

# Döküm Süreçlerinde Üç Boyutlu Yazıcılarla Hızlı Prototipleme

Geleneksel üretim yöntemlerine bir alternatif olarak son yıllarda ortaya çıkan eklemeli üretim yöntemleri, özellikle hızlı prototipleme alanında çalışan firmaların büyük ilgisiyle karşılandı.



Arda ÇETİN | Ekstrametal, Ankara, Türkiye

## ÖZET

Geleneksel üretim yöntemlerine bir alternatif olarak son yıllarda ortaya çıkan eklemeli üretim yöntemleri, özellikle hızlı prototipleme alanında çalışan firmaların büyük ilgisiyle karşılandı. Prototip üretimine ek olarak düşük hacimde parça tedarik etmek isteyen müşterilerin ihtiyaçlarına da cevap sunabilecek bir yöntem olarak kendini ispatlayan eklemeli üretim yöntemleri, yüksek hacimli parça tedarigi konusunda geleneksel imalat yöntemlerinin hızına yetişme konusunda oldukça geride kalıyor. Bu makale, farklı eklemeli üretim yöntemlerinin genel bir değerlendirmesi yanında, özellikle döküm sektörü için ilginç bir konu olan, üç boyutlu (3B) kum yazıcıların sağladığı olanakların ve sınırlamaların genel çerçevesini sunmayı amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Prototipleme; 3B Yazıcı, Döküm.

## 1. GİRİŞ

Geleneksel talaşlı imalat yöntemleriyle bir parça üretmek istediğinizde, arzu edilen geometriden daha büyük ölçülerdeki bir parçayı alıp, adım adım fazlalıklarını traşlayarak parçaya son şeklini vermeniz gerekir. Tıpkı bir heykeltıraşın büyük bir taş parçasını yontarak ortaya bir heykel çıkarması gibi. Bu şekilde gerçekleştirilen imalat yöntemlerini genel olarak “çı-karmalı üretim” (subtractive manufacturing) yöntemleri olarak adlandırıyoruz. Çünkü parçaya son şeklini verebilmek için, fazlalıkları çıkarmanız gerekiyor.

Son yıllarda, çıkarmalı yöntemlerden farklı bir üretim anlayışının yavaş yavaş sanayide kendine yer bulmaya başladığını görüyoruz. “Eklemeli üretim” (additive manufacturing) yöntemleri adıyla sınıflandırılan bu üretim tekniklerinde, adından da anlaşılacağı gibi, üretilmek istenen parça malzemenin birbirine eklenmesiyle ya da üst üste yığılmasıyla elde ediliyor. Yani bu sefer gereksiz parçaları çıkarmak yerine, malzemenin katmanlar halinde üst üste yığılmasıyla, sıfırdan son ürünün ortaya çıkması sağlanıyor. Bu şekilde gerçekleştirilen üretimlere, üç boyutlu bir parçanın yoktan “yazdırılıyor” olması nedeniyle, üç boyutlu (3B) yazdırma (3D printing) adı da veriliyor.



Şekil 1

Minyatür heykelcik baskısı yapan bir üç boyutlu yazıcı [1].

## 2. 3B YAZICILARDA KULLANILAN MALZEMELERE GENEL BAKIŞ

3B yazıcılarda kullanılan malzeme tercihleri, doğal olarak yazdırma teknolojisine bağlı olarak değişiklik gösteriyor. Birçok yazdırma teknolojisinde ısı, ışık, lazer ya da farklı bir enerji kaynağı sayesinde yazdırılacak malzemenin bir platform üzerine eritilerek yığıldığını ya da sinterlenerek eklendiğini görüyoruz [2]. 3B yazıcılardaki bu teknoloji ve malzeme evliliğinin doğal sonucu olarak, yazdırılabilen malzemelerin çeşitliliği ve üretim teknolojilerinin sınırları, büyük ölçüde malzeme biliminin sınırları doğrultusunda şekilleniyor.

Günümüzdeki teknolojileri değerlendirdiğimizde, üç boyutlu yazıcıların en yaygın olarak polimer tabanlı plastik malzemelerle üretim yapılırken kullanıldıklarını görüyoruz [3]. Polimer tabanlı malzemeler kullanılarak yazdırma işlemi yapılırken, kullanılan birkaç farklı üretim tekniği bulunuyor: En yaygın olarak kullanılan yöntemde, incecik, iplik yapısında polimer bir elyaf, bir enjektör içinde ısıtılıp eritildikten sonra, tıpkı diş macununu diş fırçasının üzerine sıkar gibi, bir platform üzerine yerleştiriliyor. Polimeri sıkın enjektörün ağzının sayısal kontrol sağlayan bir sistemle hem yatay, hem de dikey yönde hareket edebilmesi sayesinde, yazıcı malzemeyi ilk olarak yan yana, ardından üst üste yığarak üç boyutlu parçayı ortaya çıkarıyor. 1990 yılında Stratasys adındaki bir şirket tarafından ticari olarak üretilen ve patenti alınan bu teknolojinin patent süresinin dolması nedeniyle, bugün bu şekilde üretim yapabilen cihazların açık kaynak bilgilerine kolaylıkla ulaşabiliyoruz.

Yazdırma işlemi aynı zamanda toz yapısındaki malzemelerin sinterlenmesiyle de gerçekleştirilebiliyor. Genellikle metal ve seramik parçaları üretmek için kullanılan bu yöntem, aynı zamanda polimer parçaların üretimine de olanak sağlıyor. Bu teknikte, üretilecek olan parçanın modeli bilgisayar ortamında ince kesitler halinde doğandıktan sonra, yukarı aşağı hareket edebilen bir platform üzerine toz yapısındaki malzeme seriliyor. Ardından, karbon dioksit lazeri gibi, çok yüksek güce sahip bir lazer ile, en alttaki kesitin yapısını ortaya çıkartacak şekilde platform üzerindeki tozlar taranarak, birbirlerine kaynaşmaları sağlanıyor. En alt katman bu şekilde ortaya çıktıktan sonra, platform aşağı doğru hareket ediyor ve bir üstteki kesiti oluşturmak için tozlar yeniden seriliyor. Bu katman da lazerle kaynaştırdıktan sonra, piston tekrar aşağı iniyor ve prosesin bu şekilde, aynı adımlarla devam etmesi sonucunda parça üretilmiş oluyor. Bu üretim yöntemine aynı zamanda seçmeli lazer sinterlemesi (selective laser sintering, ya da kısaca SLS) adı da veriliyor.

Üç boyutlu yazıcılar kum kalıp yazdırma amacıyla da kullanılabilir. Bu konu bir sonraki kısımda ayrıntılı olarak ele alınacağı için, burada üzerinde durmayacağız. Ancak şunu belirtmek önemli: Bu yöntemi dökümcüler için enteresan kılan şey, yazılan malzemenin nihayetinde bir kalıp olması. Reçineli bağlayıcılarla üretilen kalıplar içine metal yazdırma yöntemleriyle (henüz) üretilmeyen (yakın gelecekte de üretilmesi pek kolay görünmeyen) dökme demir gibi alaşımların da döküle-

biliyor olması sayesinde, bu alaşımlar da hızlı prototipleme kapsamında değerlendirilebilir duruma geldi. Bu son nokta, kum kalıp yazdırma prosesinin en önemli tarafı olarak dikkate alınabilir.

### 3. ÜÇ BOYUTLU YAZICILARLA KALIP ÜRETİMİ

Çok uzak olmayan bir geçmişte teknolojik bir hayal gibi bakılan ve uygulama alanları konusunda kafa karışıklıkları bulunan üç boyutlu yazıcılar, döküm sektörü içinde kendilerine bir yer bulmaya başladı. Bu giriş, aslında bir açıdan beklenmedik bir şekilde gerçekleşti: Çünkü esas olarak parça üretmek için tasarlanan bu teknoloji, döküm sektöründe parçanın yazdırılması için değil, parçanın içine döküleceği kalıbın ve maçaların yapımı için kullanılıyor.

Kalıp yerine parçanın üretimini mümkün kılan, önceki paragraflarda örneklerini verdiğimiz teknolojiler de var. Fakat bu teknolojilerin günümüzdeki üretim hızı, döküm sektörünün ihtiyaçlarına cevap verebilecek kapasitenin oldukça altında: Modern ve büyük bir dökümhane saatte 25-30 ton gibi üretim kapasitelerine ulaşabilirken, örneğin seçmeli lazer sinterlemesi (SLS) yapabilen üç boyutlu yazıcılar bu üretim kapasitesinin oldukça altında kalıyorlar. Bu teknolojiler, bir gün bu yüksek üretim hacimlerini yakalayacak noktaya ulaşabilir. Fakat bugün görünen resme bakacak olursak, bu durum çok yakın bir gelecekte gerçekleşebileceği gibi görünmüyor.

Dökümhane üretimi açısından değerlendirildiğinde, kalıp yazdırın üç boyutlu yazıcıların en önemli avantajının, model ya da maça sandığı ihtiyacını ortadan kaldırmaları olduğunu söyleyebiliriz. Oldukça karmaşık şekle sahip maçalar, hiç maça sandığına gerek kalmadan, sadece CAD verileri kullanılarak direkt olarak kullanıma hazır şekilde üretiliyor. Reçineli bağlayıcı sistemlerin kullanılması sayesinde ısıtmaya ya da gaz geçirmeye gerek kalmadan, hızlı bir şekilde kullanıma hazır kalıp ve maçaların üretilmesi mümkün hale geliyor.

Model ve maça sandıklarına bağımlılığı ortadan kaldırması nedeniyle, bu teknolojinin özellikle prototip üretimine odaklanan dökümhanelere önemli bir katkı sağlayacağı açıkça görülebilir. Çünkü bu yöntem sayesinde, büyük ve karmaşık bir maçanın ya da kalıbın tasarımını yapar yapmaz maça ve kalıp üretimine geçebilmeniz mümkün. Sandık



## Şekil 2

Geleneksel kalıplama süreci ile 3B yazıcı ile kalıp üretim süreci adımlarının kıyaslaması.

ve model yapımını gerektiren geleneksel maça üretimi ve kalıplama yöntemlerinde ise böyle bir durumun söz konusu olabilmesi mümkün değil. Buna ek olarak, üç boyutlu yazıcıların maça sandıklarının getirdiği kısıtlamaları da büyük ölçüde ortadan kaldırması sayesinde, geleneksel yöntemlerle üretilmesi mümkün olmayan maçalar üç boyutlu yazıcılarla hızlı bir şekilde üretiliyor.

Bu proses temel olarak binder jet teknolojisine dayanıyor [4]. Kalıbın ana malzemesi olan kum parçacıkları öncelikle aktivatör ile karıştırılıyor. Aktive edilmiş durumdaki kum bir platform üzerine serildikten sonra, yazıcı kafası kalıbı kesit kesit yazdıracak şekilde, sadece kalıbı ortaya çıkarmak amacıyla ilgili yerlere bağlayıcı ekliyor. Bağlayıcıyla aktivatörün bir araya gelmesi neticesinde ilk katmanda küreleşme başlarken, platformu üzerine ikinci kat kum yığılıyor. Proses tüm kalıp katman katman ortaya çıkana kadar bu şekilde devam ediyor. Kalıbın yazdırılması tamamlandıktan sonra bağlayıcı ile temas etmeyen kum temizleniyor ve kalıp son halini alıyor.

## 4. 3B KUM KALIP YAZICILARIN DÖKÜM SEKTÖRÜNE SAĞLADIĞI FIRSATLAR

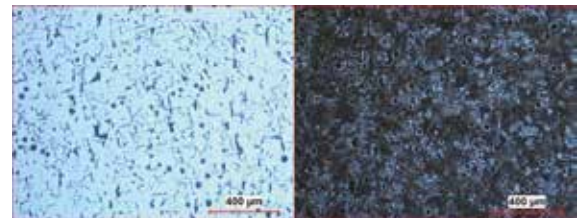
Üç boyutlu yazıcılar her ne kadar ilk aşamada döküm sektörüne rakip olabilecek bir teknoloji gibi algılanmış olsa da, kum kalıp/maça yazıcılarının ortaya çıkması sonrasında bu teknolojinin döküm sektörü için aslında oldukça önemli fırsatlar sağlayabileceği fark edildi. Bu fırsatlar aşağıdaki maddelerde teker teker ele alınacaktır.

### 4.1. Malzeme seçimlerinin geleneksel döküm alaşımlarıyla uyumu

Metal ve alaşımları yazdırmak için kullanılan ve önceki kısımlarda kısa bir derlemesi sunulan teknolojilerin önemli bir kısıtlaması bulunuyor: Malzeme çeşitliliği.

Örneğin seçmeli lazer sinterlemesi (SLS) gibi bir teknoloji kullanılmak istenildiğinde, parça metal tozlarının sinterlenmesiyle üretileceği için, her şeyden önce toz olarak üretilen bir alaşımın kullanılması gerekiyor. Dolayısıyla, tasarımcıların toz metalürjisiyle üretilen alaşımlarla kısıtlanmış bir malzeme yelpazesi içinden seçim yapmaları gerekiyor.

Ancak sıvı metal dökümünü mümkün kılan kalıp yazdırma teknolojisi sayesinde, bu kısıtlama ortadan kalkıyor: Hazırlanan kalıp içerisine dökme demir gibi toz metalürjisi yöntemleriyle üretimi zor olan ya da mümkün olmayan alaşımlar rahatlıkla dökülebiliyor. Bu avantaj sayesinde, konvansiyonel döküm alaşımları da artık hızlı prototipleme kapsamına değerlendirilebiliyor. Bir örnek: Küresel (sfero) ve lamel grafitli (gri) dökme demir arasında bir geçiş yapısı olarak kabul edilen ve üretimi oldukça sağlam bir süreç hakimiyeti gerektiren vermiküler grafitli dökme demirleri atomizasyon gibi geleneksel yöntemlerle toz formunda üretmek mümkün olmadığı için, toz sinterlemesine dayalı SLS gibi yöntemlerle bu malzemeden hızlı prototip üretimi mümkün olamıyor. Ancak, 3B yazdırma ve geleneksel üretim yöntemlerinin bir hibriti olarak değerlendirilebileceğimiz kum kalıp yazdırma ve döküm evliliği sayesinde, bu tür malzemeler de hızlı prototipleme süreçlerinde değerlendirilebiliyor. Buna ek olarak, seri üretim için tercih edilen malzeme seçiminin prototip sürecinde de aynı şekilde kullanılması gerekeceği için, kalıp yazdırma yöntemi döküm alıcıları için de uygun bir prototipleme tercihi olarak görünüyor. Bu yöntemle üretilen alaşımların standartlar çerçevesinde tanımlanmış geleneksel alaşımlar olması sayesinde, döküm alıcısı firmaların döküm alımlarında kullanılan standartların dışına çıkmalarına ve belirsizlik yaşamalarına da gerek kalmıyor.



## Şekil 3

Şekil 3. Sadece döküm yöntemiyle üretilen (a) ferritik ve (b) perlitik yapıdaki vermiküler grafitli dökme demirler, 3B kum kalıp yazıcılar sayesinde hızlı prototipleme süreçlerinde kullanılabilir.

### 4.2. Simültane mühendislik çalışmaları açısından fırsatlar

Geleneksel döküm yöntemlerinde model ve maça sandıklarının kullanılıyor olması, bir açıdan tasarımcı ve

üretici arasına bir engel koyuyor: Üreticinin döküm yapabilmek için kullanması gereken model ve sandıkların yüksek maliyeti nedeniyle, bu bileşenler bir defa üretildikten sonra, tasarımsal varyasyonlar için sürekli olarak elden geçirilmeleri mümkün olmuyor. Bunun doğal sonucu olarak tasarımcı ve üretici birbirlerinden ayrı çalışmak durumunda kalıyor. Tasarımcı ancak parçanın nihai tasarımını tamamladıktan sonra üreticiye gerekli bilgileri aktarıyor. Üretici bu noktadan sonra devreye giriyor, kendine iletilen bilgiler üzerinden model ve sandık üretimini yaparak döküm sürecine geçiyor.

Bu bariyerin kalkması ve iki tarafın bir işbirliği çerçevesinde çalışabilmesi, sadece üç boyutlu yazıcılarla mümkün olabilecek bir şey değil elbette: Döküm üreticisinin müşterisine mühendislik ayağında da gerekli desteği verebilmesi gerekiyor. Fakat üç boyutlu yazıcı teknolojisine sahip olan bir dökümhane için, döküm alıcısı firmayla önemli bir partnerlik şansı doğuyor. Bu sadece prototipleme aşaması için geçerli bir düşünce değil: Seride dökülen mevcut parçalarda bazı tasarımsal iyileştirilmelerin yapılması gibi durumlarda, döküm alıcısı firmaların tasarımcıları garantici bir yaklaşımla muhafazakâr davranabiliyor. Örneğin seri üretimi devam eden bir parçanın ağırlığını azaltmak için kesit kalınlığının inceltilmesi denenecekse, bunun mümkün olabilmesi için modelin ve maça sandıklarının da revize edilmesi, hatta mevcut seri üretimin bu denemeden zarar görmemesi için bu bileşenlerin tekrar üretilmesi gerekiyor. Ancak 3B yazıcılarla üretilen kum kalıplar sayesinde bu tür denemeler minimum maliyetle ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebiliyor. Tasarımcıların bu tür durumlarda daha yenilikçi ve cesur davranabilmelerini kolaylaştırmak açısından, 3B kum yazıcıların kullanılması, dökümhanelerin müşterisiyle bir çözüm ortaklığı çerçevesinde çalışmalarını açısından önemli bir avantaj sağlıyor.

### 4.3. Tasarım çeşitliliği ve esnek üretim fırsatları

Döküm ya da dövme gibi geleneksel yöntemler doğaları gereği bazı kısıtlamalar barındırıyorlar. Üç boyutlu yazıcıların sunduğu olanaklar sayesinde, tasarımcılar geleneksel yöntemlerle üretilmesi mümkün olmayan tasarımlara yönelebiliyorlar. Aynı zamanda model ya da maça sandığı gibi yatırımların da yapılmaması nedeniyle, doğal olarak tasarımsal açıdan daha geniş yelpazede değerlendirme gereken bir ürün çeşitliliğinin ortaya çıkması sağlanabiliyor.

Müşteri talebi doğrultusunda ürün çeşitliliğinin artacak olması, tek bir model üzerinden büyük tonajlarla üretim yapmak yerine, artık aynı parçanın farklı yöntemlerle üretilen çeşitli varyasyonlarının olduğu bir tasarım ve üretim anlayışının yavaş yavaş yerleşebileceğinin sinyallerini veriyor. O nedenle dökümhanelerin yüksek tonaj ile ciro arttırmaya çalışmak yerine, artık mühendislik hizmetlerine

ağırlık vermeye başladığı, döküm alıcısı firmaların tasarım ekibiyle birlikte çalışan bir mühendislik ekibine sahip olmaları gereken bir sürece girdiğimizi anlayabiliyoruz.

Tabii bu tür bir anlayışı benimseyebilmek için, döküm alıcısının farklı taleplerine yanıt sunabilecek, esnek bir üretim anlayışının dökümhaneler tarafından benimsenmesi gerekiyor. Benzer bir ifadeyi, Amerikan Dökümcüler Derneği (AFS) başkanı Patricio Gil ile yapılan bir röportajda da görebiliyoruz [5]:

“Artık pasif dökümhane yok. Geleceğin dökümhanesinin müşteri ile birlikte çalışması, tasarımsal çözümler yanında hem hacim, hem malzeme, hem de katma değer yaratan operasyonlar açısından üretim esnekliği sunabilmesi gerekiyor.”

## 5. SONUÇ

Yukarıda anlatılanların işaret ettiği gelecek vizyonu, sadece 3B yazıcılar açısından değil, diğer üretim teknolojileri açısından da döküm sektörünün geleceğinin nasıl şekilleneceğine dair bazı mesajlar içeriyor: Döküm sektöründe uzun seri döken dökümhaneler için elbette her zaman yer olacak. Fakat bir yandan da butik bir anlayışla çalışan, müşterinin esnek taleplerine esnek bir üretim anlayışıyla cevap verecek, klasik anlamda bir döküm tedarikçisi olmak yerine bir çözüm ortağı olarak çalışabilecek firmalara yönelik talebin de artacağını anlıyoruz. Sadece uzun seri ve yüksek tonaj odaklı olmak yerine, mühendislik hizmetleri de sunabilen, müşterisiyle bir çözüm ortağı olarak çalışabilen, simültane mühendislik çalışmalarına rol alıp, müşterinin ürün geliştirme sürecine dahil olarak çalışan firmalar için fırsatların olduğu bir sürecin kapılarını aralamış durumdayız.

## 6. KAYNAKÇA

1. S. Antoniow, “Content developer in the contemporary science team, looks at the creation of a new exhibition on 3D printing”, Science Museum internet sitesi: (<https://blog.sciencemuseum.org.uk/3d-printing-an-explosion-of-creativity/>).
2. F.W. Baumann, D. Roller, “Additive manufacturing, cloud based printing and associated services – Overview”, Journal of Manufacturing and Materials Processing, 1, 15, 2017, p. 1.
3. A. Pandian, C. Belavek, “A review of recent trends and challenges in 3D printing”, Proceedings of the 2016 ASEE North Central Section Conference, American Society for Engineering Education, 2016, p. 1.
4. D. Snelling, H. Blount, C. Forman, K. Ramsburg, A. Wentzel, C. Williams, A. Druschitz, “The effects of 3D printed molds on metal castings” Proceedings of the International Solid Freeform Fabrication Symposium, Teksas, ABD, 2013, pp. 827-845.
5. “Interview with Patricio Gil, CEO of Blackhawk Mexico and new president of AFS”, Global Casting Magazine, Eylül 2017 (<https://bit.ly/2v4EnnX>).