereğinden fazla çeşit sunmanın ekstra tasarım maliyeti getirmesi
- ✗ Gerçek müşteri taleplerini anlamak için makine öğrenimi kullanımı

iii. Kitle Segmentasyonu:

- ✓ Daha az değişken ihtiyaçları olan müşterilere bir ürünün birkaç düzine versiyonunun sunumu
- ✓ Tüketici talebi için beklemenin gerektięi, mevsimlik trendlerin olduğu, moda piyasaları için uygunluk
- ✓ Stok fazlası ürün oluşumunun engellenmesi
- ✗ Her bir segmentin büyüklüğüne ve hizmet verilecek segment sayısına karar vermenin zorluğu

iv. Kitlesele Modülerleştirme:

- ✓ Ana ürüne eklenebilecek modüler tasarımların sunumu
- ✗ Fiyatlandırma ve ürün işlevlerinde değişkenlik

v. Kitlesele Karmaşıklık:

- ✓ Geleneksel teknolojiler ile üretilemeyecek kadar karmaşık tasarımların sunumu
- ✓ Malzemelerde mikro düzeyde yeniden yapılanma
- ✗ Tasarımcının hayal gücü ve geleneksel zihniyetten kaçma becerisine bağlılık

vi. Kitle Standardizasyonu:

- ✓ Standart ürünlerin yüksek hacimlerde ve düşük maliyetle seri üretimi
- ✗ Yazıcıların, standardize edilecek ürüne göre özelleştirilmesi durumunda şirketlerin belirli sektörler ile kısıtlanması

Günümüzde dijital modellerin yaygınlaşması ve 3 boyutlu yazıcıların gelişmesi ile birlikte, eklemeli üretim teknolojisi artık kitlesele özelleştirmeyi destekleyen bir yöntem haline gelmiştir.

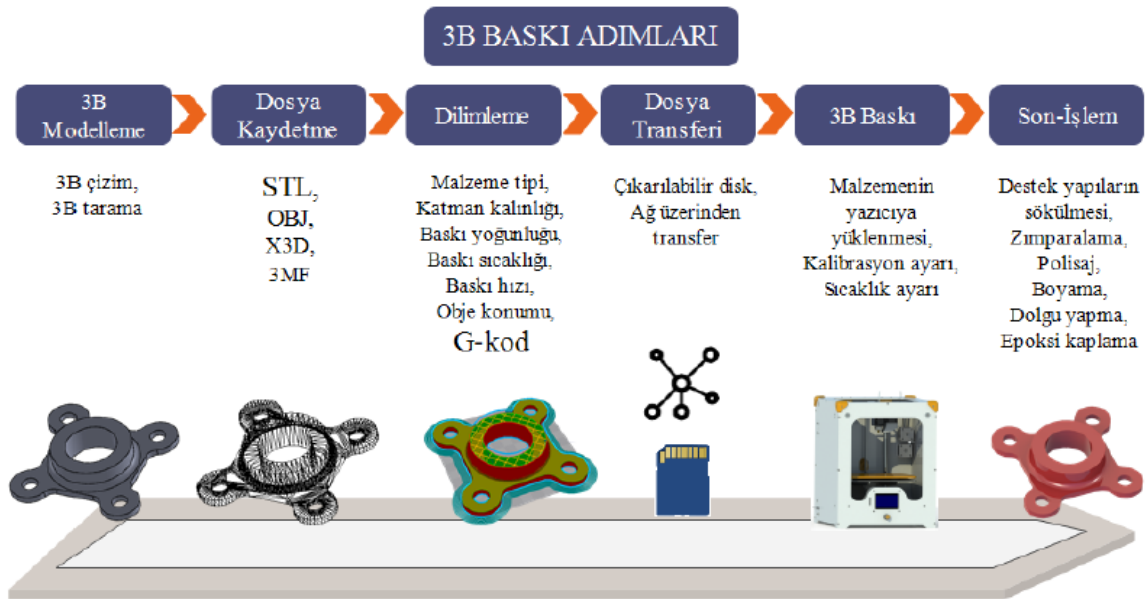
Bu sebeple, şirketlerin başarılı olmaları için ürün ve süreçlerini daha geliştikleri evrede korumaları gerekmektedir. Müşteri taleplerinin ve kişiselleştirmenin bu denli ön plana alındığı bir çağda, özellikle ürün tasarımı ve ürün fonksiyonlarının müşteri tarafından seçilebildiği sektörlerde, eklemeli üretim sadece yeni bir trend değil bir rekabet aracıdır.

Eklemeli Üretim Teknolojilerinin Avantajları

- Üretim süreçlerini ve maliyeti azaltır,
- Ürün iyileştirmesini hızlandırır,
- Özel ürünler üretilebilir,
- Hızlı modelleme olanağı sağlar,
- Çok zor şekilli parçalar üretilebilir,
- Tasarımdaki süreleri düşürür,
- Tasarım ile üretimin arasındaki uyumu sağlar,
- Ürünün işlevsel olarak optimize edilmesine olanak sağlar (soğutma kanalları gibi),
- Üretim makinalarının sayısını azaltır,
- Daha kısa teslimat süreleri, daha düşük stok ihtiyacına olanak verir,
- Tasarım serbestliği sağlar,
- Hiçbir kalıba ihtiyaç duymaz,
- Az malzeme harcar, atık miktarını azaltır,
- Lojistiği kolaylaştırır

Eklemeli İmalat İşlem Adımları

Hat kurulumu ve kalıp ihtiyacı olmadan, doğrudan tasarımından üretime geçiše imkân veren 3 boyutlu baskı prosesi genel olarak altı temel adımdan oluşur.



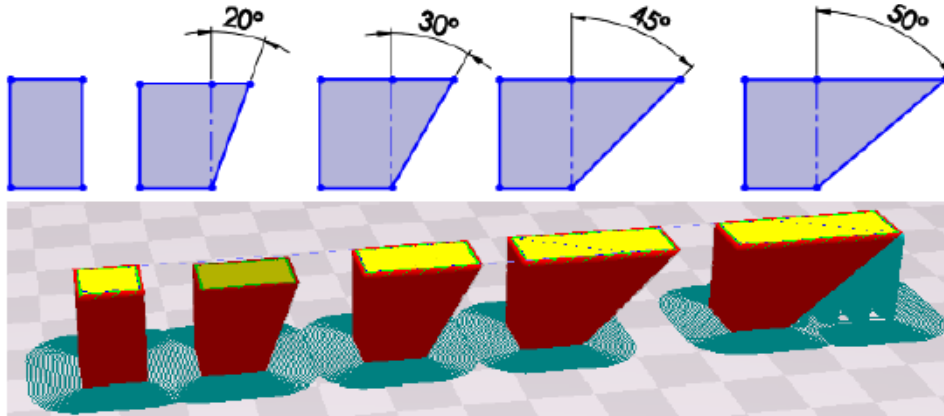
Şekil 3. Eklemeli imalat işlem adımları

Bu adımlar sırasıyla; üretilmek istenen objenin 3 boyutlu modelinin dijital olarak elde edilmesi, model dosyasının dilimleme yazılımı için uygun bir dosya formatına dönüştürülmesi, modelin dilimleme yazılımına aktarılarak katmanlara ayrılması ve G-kodlarının çıkartılması, elde edilen G-kodların 3 boyutlu yazıcıya aktarılması, baskı işlemi için 3 boyutlu yazıcının hazırlanması ve baskıamanın başlatılıp fiziksel objenin elde edilmesi ve son olarak elde edilen objenin destek yapılarından temizlenmesi ve son işlem adımlarının uygulanmasıdır.

3 Boyutlu Modelleme

3 boyutlu baskı prosesinde ilk başta basılacak objenin üç boyutlu modeline ihtiyaç vardır. Model birçok farklı bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları ile elde edilebileceği gibi bir 3 boyutlu (lazer, optik, MR, CT, fotoğraf-tabanlı) tarama sistemi kullanılarak da elde edilebilir. Tasarımlar kullanılan 3 boyutlu yazıcı teknolojisi yöntem ve yazıcının hassasiyeti dikkate alınarak yapılırsa daha verimli sonuçlar elde edilebilir.

Destek yapıları kullanan teknolojilerde genel olarak 45° kuralı geçerlidir. Bu kurala göre 45° 'ye kadar genişleyen açılı yüzeyler destek yapılara ihtiyaç duymazken 45° 'den sonra destek yapılar üzerine inşa edilebilirler.



Şekil 4. 45° kuralına göre destek yapılar

Modelleme yapılırken 45° kuralının dikkate alınması malzeme ve zamandan tasarruf edilmesine katkı sağlar. Tek seferde basılması düşünülen montaj parçalarında hareketli parçaların aralarındaki boşluklar belirlenirken 3 boyutlu yazıcının kabiliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır. Eğer model bir 3 boyutlu tarama sistemi ile elde edilmişse ise iyi analiz edilmeli, yüzey kusurları varsa bir mesh tamir yazılımında düzeltilmeli ve boyutları kontrol edilmelidir.

Dosya kaydetme

3 boyutlu model elde edildikten sonra model aktarılacağı dilimleme yazılımının (slicer software) tanıyacağı bir dosya formatına dönüştürülmelidir. Bu işlem modelleme programının “save as” veya “export” seçenekleri kullanılarak yapılabileceği gibi dosya dönüştürücü yazılımlarla da yapılabilir.

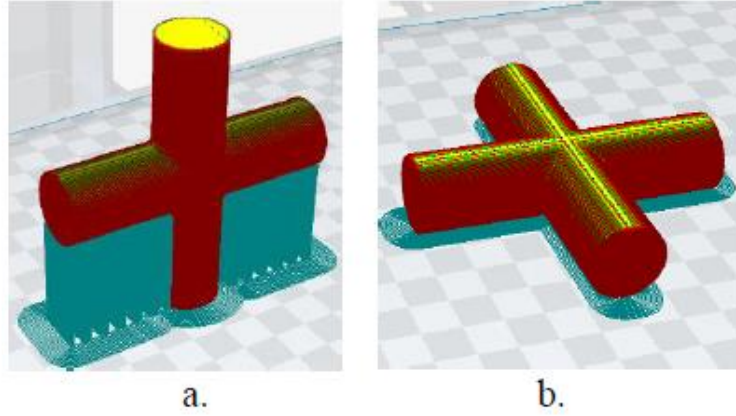
3 boyutlu baskı işlemlerinde en sık kullanılan dosya formatı STL'dir. Bunun dışında, obj, .X3D, .3MF gibi başka formatlar da birçok yazılım tarafından tanınmaktadır. Dosya dönüşümünden sonra model üzerinde değişiklik yapılamaz ancak modelin boyutu büyütülüp küçültülebilir ve yönü değiştirilebilir. Bununla beraber son zamanlarda STL formatındaki bir model üzerinde kısıtlı değişiklik yapılabilmesine imkân veren yazılımlar da (thinkerCAD) geliştirilmektedir.

Dilimleme

Uygun formatta kaydedilen modeller, 3 boyutlu baskı işleminden önce bir 3 boyutlu dilimleyici yazılıma aktarılır. Bu yazılımın amacı 3B nesneyi belirlenen katman kalınlığına göre dilimleyerek, 3 boyutlu yazıcının objeyi inşa ederken ihtiyaç duyduğu G-kodlarını doğru bir şekilde elde etmektir.

Yazılım sayesinde objenin 3 boyutlu yazıcı tablası üzerindeki pozisyonu ve yönü, katman kalınlığı, kullanılacak malzemenin cinsi, sıcaklık, baskı yoğunluğu, baskı hızı ayarlanabilmektedir.

Parçanın baskı tablası üzerindeki yönü, baskı süresini ve harcanan malzeme miktarını doğrudan etkiler. Şekil 5’de görüldüğü gibi parça yatay konumlandırıldığında daha az destek yapısına ihtiyaç duyulmuştur. Parçanın konumlandırılma biçimi aynı zamanda basım sonrasında destek yapıların temizlenmesi için harcanan emek ve zamanı da etkiler.



Şekil 5. Parçanın dilimleme yazılımında konumlandırılması

a. Dikey olarak konumlandırılmış parça. (Baskı süresi 2 sa 21 dk, harcanan malzeme miktarı 21 gr’dır).

b. Yatay olarak konumlandırılmış parça. (Baskı süresi 2 sa 10 dk, harcanan malzeme miktarı 17 gr’dır.)

Bütün parametreler girildikten sonra model dilimlenir ve G-kodları üretilir. Bununla beraber modelin inşası simule edilerek izlenebilir. Böylece 3 boyutlu baskı esnasında oluşabilecek hatalar önceden görülüp zamanında müdahale edilebilir.

Birçoğu ücretsiz ve açık kod özelliğine sahip olan 3 boyutlu dilimleyici yazılımlar (Cura, MatterControl, Slic3r, Craftware, Netfabb Basic vs.) çeşitli firmalar tarafından kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır.

Dosya Transferi

3 boyutlu dilimleme yazılımında elde edilen G-kodlarının 3 boyutlu yazıcıya gönderilmesi, çıkarılabilir bellek vasıtasıyla veya kablolu/kablosuz bir ağ üzerinden gerçekleştirilebilir. Bu yüzden bir 3 boyutlu yazıcı edinmeden önce kullanım koşulları dikkate alınmalı, kart okuma, kablolu bağlantı girişi ve kablosuz ağ erişimi gibi özellikler kontrol edilmelidir.

3 Boyutlu Baskı

3 boyutlu baskı işlemine başlamadan önce yazıcının düzgün bir zemin üzerinde olduğundan ve yazdırma tablasının yuvasına oturduğundan emin olunmalıdır. Daha sonra kalibrasyon ayarı ve malzeme yükleme işlemleri yapılabilir. Dosya aktarımı işlemi tamamlandıktan sonra G-kodlarını tanıyan 3 boyutlu yazıcı gerekli sıcaklık değerine ulaştıktan sonra baskıya başlar.

Sıcaklık ayarı manuel olarak 3 boyutlu yazıcı menüsünden de yapılabilir. Baskı işlemi, kullanılan 3 boyutlu yazıcı teknolojisine göre farklılıklar gösterir ve baskı süresi değişebilir. Baskı süresi aynı zamanda belirlenen baskı hızına, malzeme yoğunluğuna, modelin geometrisi ve boyutuna, kullanılan destek miktarı ve istenilen çözünürlük seviyesine göre de farklılık gösterebilir.

Son-İşlem

Baskı işlemi bittiğinde parça 3 boyutlu yazıcı tablasından alınır ve destek yapılardan temizlenir. Destek yapıları standart ve çözülebilir olmak üzere iki çeşittir. Standart destek yapıları uygun el aletleri kullanılarak parçadan çıkartılır.

Çözülebilen destek yapıları ise suda veya malzeme için geliştirilmiş solüsyonlar içinde bekletilerek temizlenir. Destekleri alınan parçaya daha sonra istenirse zımparalama, boyama, polisaj, epoksi kaplama, dolgu, yüzey buharlaştırma gibi parçanın yüzey özelliklerini geliştirmek amacıyla son-işlem uygulamaları yapılabilir.

Eklemeli İmalat Yönteminin Kullanım Alanları

Endüstri 4.0 kavramıyla temelleri atılan eklemeli imalat yöntemleri, günümüz teknolojisiyle gelişip yaygınlaşarak, tıp, uzay ve havacılık, kalıpcılık, otomotiv, dişçilik, askeri donanım, mimari, kişisel araç-gereç, heykeltçilik, kuyumculuk, eğitim ve gıda sektörlerinin üretim alanında kullanılmaktadır.

Üretimde, insana bağlı oluşan hatalardan kaynaklı artan imalat maliyetlerini düşürmek, tasarım sürecinde kullanılan prototip ve kalıp için harcanan vakti kontrol ederek azaltmak, üretim verimliliğini arttırmak vb. gibi amaçlarla pek çok sektörde ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır.

3 Boyutlu baskı teknolojisi, bilgisayar odaklı bir üretim tekniği olması sayesinde kullanıcıya masaüstü yazıcılarla kişiselleştirilebilir kullanım imkânı da sağlamaktadır. Kişiselleştirilmiş ürün ihtiyacını karşılamasıyla özellikle sağlık sektöründeki faaliyetlerin kalitesini artırmış, kişiye özel medikal ve dental implant üretimi, yapay organ ve canlı doku baskısı gibi hayati faaliyetleri destekleyici ürünlerin yapımını kolaylaştırmıştır.

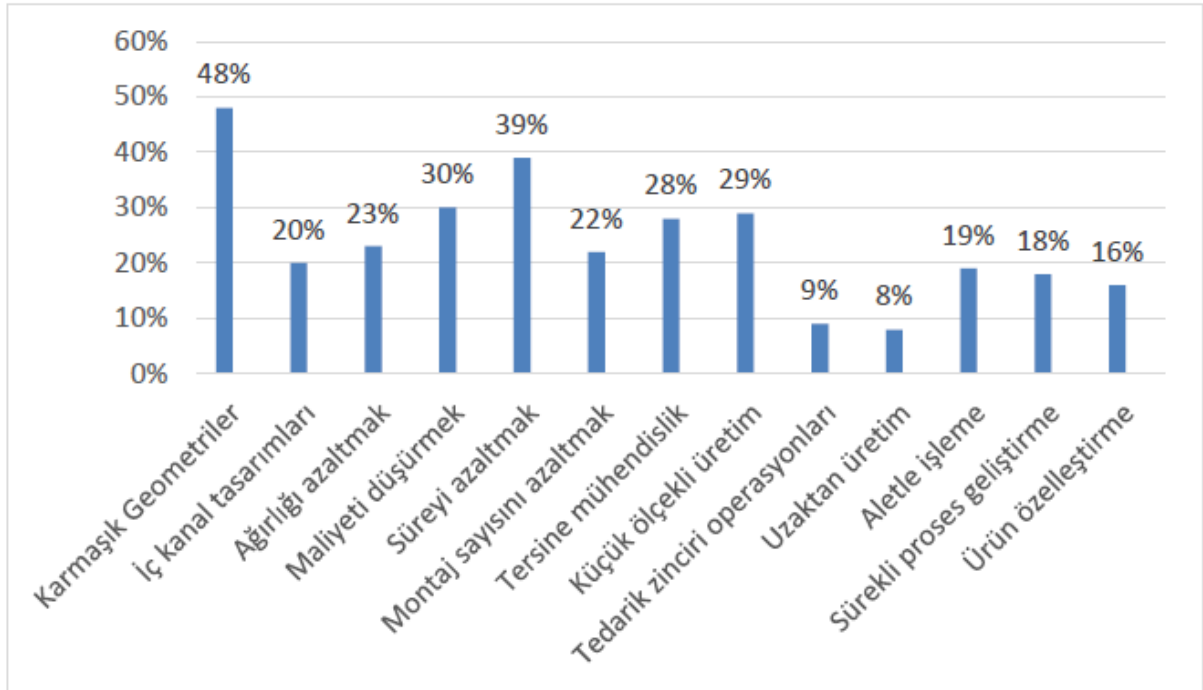
Bu bağlamda sağlık sektörü, 3 Boyutlu baskı sistemleri uygulamalarında son 15 yılda en büyük üçüncü pazar haline gelmiştir

3 Boyut teknolojisi

- Sanat, hobi, ev dekorasyonu, hediyelik eşya
- Yapı sektörü
- Havacılık sanayi
- Astronotlar için özel malzemelerin tasarımı
- Otomotiv sanayi
- Giyilebilir teknoloji ve tekstil ürünleri
- Ortopedik uygulamalar
- Spor ayakkabı tabanları
- Sağlık endüstrisi
- Protezler, Organ
- Kalıpcılık gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır.

Ürün özelleştirmeden montaj sayısını azaltmaya kadar birçok farklı amaç için kullanılan 3 boyutlu baskı teknolojilerinin en çok karmaşık serbest formlu objelerin üretimine ve kısa sürede tasarımdan üretime doğrudan geçişe olanak sağlamasından dolayı tercih edilmektedir.

Şekil 6'da kullanıcıların 3 boyutlu baskı yöntemini hangi amaçlar için tercih ettiği görülmektedir.



Şekil 6. 3 Boyutlu baskı yönteminin kullanım amaçları

Bazı üretim örnekleri aşağıda verilmiştir.



Yapay Organ Üretimi



Dental İmplant Üretimi



3 Boyutlu Medikal Protez Üretimi



3 Boyutlu Yazıcı ile Yapılan Giysi Örnekleri



Silikon Kalıp



3 Boyutlu Yazıcı ile Yapılan Pasta Süsü

Eklemeli Üretim Geleceği

Eklemeli üretim sanayi řu anda bir dönüm noktasındadır. Giderek daha fazla sayıda endüstriyel birimler bu teknolojiyi kullanmaya başlamıştır. Eklemeli üretim için malzeme ve teknoloji yelpazesi genişlemeye devam ettikçe bunu daha fazla şirketin takip etmesi beklenmektedir. Eklemeli üretim gelecekte hayatımızda daha çok rol oynayacaktır. Bu teknolojide olan gelişmeler ile birlikte malzeme ve makine fiyatlarındaki azalmalar 3 boyutlu yazıcıları evimizin bir parçası haline getirecektir.

Eklemeli üretimin gelecekte en büyük katkıyı yedek parçalar için yapacağı öngörülmektedir. Çok kritik parçalar geleneksel üretim yöntemleriyle üretilirken daha az kritik parçalar firmalarda yerel olarak eklemeli üretim yöntemleriyle üretilebilir. řu anda geleneksel yöntemlere üretilen yedek parçaların depolanma sorunu ve yavaş tedariki firmalar için büyük problem oluşturmaktadır.

şirketlerin yerel olarak eklemeli üretim teknolojileri ile üreteceği parçalar bu sorunu çözmek için en uygun senaryodur. 2030 yılına kadar toplam endüstri eklemeli üretim kapasitesinin %50'den fazlasının kurum içinde olacağı öngörülmektedir. Eklemeli üretim sayesinde, üretim ve taşımacılık sektörünün karbon ayak izleri 2030 yılına kadar büyük ölçüde azalacaktır.

2030 yılında, geleneksel olarak üretilen ürünlere karşı eklemeli üretim ile üretilen ürünlerin (ürünler, bileşenler) pazar payı, tüm sektörlerde için önemli seviyelerde olacaktır (>%10). Yakın gelecekte eklemeli üretim yöntemleriyle basılmış insan organları, bağış organları için uygulanabilir ve büyük ölçüde kullanılan bir ikame olacaktır.

Bununla birlikte eklemeli üretim teknolojisinin yaygınlaşması için üç ana alanda çaba gösterilmelidir, bunlar; maliyetlerin azaltılması, aynı parçanın geleneksel yöntemle üretimi üzerindeki eklemeli üretim teknolojisinin karşılaştırmalı faydaları ve bu faydaların meydana gelme oranıdır.

Eklemeli üretimin kendisini geleneksel üretimden farklılaştırdığını iddia ettiği avantajların daha pratik bir alternatif haline gelmesi için daha fazla araştırma yapması gerekmektedir. Fakat bu gelişmelere yönelik yeni araştırmalar, akademik ve endüstriyel ortamlar arasındaki (özellikle araştırma laboratuvarlarının ve ticari üreticilerinin arasında) geleneksel boşluklar nedeniyle yavaştır.

Kaynaklar

Özgen, İ. (2019). Endüstri 4.0'da robotik ve eklemeli üretim teknolojilerinin farklı rekabet ve üretim senaryoları altında stratejik analizi. *İstanbul Teknik Üniversitesi*.

Gökhan, Ö. Z. E. R. (2020). Eklemeli üretim teknolojileri üzerine bir derleme. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 606-621.

Sürmen, H. K. (2019). Eklemeli İmalat (3b Baskı): Teknolojiler Ve Uygulamalar. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 373-392.

Erener, ř., & Serkan, B. O. Z. (2021). Modern Üretim Tekniklerinde Eklemeli İmalat Sistemlerinin Yeri Ve Kullanım Alanları. *Turkish Journal of Fashion Design and Management*, 3(1), 47-56.