

4. EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMLERİ

Eklemeli imalat, ISO/ASTM 52900:2021 standardına göre, konvansiyonel yöntemlerin aksine genelde katman katman malzemeleri birleştirerek nesne yapma prosesi olarak tanımlanmaktadır (Yasa vd., 2024, s.1).

Üretilen nesnelerin boyutları mikroskobik ölçekten büyük binalara kadar değişebilmekte, kullanılan malzemeler ise kâğıt ve plastikten metallere ve seramiklere kadar geniş bir yelpazeye yayılmaktadır.

Eklemeli imalatın başarılı olmasının başlıca nedenlerinden biri, zor işlenebilen metaller, seramikler ve kompozitler gibi geleneksel yöntemlerle işlenmesi güç olan malzemelerden, karmaşık net veya nete yakın şekilli parçaların üretilebilmesidir. Bununla birlikte, eklemeli imalat yöntemleri genellikle temizleme, son kütleme veya yüzey işleme gibi ek üretim sonrası işlemler gerektirir.

Eklemeli imalatın diğer üretim yöntemlerine göre başlıca avantajları yeni fonksiyonlara sahip veya hafifletilmiş karmaşık geometrilerin üretilmesi, mevcut mühendislik limitlerinin üstesinden gelinmesi, yerinde ve isteğe göre imalat/tamir, düşük hacimli veya tek parçalı üretimlerin maliyet etkin hale gelmesi, birden fazla parçanın birleştirilerek tek parça olarak üretilmesi sayesinde ömür kısıtlayan kaynak veya lehim gibi birleştirme işlemlerinin ortadan kaldırılması olarak sayılabilir. Öte yandan bu imalat grubunun kısıtlayıcı yönlerine bakılırsa bitmiş ürünlerin sertifikasyonu, proses girdilerinin standartlaştırılması, tezgahtan tezgaha veya tozdan toza ürün performansında meydana gelen varyasyonlar, düşük üretim hızları ve yüksek üretim maliyetleri, teknolojilerin henüz konvansiyonel yöntemler kadar olgunlaştırılmamış olması, ArGe maliyetlerinin yüksek oluşu,, bu alanda yetişmiş kalifiye mühendis sayısının yetersizliği ve buna yönelik özel eğitim programlarının az oluşu gibi durumlardan bahsetmek gerekmektedir. (Yasa vd., 2024, s.1).

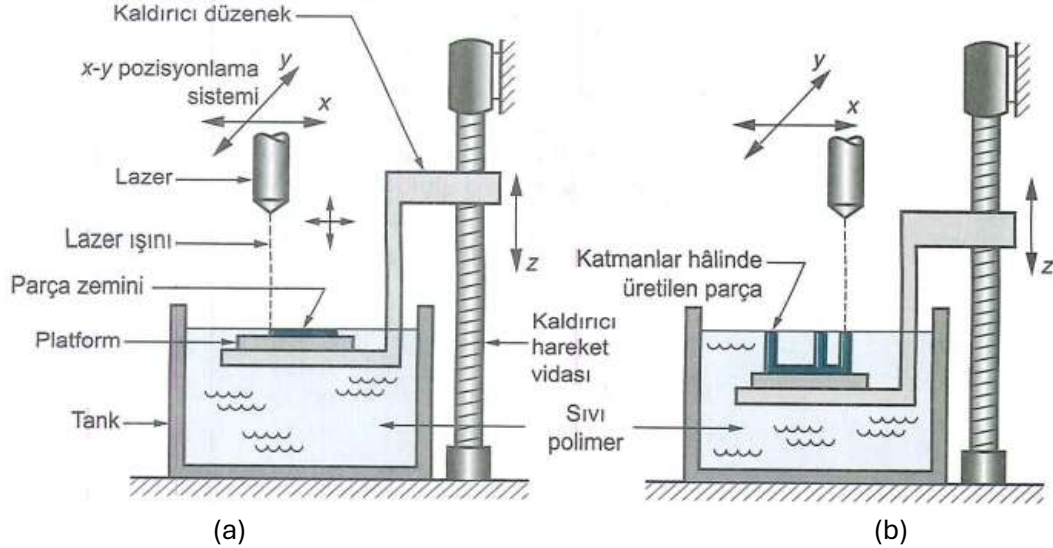
4.1 EKLEMELİ İMALAT TEKNOLOJİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Eklemeli imalat teknikleri, kullanılan ham maddeye göre üç gruba ayrılır: Sıvı esaslı, toz esaslı ve katı esaslı: Sıvı esaslı eklemeli imalat teknolojisinde sıvı formda reçineler veya polimerler kullanılır. Genellikle UV ışığı veya lazer ile sıvı malzeme sertleştirilerek katı hale getirilir. Örnek; *SLA (Stereolithography) teknolojisi*. Toz esaslı eklemeli imalat teknolojisinde metal, seramik veya polimer tozları kullanılır. Tozlar lazer, elektron ışını veya bağlayıcı ile katılaştırılarak katman katman şekillendirilir. Örnek; *SLS (Selective Laser Sintering)*, *SLM (Selective Laser Melting)*, *EBM (Electron Beam Melting)*, *BJ(Binder Jetting)* teknolojisi. Katı esaslı eklemeli imalat teknolojisinde katı formda filamentler, levhalar veya tel gibi malzemeler kullanılır. Malzeme eritilerek ya da yapıştırılarak katmanlar halinde birleştirilir. Örnek; *FDM/FFF (Fused Deposition Modeling)*, *LOM (Laminated Object Manufacturing)*

4.1.1 Stereolitografi (SLA)

Stereolitografi (SLA), fotopolimerizasyon esasına dayalı katmanlı imalat yapan en yaygın eklemeli imalat tekniğidir. Katılaşma, sıvının üst yüzeyine lazer ışığının temas etmesiyle gerçekleşen fotopolimerizasyon yoluyla sağlanır. Sıvı içerisindeki ışığa duyarlı polimerin sertleşmesi, yüzeyin 0.1 mm altına kadar sınırlıdır. Işıkla polimerleşme yalnızca parçanın kesitini temsil eden bir desenle sınırlı tutulur. Bir katman tamamen tarandıktan sonra yapı platformu sıvı

içerisine çok küçük bir mesafede aşağıya indirilir ve bir sonraki katman, ilkinin hemen üstüne taranarak uygulanır. Malzemenin kendinden yapışkanlı yapısı, katmanların birbirine bağlanmasını sağlar ve bu işlem çok sayıda tekrarlandığında, üç boyutlu bir nesne elde edilir. Bazı nesneler, üretim sırasında desteklenmesi gereken çıkıntılar ya da alt kesitler içerir. Bu destek yapıları manuel veya otomatik olarak tasarlanır ve nesneyle birlikte oluşturulur. Üretim tamamlandığında, nesne sıvıdan çıkarılır ve destek yapıları kesilerek ayrılır. Yöntem, Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 10. Stereolitografi (SLA), a) İşlem başlangıcında ilk katman platforma eklenir. Birçok katman üst üste eklenerek parça geometrisi oluşturulur (Yurdakul ve İç, 2016, s.779).

Avantajları:

- ± 0.1 mm yüksek hassasiyet ve iyi yüzey kalitesi sunar.
- Işık geçirgenliği yüksek, yarı saydam malzemeler üretilebilir.
- Süreç tamamen otomatiktir.

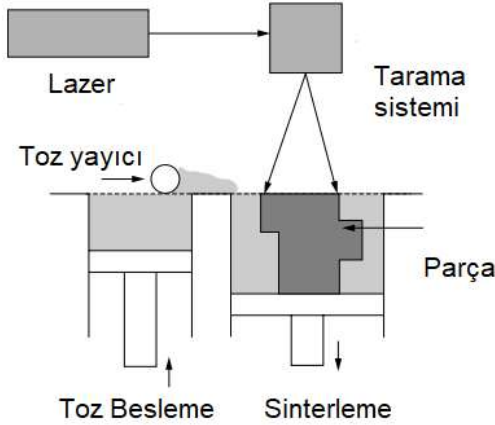
Dezavantajları:

- Kullanılabilecek malzeme çeşitliliği sınırlıdır.
- Diğer yöntemlere kıyasla maliyetlidir.
- Sıvı malzeme ile çalışmak zahmetli olabilir.
- Üretilen parçalar genellikle sonradan kütleme gerektirir.

4.1.2 Toz Yatağı Füzyon(SLS, SLM, EBM)

Toz yatağı füzyon yöntemleri, metalik ya da metal olmayan tozların birleştirilmesi için lazer, elektron veya ısı yazıcı kafası gibi bir ısı kaynağının kullanılması ile üç boyutlu parçaların üretilmesine yönelik bir tekniktir. Toz bir toz yayıcı vasıtasıyla inşa platformuna serilir. Ardından, üç boyutlu CAD model esas alınarak yönlendirilen lazer ışını veya elektron ışını, nesnenin ilk katmanının istenilen desenini toz üzerinde sinterleyerek katılaştırır. Katman katılaştıktan sonra inşa platformu aşağı indirilir, yeni bir toz tabakası serilir ve işlem tekrarlanır. Bu yöntemlerden biri olan SLS yöntemi(Şekil 11), polimer malzemeler için kullanılır ve sinterlenmiş nesnenin çevresindeki tozun taşıyıcı desteğinden faydalanır. Bu nedenle bu yöntemde çıkıntılı kısımlar için destek yapılarına ihtiyaç yoktur. Metal malzemelerde uygulanan SLM yönteminde durum farklıdır. Parça imal edilirken destek yapısına ihtiyaç vardır. Nesne tamamen oluşturulduktan sonra yapı platformu yukarı kaldırılır, fazla toz temizlenir ve gerekirse manuel bir son işlem uygulanır. Yüzey kalitesi ve hassasiyet stereolitografi kadar yüksek olmasa da elde edilen malzemelerin özellikleri

doğal hallerine oldukça yakındır. Malzeme ve teknolojiye göre prosesin gerçekleştiği ortamda koruyucu gaz(Azot gibi)) veya vakum uygulanmaktadır.



Şekil 11. Toz yatağı füzyon yöntemi (SLS) çalışma prensibi

Avantajları:

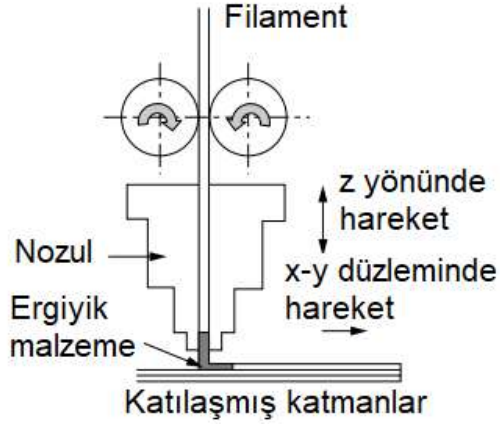
- Diğer tekniklere göre en dayanıklı bileşenleri üretir.
- Metal, plastik, seramik, balmumu, naylon, elastomer ve polikarbonat gibi geniş malzeme yelpazesıyla çalışabilir.
- Üretim süresi kısadır.
- Kurlama sonrası işlem gerektirmez(bazılarında)
- Üretim sürecinde ek destek yapısına ihtiyaç duyulmaz(bazılarında).
- Kullanılmayan toz tekrar kullanılabilir.
- Farklı parçalar üst üste üretilebilir(bazılarında)

Dezavantajları:

- Katmanlı yapıdan dolayı yüzey kalitesi düşüktür.
- Makinanın ve tozun ısıtılması ve üretilen modelin soğutulması 8–10 saat sürebilir.
- Özellikle plastiklerin sinterlenmesi sırasında toksik gazlar oluşabilir.
- Yüksek işlem sıcaklığı ve büzülme nedeniyle, detay seviyesi stereolitografiye kıyasla düşüktür.

4.1.3 Ergiyik Biriktirme Modelleme (FDM)

Ergiyik biriktirme modelleme (FDM), stereolitografiden sonra en yaygın kullanılan eklemeli imalat teknolojisidir. Bu yöntem, katman üretiminde lazer kullanmaması bakımından diğer yöntemlerden ayrılır. Bunun yerine, yarı sıvı hale getirilmiş model malzemesi, bir nozuldan doğrudan uygulanır. Dayanıklı plastik parçalar üretilecekse FDM tercih edilen bir yöntemdir. Yöntem termoplastik filamentin katman katman uygulanmasıyla modeli oluşturur. Filament, bir makara üzerinden çözülerek ekstrüzyon nozuluna iletilir. Isıtılmış başlıktan geçen filament erir ve nozuldan ince bir şerit olarak çıkar. Dilimleme ve iş dosyası hazırlama yazılımı, CAD dosyasını dilimler ve iş dosyasını hazırlar. Her katman ince bir eriyik tabakası olarak yerleştirilir. Model, tabanından yukarı doğru inşa edilir ve tek bir aşamada, üç boyutlu model üretilir. Yeni nesil FDM sistemleri, biri modelleme malzemesi diğeri destek yapısı için olmak üzere iki ekstrüzyon başlığına sahiptir. Nozul, x, y, z yönlerinde hareket ettirilerek her katmanı oluşturacak şekilde plastik bir şerit bırakır. Plastik malzeme, nozuldan çıktıktan hemen sonra katılaşır ve alttaki katmana yapışır. Tüm sistem, plastik malzemenin erime noktasının hemen altındaki bir sıcaklıkta tutulan bir hazne içinde çalışır (Şekil 12).



şekil 12. Ergiyik Biriktirme Modelleme(FDM) Çalışma Prensibi

Avantajları:

- Sessiz, toksik olmayan ve ofis ortamına uygundur.
- Küçük ve ince yapılar için hızlıdır.
- Dayanıklı parçalar üretir.
- Maliyet açısından uygundur.
- Parça temizliğı gerektirmez.
- Renkli ABS kullanılarak çok renkli parçalar üretilebilir.

Dezavantajları:

- Geniş kesitli parçaların üretiminde yavaştır.
- Ek destek malzemesi kullanılmalıdır.
- Göreceli olarak düşük hassasiyet ve zayıf yüzey kalitesi vardır.
- Karmaşık parçaların üretimi zordur.
- Kullanılabilecek malzeme sayısı sınırlıdır.