Journal of International Architectural Sciences
JIASR, 2024, 1 (1): 12-36
e-ISSN: 3062-1399
Research Article
https://mimarlikbilimleri.com/ojs/index.php/architecturalsciences
E-mail: architecturalsciences@gmail.com

3 Boyutlu Yazıcılarla Yapı Üretimi; Betonarme Duvarlı ve Betonarme Taşıyıcılı Bina Örnekleri ve Öneri Geliştirilmesi

Berrin ŞAHİN DİRİ *, Sultan YILDIZ

ORCID 1: 0009-0009-6436-2549
ORCID 2: 0009-0000-1714-7939
[1] *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, FBE, 34421, İstanbul, Türkiye.*
[2] *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, FBE, 34421, İstanbul, Türkiye.*
** e-mail: berrinsahindiri@outlook.com*

Öz

Teknolojik gelişmelerle birlikte 3 boyutlu yazıcıların gelişimi ve kullanımı her alanda artmıştır. İlk olarak obje basımı ile başlayan teknolojik gelişmeler tıp, eğitim ve mühendislik alanlarında da gerçekleşmeye başlamıştır. Önceleri küçük objelerin basılmasıyla başlayan süreç insan kemikleri yerine kullanılacak elemanların üretimine kadar uzanmıştır. İnşaat sektöründe de çok yaygın olmasa da 3 boyutlu yazıcılar kullanılmaya başlanmış ve köprü, konut, belediye binası gibi tek ve çok katlı binalar çeşitli yazma teknikleriyle basılmıştır. Bu yazma teknikleri halen gelişmekte olsa da henüz donatılı betonarme yapıların beton ve çeliği aynı anda basacağı 3 boyutlu yazıcılar gelişmiş değildir. Bu makalede inşaat sektöründeki gelişmesi hızla devam eden 3 boyutlu yazıcı teknolojisi ile betonarme binaların basım teknikleri irdelenmiş ve betonarme binaların taşıyıcı sisteminde yer alan donatı ve betonun beraber basılma imkanları araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: *3 Boyutlu baskı teknolojileri, 3 boyutlu yazıcılarla bina yapım yöntemleri, Betonarme yapılar.*

Building Production with 3D Printers; Steel Reinforced Concrete Wall Building Examples and Proposal Development

Abstract

With technological developments, the development and use of 3D printers has increased in every field. Technological developments that first started with object printing have also started to take place in the fields of medicine, education and engineering. The process that started with the printing of small objects has extended to the production of elements to be used instead of human bones. Although not very common in the construction sector, 3D printers have started to be used and single and multi-storey buildings such as bridges, residences and municipal buildings have been printed with various printing techniques. Although these printing techniques are still developing, 3D printers that will print concrete and steel of reinforced concrete structures at the same time have not yet been developed. In this article, the printing techniques of reinforced concrete buildings with 3D printer technology, which is rapidly developing in the construction sector, have been examined and the possibilities of printing the reinforcement and concrete in the carrier system of reinforced concrete buildings together have been investigated.

Keywords: *3D printing technologies, Building construction methods with 3D printers, Reinforced concrete structures.*

Citation: Şahin Diri, B. & Yıldız, S. (2024). 3 boyutlu yazıcılarla yapı üretimi; betonarme duvarlı bina örnekleri ve öneri geliştirilmesi. *Journal of International Architectural Sciences*. 1 (1): 12-36.

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.14563671

Received: *December 01, 2024* – ***Accepted:*** *December 28, 2024*

1. Giriş

Günümüzdeki teknolojik ilerleme ve gelişmelerle birlikle 3 boyutlu yazıcılar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1980'lerde başlayan 3 boyutlu yazıcı serüveni hala devam etmektedir. Bu sistemde önce basılmak istenen objenin elektronik ortamda modeli oluşturulmaktadır. Yazıcılara paralel olarak bu bilgisayar programları da gelişmiş çok yönlü eğrilikli yüzey basımı, ince detaylı ve renkli objeler basılmaya başlanmıştır. Oluşturulan dijital model 3 boyutlu yazıcıya aktarılmakta ve yazıcı objenin basımında kullanılacak olan hammaddeyi ince katmanlar halinde basarak objeyi oluşturmaktadır. Öncelikle günlük hayatta kullanılan küçük objelerin üretimi için kullanılan Gelişen teknolojilerle birlikte 3 boyutlu yazıcılar mimari ve mühendislik projelerinde de kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanda 3 boyutlu yazıcıların kullanımının avantajları, yapı inşa aşamasında ortaya çıkabilecek sorunların önceden tespit edilebilmesi ve gerekli tasarım değişikliklerinin inşaat başlamadan kolayca yapılabilmesidir.

1.1. Üç Boyutlu Yazıcılarla Baskı

Uzun yıllardır elektronik ortamda modellenen nesneler üç boyutlu yazıcılar kullanılarak üretilebilmektedir. İlk 3 boyutlu yazıcı 1938 yılında icat edilmiştir ve pahalı, karmaşık bir sisteme sahiptir. Gelişen teknolojiyle birlikte 3 boyutlu yazıcılar tıp, otomotiv, havacılık vb. farklı endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. 3 Boyutlu yazıcı ile üretilen ilk mimari yapı 2014 yılında inşa edilmiştir (Felek, 2019). Bu teknik ile obje üretimi tarihsel süreç içerisinde yeni yöntemler ve teknikler geliştirilerek farklı alanlarda kullanılmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Yakın tarihimizde 3 boyutlu yazıcılardaki ilerlemeler (Çizelge (Çelik ve Çetinkaya, 2016) ve (Akbaba ve Akbulut, 2021) kaynakları kullanılarak yeniden oluşturulmuştur).

1984	Charles Hull tarafından SLA teknolojisi kullanan ilk 3 boyutlu yazıcı üretildi.
1986	İlk 3 boyutlu yazıcı şirketi olan 3D Systems kuruldu ve ilk ticari 3 boyutlu yazıcı geliştirildi. Charles Hull Stereolithografi yönteminin kullanım hakkını aldı.
1988	3D Systems tarafından ilk 3 boyutlu yazıcı modeli olan SLA 250 tanıtıldı. Selective Laser Sintering (SLS) ve Fused Deposition Modelling (FDM) teknolojileri keşfedildi.
1989	Scott ve Lisa Crump Stratasys adlı 3 boyutlu yazıcı firması kuruldu.
1991	Helisys firması tarafından ilk 3 boyutlu imalat sistemi satıldı.
1992	Stratasys firmasi ilk FMD cihazını sattı.
1993	Mürekkep püskürtmeli bir cihaz üretme amacı ile Solidscape adlı firma kuruldu. 2 boyutlu yazıcılardaki mürekkep püskürtme yöntemini kullanan 3 boyutlu obje üretme kullanım hakkı Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından alındı. SLS ve FDM teknolojileri ile ilk renkli baskılar bu yazıcılardan elde edildi.
1995	3 boyutlu yazıcı satışına başlandı.
1996	Z Corporation yüksek çözünürlüğe sahip ürünler üretebilen ilk yazıcıyı tasarladı. Z Corporation 'Genisys' modelini piyasaya sürdü. 3D Systems 'Actau2100' modelini piyasaya sürdü. 3 boyutlu yazıcı kelimesi ilk defa kullanılmaya başlandı.
2007	3 boyutlu yazıcılar 3D Systems firması tarafından ilk defa 10.000$'ın altında pazara sunuldu.
2008	Kendi parçalarının %50'sini üretebilen ilk 3 boyutlu yazıcı versiyonu "Reprap" tamamlandı.
2009	Makertbot ve 3D Systems'in geliştirdiği modeller ile ev tipi 3 boyutlu yazıcı sayısı arttı.
2011	Dünyada ilk defa 3 boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen uçak Southampton Üniversitesi tarafından tasarlandı.
2012	Daha az komplikasyonlu kişiselleştirilmiş eklem protezi 3 boyutlu yazıcı teknolojisi ile geliştirildi.
2014	Uzayda ilk 3 boyutlu yazıcı kullanıldı. Deneme amaçlı küçük parçalar ve el eşyaları basıldı.
2015	NASA uzayda 3 boyutlu yazıcı kullanarak üretim yapmaya başladı.
2016	Adidas 3 boyutlu yazıcı ile ayakkabı tabanı üretileceğini açıkladı. New Balance, tabanını 3 boyutlu yazıcı ile ürettiği ayakkabıları piyasaya sürdü.

1.2. Prototip Obje Basımı

Üç boyutlu yazıcılar ile obje basımında beş farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar SLA (Stereolithography- Reçine Kürleme Teknolojisi), DLP (Digital Light Processing- Dijital Işık İşleme), SLS (Selective Laser Sıntering- Seçici Lazer Sinterleme), FDM (Fused Deposition Modeling- Eriyik Malzeme Şekillendirme), LOM (Laminated Object Manufacturing- Lamine Nesne Üretimi) tekniklerdir.

1.2.1. SLA-Stereolitografi-Reçine kürleme teknolojisi

1983 yılında Charles W. Hull tarafından UV ışını ile masa kaplamalarının serleştirilmesi fikrinden yola çıkılarak ilk 3 boyutlu yazıcı Streolitografi teknolojisi geliştirilmiştir. SLA teknolojisi ile hassas ve karmaşık geometriye sahip nesneler üretilebilmektedir. Bu teknoloji tıp, otomotiv, uçak endüstrisi, sanat ve tasarım alanları gibi çeşitli meslek kollarında obje üretiminde kullanılmaktadır. SLA yönteminde üç boyutlu yazıcı, baskı maddesi olan sıvı reçineyi ince katmanlar halinde basmaktadır. İnce katmanlar halinde üst üste basılan sıvı reçine katmanları UV ışını ile sertleştirilmektedir (Felek, 2019).

1.2.2. DLP-Dijital ışık işleme teknolojisi

DLP sıvı reçine ile baskı alma yöntemidir ve yüksek çözünürlüklü mikro boyutta obje basımı için kullanılmaktadır. DLP yönteminde saydam reçineye milyonlarca optik UV ışını gönderilerek tüm reçine katmanı bir kerede sertleştirilmekte ve SLA yöntemine göre daha hızlı obje basılmaktadır. Bu yöntemde geleneksel ışık kaynağı olan ark lambası, deforme olan ayna ve sıvı kristal ekran paneli kullanılmaktadır. (Mu ve diğerleri, 2017) DLP yöntemi ile insan kulağının formu gibi karmaşık yapıya sahip objeler yüksek çözünürlükte üretilebilmektedir (Tümer, 2020).

1.2.3. SLS-Seçici lazer sinterleme teknolojisi

SLS, 1980 yılında Dr. Carl Deckard, Austin ve Dr. Joe Beaman tarafından, DARPA şirketi sponsorluğunda geliştirilerek patenti alınan bir yöntemdir. Bu yöntemde baskı malzemesi olarak yüksek mukavemet ve esnekliğe sahip naylon polistiren malzeme kullanılmaktadır (Url-1, 2024). SLS yönteminde 3 boyutlu yazıcının lazer başlığı granül toz katman üzerinde hızla ışımalar yaparak hareket etmekte ve malzeme tozlarını eriterek (sinterleyerek) birbirine yapıştırmaktadır. Model basımı tamamlandığında fazla olan toz hammadde temizlenmekte ve artan hammadde geri dönüştürülebilmektedir (Wadea, 2018).

1.2.4. FDM-Eriyik malzeme şekillendirme teknolojisi

3 boyutlu yazıcı ile obje basımında FDM yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde sıcaklık kontrollü nozzle (baskı ucu) ile termoplastik hammadde katmanlar halinde basılmaktadır (Felek, 2019). FDM yönteminde baskı ucu dirençli ısıtıcılar kullanarak hammaddeyi en ideal erime noktasında tutmaktadır (Felek, 2019). Termostatik malzeme olarak günümüzde ABS ve PLA ruloları dışında çeşitli özellikler sunarak uygulama alanını arttıran ahşap (ahşap lifli PLA), metal (bronzlu PLA), kumtaşı (öğütülmüş tebeşirli PLA) görünümü veren malzeme yelpazesi de geliştirilmektedir (Dudek, 2013), (Nadarajah, 2018).

1.2.5. LOM-Lamine nesne üretimi teknolojisi

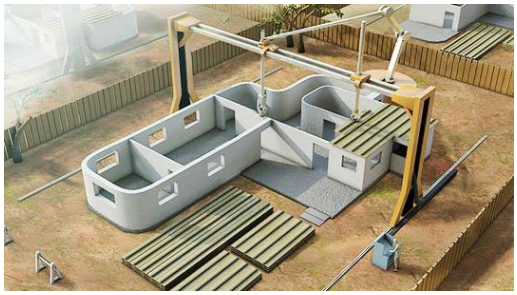
LOM yöntemi Helisys Inc. Şirketi tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem diğer 3 boyutlu yazıcılar ile obje basım sistemlerinden farklı olup sadece prototipleme için kullanılmaktadır. LOM yönteminde yapışkan bantlara çözücü (solvent) madde püskürtülmekte ve bantlar birbirlerine yapıştırılmaktadır. Sonrasında bantlar ısıtılmış silindir yardımıyla sıkıştırılmakta ve ısı ile birbirlerine daha iyi yapışmaları sağlanmaktadır (Felek, 2019).

1.3. Bina Yapımında Kullanılan Teknikler

Bu bölümde inşaat sektöründe yapı basımında kullanılan yazıcılar incelenmektedir. Üç boyutlu yazıcı ile yapı üretiminde üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Her yöntemde kullanılan teknikler farklılık göstermektedir. Bunlar D-Shape, Contour Crafting (Kontür İşçiliği) ve Beton Baskı tekniklerdir.

Counter Crafting ve Beton Baskı tekniklerinde hammaddenin bir veya daha fazla baskı ucundan doğrudan dökülmesi söz konusudur. Kemer Marker, Contour Crafting ve Win Sun şirketleri bu yöntemi

kullanmaktadır. Bir başka yöntem ise granül (kum) katmanı üzerine bağlayıcı sıvı püskürtülerek malzemenin katılaştırıldığı yöntemdir (Felek, 2019). D-Shape tekniği bu yöntemi kullanmaktadır (Oberti ve Plantamura, 2015). Bu teknikte yazıcının baskı ucunu taşıyan kol ileri-geri, aşağı-yukarı, sağa-sola hareket etmekte ve baskı ucundan çıkan akışkan kıvamlı malzeme ile yapı basılmaktadır (Şekil 1) (Khoshnevis, 2004).



Şekil 1. Vinç kullanan 3 boyutlu yazıcı modeli (Petch, 2017)

1.3.1. D-Shape

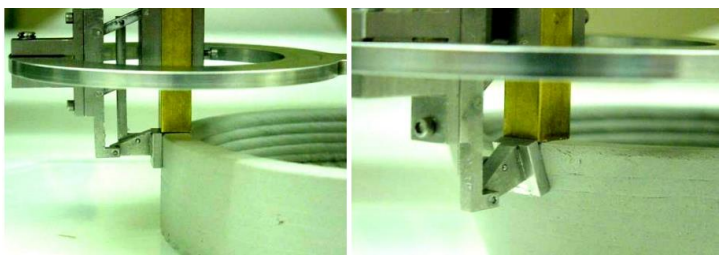
D-Shape 3 boyutlu yazıcı Enrico Dini tarafından icat edilmiştir. D-Shape yazıcısı toz halindeki dolamit kireçtaşını sağlam bir malzemeye çevirerek basım yapan ilk üç boyutlu yazıcıdır. D-Shape yazıcıyı oluşturan taşıyıcı sistem alüminyumdan olup taşıması kolay ve hafiftir (Şekil 2). D-Shape yazıcı baskı işlemini yatay taşıyıcıya elemana bağlı olan baskı ucu ile yapmaktadır ve yazıcı başlığında yaklaşık 300 adet baskı ucu bulunmaktadır. Yazıcı başlığı yatay taşıyıcı kiriş ile taşınmaktadır ve düşey taşıyıcı ayaklar aşağı yukarı yönde hareket edebilmektedir (Felek, 2019). D-Shape yazıcısı ile katmanlı olarak döşenen toz tabakası yapışkan bağlayıcı madde ile sertleştirilerek yapı inşa edelebilmektedir.



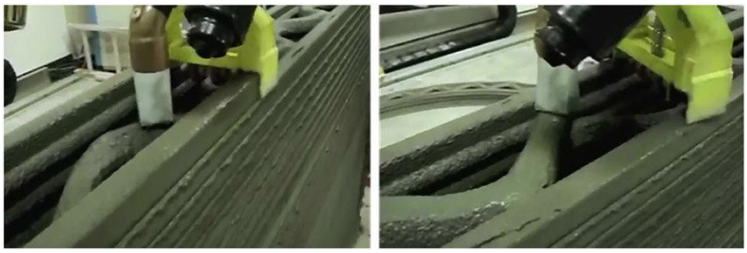
Şekil 2. D-shape yazıcı örneği (Tampı, 2015)

1.3.2. Contour Crafting tekniği (kontür işçiliği)

Contour Crafting tekniği Behrokh Khoshnevis tarafından Southern California Üniversitesi Bilgi Teknolojileri Enstitüsü'nde geliştirilmiştir (Felek, 2019). Bu teknikte 3 boyutlu yazıcının baskı ucunda bulunan malalar basımı yapılan beton katmanlarının yüzeylerini düzleştirmekte ve bu sayede pürüzsüz görünümlü duvarlar oluşturulmaktadır (Şekil 3-4) (Khoshnevis, 2004). Contour Crafting tekniğinde kullanılan malalar hiç sarsılmadan insan gücü ile oluşturulamayacak olan düzgün geometrik şekilleri oluşturabilmektedir (Smith, 2012). Bu teknik ile yapıyı oluşturan duvarlar boşluklu bir şekilde basılmakta ve bu boşluklardan sıhhi elektrik ve mekanik tesisat elemanları geçirilmektedir (Khoshnevis, 2003).



Şekil 3. Contour crafting yazıcı (Yazıcı kolu kullanılan yöntem) (Khoshnevis ve Bekey, 2002).



Şekil 4. Alüminyum çerçeve sistemli contour crafting yazıcı (Khoshnevis ve Bekey, 2002).

Contour Crafting tekniği ile 20 saniyede bir metre duvar, 1 saatte 1 oda, 1 günde 200m² tek katlı bir ev inşa edebilmektedir (Smith, 2012). Sadece kapı ve pencere montajları için insan gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Contour Crafting tekniğinin avantajları yapı inşa etme hızı, şantiyede yapım imkanı, düşük gelirli konut inşa edilebilmesi, deprem vb. doğal afetlerde hızlı konut üretim imkanı sunmasıdır (Tümer, 2020).

Khoshnevis doğal afetler sonrası hızlı bina inşası için kullanılabilecek bir yöntem olarak Şekil 5'i yeniden düzenlemiştir (Khoshnevis, 2004). Yapının duvarlarında çimento esaslı beton benzeri bir malzeme kullanılmakta ve baskı malzemesi katmanlar halinde dökülmektedir. Üç boyutlu yazıcı ile yapı basımında kullanılan harç kıvamındaki çimento esaslı baskı malzemesine donatı olarak cam veya karbon fiber lifler eklenerek yapı basımı denemeleri de yapılmaktadır (Tay ve diğerleri, 2016).

Contour Crafting tekniğinde 3 boyutlu yazıcının çalışma prensibi şu şekildedir; baskı ucu kendisini taşıyan hareketli portalın aksi yönünde birbirine paralel iki ray üzerinde ileri-geri hareket ederek beton malzemeyi basmaktadır (Şekil 5). Basılan betonun üzerine gelecek diğer katmanların ağırlığını taşıyabilesi için sertleşmesi beklenmektedir (Smith, 2012).



Şekil 5. Contour crafting yazıcıları (Url-2, 2024).

1.3.3. Beton baskı tekniği

Beton baskı tekniğinin Contour Crafring yönteminden farkı baskı ucunda kullanılan kalıp malaların kullanılmamasıdır. Yapıdaki fonksiyonel boşluklar (pencere, kapı) yapının basım aşamasında oluşturulmaktadır (Lim ve diğerleri, 2011). İki teknik kıyaslandığında "Beton Baskı" tekniği ile inşa edilen yapıların yüzeylerinde yivler oluşmaktadır (Şekil 6). Bu teknikte pürüzsüz yüzeyler elde etmek için beton malzeme kurumadan beton yüzeylerin mala ile düzeltilmesi yada basım işlem tamamlandıktan sonra yüzeye taşlama işlemi uygulanması gerekmektedir (Lim, 2012).



Şekil 6. Beton baskı yönteminde kullanılan baskı ucu (Miau, 2021)

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada 3 boyutlu yazıcılarla obje ve çelik donatılı/taşıyıcılı bina üretim yöntemleri literatür araştırması yapılarak çeşitli kaynaklardan derlenmiş ve burada sınıflandırılarak detaylıca ele alınmıştır. Yapı üretiminde malzeme ve zaman tasarrufu sağlayan 3 boyutlu yazıcılarla beton ve çelik kullanılarak oluşturulan bina üretim yöntemlerine ait birer örnek irdelenmiş ve gelecekte bir sonraki adım olan beton ve çelik üretiminin aynı anda olabilme durumlarına ait değerlendirmeler yapılmıştır. 3 boyutlu yazıcılarla beton ve çeliğin beraber kullanıldığı binaların üretiminde çeliğin basılma aşamasının farklılığı nedeniyle aynı başlık ile hem beton harç hem çelik üretimi yapılamamakta, bu sebeple iki malzemeyi farklı şekillerde veya zamanlarda üretmek gerekmektedir. Bu çalışmanın değerlendirme kısmında 3 boyutlu yazıcıların inşa aşamasına getirdiği hızı etkileyen bu faktörü ortadan kaldırmaya yönelik öneriler sunulmaktadır.

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Lim'e (2012) göre inşat sektöründe yükleniciyi otomasyon sistemlerini kullanmaya yönlendiren çok sayıda sebep bulunmaktadır. Bunlardan birkaçı şantiyede inşaa süresini ve üretim maliyetini azaltma, mimari tasarımlarda daha özgür tasarımlar oluşturabilme isteğidir. Vaha (2013)'de yaptığı çalışmada kalite, güvenlik, yaşam döngüsü maliyet tasarrufları ve işgücünün basitleştirilmesi gibi inşaat sektörüne eklenen farklı beklentilerin üç boyutlu yazıcıların kullanımını zorunlu hale getirdiğini ileri sürmüştür. Şantiyelerde otomatik tuğla döşeme, beton püskürtme ve prekast eleman dökme teknikleri gibi sayısız tekrarlanarak yapılan işlemler için otomasyon sistemine dayalı örnek makineler kullanılmaktadır (Lim, 2012), (Tümer, 2020).

3.1. Üç Boyutlu Yazıcılarla Beton Baskı Teknolojisi

Üç boyutlu yazıcılarda birçok malzemenin yanında beton esaslı malzemeler de yazma malzemesi olarak kullanılmaktadır. Beton baskı tekniği ile yazıcının baskı ucundan harç kıvamındaki çimento esaslı betonun kat kat dökümüyle (ekstrüzyonu) yapı üretilmektedir. Beton baskı yönteminde "Contour Crafring" yönteminde kullanılan baskı ucundaki malalar kullanılmamaktadır. Bu yöntemde kalıp kullanılmadan yapı inşası gerçekleştirilmekte ve yapıdaki fonksiyonel boşluklar (pencere, kapı..vb) yapının basım aşamasında oluşturulmaktadır (Lim ve diğerleri, 2011). Kalıp kullanılmayan bu yöntem ile inşa maliyeti ciddi oranda düşürülmektedir. "Counter Crafring" yönteminde kullanılan malalar olmadan 3 boyutlu baskı yapılabilmekte ve bu sayede daha yüksek esneklik seviyeleri elde etmek için baskıda daha küçük tortul çözünürlüğe sahip malzeme kullanımı gerekmektedir. Bu farklılık iç ve dışta geometrinin daha kontrollü oluşturulmasını sağlamıştır (Lim, 2012). Contour Crafting ile Beton Baskı yöntemleri kıyaslandığında Beton Baskı yöntemi ile inşa edilen yapıların yüzeylerinde yivler oluşmaktadır. Pürüzsüz yüzeyler üretilmek istendiğinde 3 boyutlu baskı ile dökülen beton malzeme kurumadan önce mala ile düzleştirilmeli yada beton kuruduktan sonra yüzey taşlanmalıdır (Lim, 2012).

Üç Boyutlu Baskı Yönteminin Yapı İnşası Açısından Avantajları-Dezavantajları

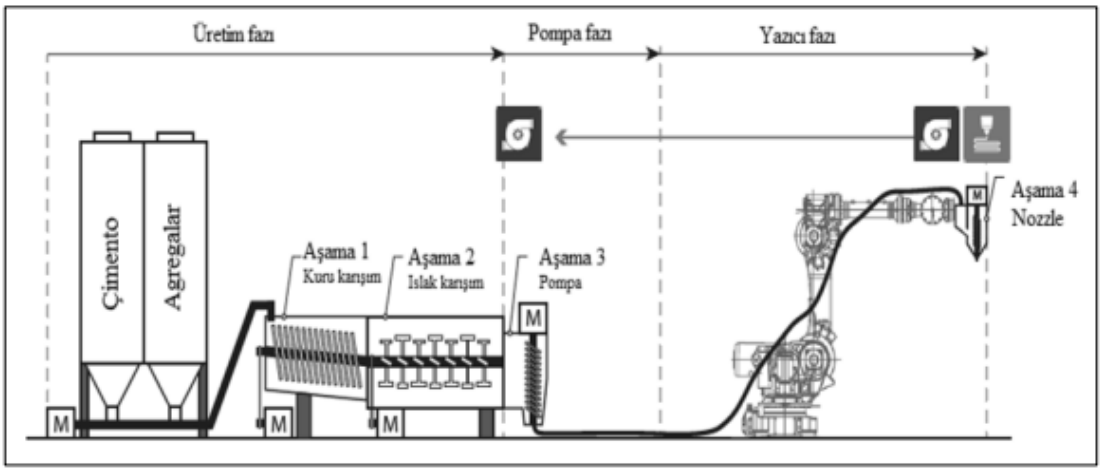
Çeşitli meslek dallarında obje basımında kullanılan üç boyutlu yazıcılar mimarlık alanında da kullanılmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar kullanılarak maket üretilmekte ve yapı inşa edilmektedir (Libson ve Kurman, 2013). Üç boyutlu yazıcı kullanılarak yapı inşasında elde edilen avantajlar ve dezavantajlar şöyle sıralanabilir (Tümer, 2020).

- Üç boyutlu yazıcı ile baskı yönteminde karmaşık geometriler üretmek için ek bir maliyete ihtiyaç duyulmamaktadır. Geleneksel inşa yöntemlerinde geometrik formun karmaşıklığı arttıkça buna paralel olarak üretim maliyeti de artmaktadır. Üç boyutlu yazıcılar ile karmaşık süslemeler ya da çift eğrili geometrilerin basımı dikdörtgen prizma yapısının basımıyla aynı miktarda zaman, maliyet ve işçilik gerektirmektedir (Tümer, 2020).
- Üç boyutlu yazıcılar ile anlık üretim ve teslim imkânı ile ihtiyaç duyulduğu anda üretim yapılabilmektedir. Bu sayede ön üretim gerekmemekte ve depolama ihtiyacı duyulmadan talebe göre ürün üretilebilmektedir.

- Geleneksel yapımda zanaatçının form üretim kapasitesi, sahip olduğu aletler ile orantılıdır. Örneğin ahşap torna sadece silindir objeleri, bir kalıp makinesi kalıbın şeklindeki objeleri üretebilirken üç boyutlu yazıcılar birden fazla aracın üretim kapasitesini birleştirmektedir.
- Geleneksel sistemde üretimde zanaatçının yeteneğini oluşturması için yıllarca çalışma gereksinimi duyarken, 3 boyutlu yazıcı ile yetenek ihtiyacı minimuma indirilmektedir.
- Üç boyutlu yazıcı ile yapı inşası yeni kullanılmaya başlayan bir yöntem olup günümüzde yapı inşasında yaygın olarak kullanılmamaktadır.

3.2. Üç Boyutlu Yazıcılarla Yapı Üretimi

3 boyutlu yazıcı ile yapı üretiminde önce bilgisayar ortamında 3 boyutlu model oluşturulmaktadır. Bilgisayardan gelen komutlara göre yazıcı içerisinde çimento su, ince agrega karışımı bulunan harcı kullanarak yapıyı basmaktadır (Uygunoğlu ve diğerleri, 2019). 3 boyutlu baskı yöntemi ile beton yapı inşasında yaygın olarak kullanılan yöntem FDM (Fused Deposition Modeling-Eriyik Malzeme Şekillendirme) yöntemidir. 3 boyutlu yazıcı çalışma prensibi şu şekildedir: Dijital ortamda CAD çizimi oluşturularak G kodu tanımlanmaktadır. Katmanlar G koduna göre tanımlanan yol boyunca hareket eden baskı ucundan dışarıya harcın itilerek ekstrüde edilmesi şeklinde oluşturulmaktadır (Şekil 7) (Kloft ve diğerleri, 2020).



Şekil 7. 3 boyutlu yazıcı ile yapı üretim aşamaları şematik gösterimi (Uygunoğlu ve diğerleri, 2019)

3 boyutlu yazıcı ile yapı baskı işlemi üç faz ve dört aşamadan oluşmaktadır. Ancak projeye göre baskı işlemi ve kullanılan yazıcı türleri farklılık gösterebilmektedir (Uygunoğlu ve diğerleri, 2019). Üretim fazında 3 boyutlu baskı işleminde kullanılan harcın ana malzemeleri ayrı besleme tanklarında bulunmaktadır. Üretim fazında ilk aşamada çimento ve agrega karıştırılarak kuru karışım elde edilmekte, ikinci aşamada ıslak karışım oluşturulmaktadır. Üçüncü aşama olan pompa fazında pompa devreye girmekte ve ıslak karışım borudan baskı ucuna aktarılmaktadır. Dördüncü aşama olan yazıcı fazında baskı ucundan harç sıkılması (extruding) işlemi gerçekleştirilmektedir. Basılan harcın katılaşması ile üretim tamamlanmaktadır.

3.3. Üç Boyutlu Yazıcı ile Çelik Donatılı/Taşıyıcılı Beton Yapı Üretimi

Üç boyutlu yazıcı ile beton malzemesi kullanılarak inşa edilen yapılarda daha iyi performans ve dayanıklılık için ek donatı takviyelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yapılarda, donatılı betonarme yapı performansına ulaşmak için takviye donatıyla birlikte beton basabilen hibrit baskı sistemi kullanılmalıdır (Uygunoğlu ve diğerleri, 2019). Üç boyutlu yazıcı ile betonarme yapı inşa sistemi ve geleneksel betonarme yapı inşa sistemleri kıyaslandığında üç boyutlu yazıcı ile betonarme yapı inşasında kalıp kullanılmamaktadır (Kloft ve diğerleri, 2020). Gelenksel betonarme yapı inşa sistemlerinde kalıp kullanımı zorunludur ve donatı kalıp içerisine tam olarak yerleştirilmeli ve sabitlenmelidir. Üç boyutlu yazıcı ile betonarme yapı inşasında basılan beton katmanlarına donatılar eklenerek veya örülmüş donatı takviyesi etrafına beton basılarak yapı inşa edilebilmektedir. (Kloft ve diğerleri, 2020). Üç boyutlu yazıcılarla betonarme yapı inşasında donatının beton baskıya eklenmesi ile

ilgili hali hazırda üç yöntem kullanılmaktadır ve bu yöntemler de kendi içlerinde farklı uygulamalara sahiptirler (Çizelge 1, Çizelge 2, Çizelge 3).

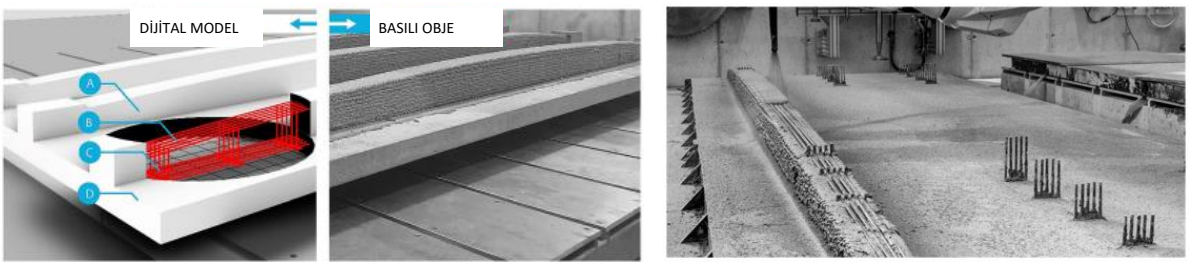
Yöntem 1'de ilk olarak üç boyutlu yazıcı ile beton katmanları basılmaktadır (Çizelge 1). Üst üste basılan beton katmanlarına donatılar beton basımı aşamasında beton sertleşmeden yerleştirilmektedir. Üç boyutlu yazıcı ile basılan beton malzemesine donatı çubukları, donatı takviyeleri (filamentler, tekstil takviyeleri), lif veya küçük donatı çubukları yatay, dikey veya eğimli şekilde yerleştirilmektedir (Kloft ve diğerleri, 2020).

Yöntem 1 tekniği kullanılarak üretilen beton katmanlarının içine yatayda ve düşeyde donatılar yerleştirilerek nervürlü beton zemin plakası üretilmiştir. Üç boyutlu yazıcı ile basılan döşeme panelleri Holstebro evinde kullanılmıştır (Şekil 8). Institute of Structural Design tarafından yapılan çalışmada Şelik 8'de "D" ile gösterilen beton zemin plakası kalıp içerisine yerinde dökülerek oluşturulmuştur. Döşemedeki nervürler yatay ve düşey donatılar yerleştirilerek üç boyutlu yazıcı ile basılmıştır.

Nervürlü döşemenin üç boyutlu yazıcı kullanılarak inşasında beton harcını püskürterek basan üç boyutlu yazıcı başlığı kullanılmıştır. Üretilen nervürlü döşeme ölçüsü 50cm x 210cm x 10 cm'dir. Kalıba dökülerek üretilen beton zemin levhasına dik doğrultuda nervürlerin donatı çubukları monte edilmiştir. Nervürlerde kullanılan dik doğrultudaki donatı çubuklarının yüksekliği desteklerin geldiği noktalarda 10 cm olup orta kısımlarda 20 cm'ye çıkmaktadır. Düşey doğrultuda döşeme plağına yerleştirilen donatı çubukları (Şekil 8, "B") yatay doğrultuda donatı çubukları kullanılarak bağlanmaktadır ve yatay yönde yerleştirilen donatı çubukları çekme kuvvetlerine çalışmaktadır. Yatay donatılar yerleştirildikten sonra beton harç basılarak donatılar 4 kat (4 ila 6cm) beton ile kaplanmaktadır.

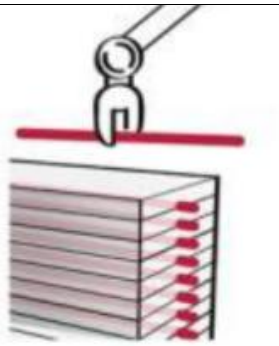
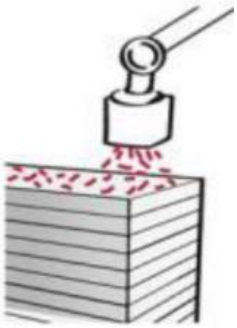
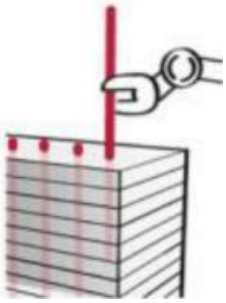
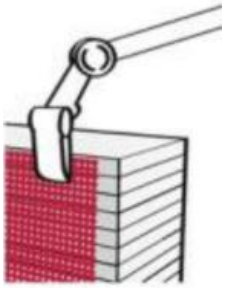
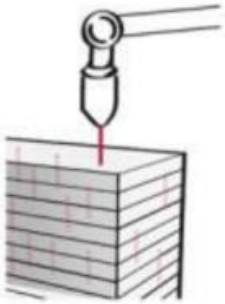
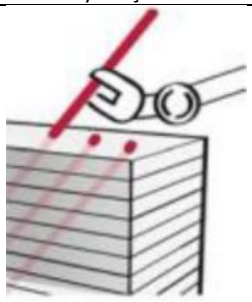
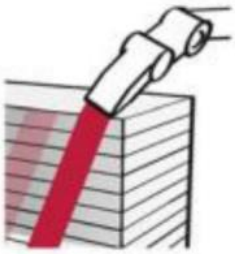
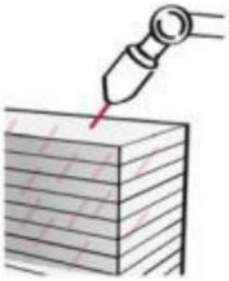
Yöntem 2'de üç boyutlu betonarme yapı inşasında kullanılabilecek 3 farklı sistem bulunmaktadır (Çizelge 2). Birinci sistem örülmüş donatı takviyelerinin kullanıldığı sistemdir. Önce üç boyutlu yazıcı ile üretilecek olan duvar, kolon gibi elemanlarda kullanılacak takviye donatısı yatay ve düşeyde donatı çubukları kullanılarak örülmektedir. Örülmüş donatı takviyesine üç boyutlu yazıcılar kullanılarak beton basılmaktadır. Beton püskürten baskı uçlu "SC3DP" adlı üç boyutlu yazıcı kullanılarak örülmüş donatı takviyesine beton püskürtülmekte ve donatı beton içerisine gömülmektedir. Oluşturulan betonarme kolon ve duvar yüzeyinin pürüzsüz olması isteniyorsa elemanın yüzeyi düzleştirilmektedir (Kloft ve diğerleri, 2020).

Institute of Structural Design "SC3DP" isimli yazıcı ile Şekil 9'da görülen kolonları üretmiştir. Bu örnekte EC2 (Eurocode 2-Avrupa beton yapı tasarım kodu) standartlarına göre üretilmiş geleneksel donatı kafesi kullanılmıştır. Kolon dökümü için önce dönen bir tabla üzerine donatı kafesi sabitlenmektedir. Üç boyutlu yazıcının beton püskürten baskı ucu eğimli durmaktadır ve yukarı yönde beton püskürterek hareket etmektedir. Üç boyutlu yazıcının baskı ucundan beton püskürtülürken donatı takviyesinin sabitlendiği tabla döndürülmektedir (Şekil 9). Üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen betonarme kolonun kesiti incelendiğinde donatı ve betonun iyi bir şekilde birleştiği ve yazıcı ile basılan betonun boşluksuz şekilde örülmüş donatı takviyesinin iç kısmını doldurduğu görülmektedir.

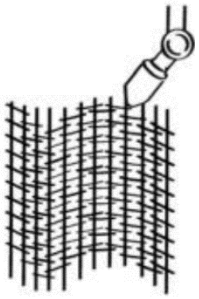


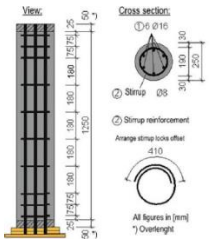
Şekil 8. Nervürlü döşemenin modeli, üretilmiş son hali ve üretim aşaması görülmektedir. A: Kiriş, B - C: Donatı, D: Döşeme Plağı. (Kloft ve diğerleri, 2020)

Çizelge 1. Birinci Yöntem; Üç Boyutlu Yazıcılarla Önce Beton Basılmakta, Donatı Betona Sonradan Entegre Edilmektedir. (Kloft ve diğerleri, 2020)

YÖNTEM 1: Betonun Donatıya Destek Olduğu Sistem			
	Beton katmanları içine donatının yerleştirilmesi	**Beton katmanlarına filament ve tekstil takviyelerinin yerleştirilmesi**	**Beton katmanlarına liflerin veya kısa donatı çubuklarının yerleştirilmesi**
Donatının Yatay Yönde Yerleştirilmesi	 3 Boyutlu yazıcı ile basılan beton katmanlarının üzerine donatı çubuğu yatay düzlemde yerleştirilmektedir.	 Beton katmanlarının üzerine yatay düzlemde donatı olarak kullanılan filamentler veya tekstil malzemesi serilmektedir.	 3 Boyutlu yazıcı ile basılan beton katmanının üzerine donatı lifleri dökülmektedir.
Donatının Düşey Yönde Yerleştirilmesi	 3 Boyutlu yazıcı ile basılan beton katmanlarının içerisine donatı çubukları düşey düzlemde sokularak yerleştirilmektedir.	 Beton katmanlarının yüzeyi düşey düzlemde donatı olarak kullanılan filamentler veya tekstil malzemesi ile kaplanmaktadır	 3 Boyutlu yazıcı ile basılan beton katmanlarının içerisine kısa donatı çubukları düşey yönde sokularak yerleştirilmektedir.
Donatının Eğimli Şekilde Yerleştirilmesi	 3 Boyutlu yazıcı ile basılan beton katmanlarının içerisine donatı çubukları açılı olarak sokularak yerleştirilmektedir.	 Beton katmanlarının yüzeyi dikey düzlemde açılı bir şekilde donatı olarak kullanılan filamentler veya tekstil malzemesi ile kaplanmaktadır.	 Üç boyutlu yazıcı ile basılan beton katmanlarının içerisine kısa donatı çubukları açılı bir şekilde sokularak yerleştirilmektedir.

Çizelge 2. İkinci Yöntem; Önce Donatının Oluşturulduğu ve Betonun Donatıyı Kaplayacak Şekilde Basıldığı Sistemlerdir. (Kloft ve diğerleri, 2020)

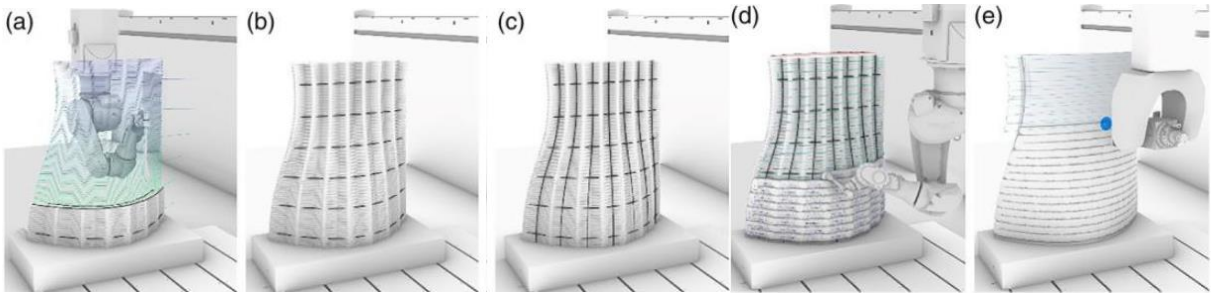
YÖNTEM 2: Donatının Betona Destek Olduğu Yöntem		
Örülmüş donatı takviyelerinin beton basılmadan yerlerine yerleştirildiği sistem.	Sarılmış filament veya donatı takviyelerinin kullanıldığı sistem.	Düşey yönlü donatılara yatay yönde kısa donatıların kaynaklanarak veya yapıştırılarak örgü kalıp sistemin oluşturulması. (Yatay takviye çubukları kullanılmaktadır)
		



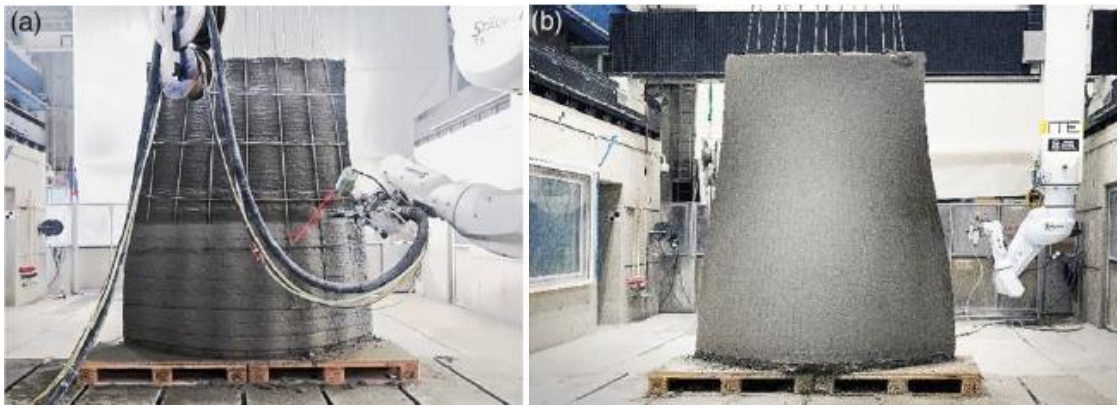
Şekil 9. Üç Boyutlu Yazıcı ile Betonarme Kolonun Üretim Aşaması, Kolonun Donatıları ve Plan Kesiti (Kloft ve diğerleri, 2020).

Yöntem 2'de 3. sistem sarılmış filament veya donatı takviyelerinin kullanıldığı sistemdir. Institute of Structural Design tarafından yapılan hafif eğrisel duvar uygulaması Şekil 10'da görülmektedir. Üç boyutlu yazıcı kullanılarak dökülen eğrisel formlu betonarme duvar elemanları beş aşamada inşa edilmektedir. Önce duvarın iç ve dış kısmı arasındaki dalga formlu kısmın içi üç boyutlu yazıcı kullanılarak basılmaktadır. Dalgalı formu olan bu iç kısımın üzerine beton basımı aşamasında yatay donatı çubukları belirli aralıklarla yerleştirilmektedir (Şekil 10.(a)). Şelik 10.(b)'de betonarme duvarın dalgalı iç kısmının basılmış hali görülektedir. Ardından Şekil 10.(c)'de görüldüğü gibi düşey yöndeki donatılar yatay yöndeki donatıların arasına geçirilerek yerleştirilmektedir. Şekil 10.(d)'de görüldüğü üzere üç boyutlu yazıcı kullanılarak 4cm kalınlığında beton dış katman basılarak donatılar beton ile kaplanmaktadır. En son aşamada ise eğrisel formlu duvar yüzeyi çelik disk ile düzleştirilmektedir.



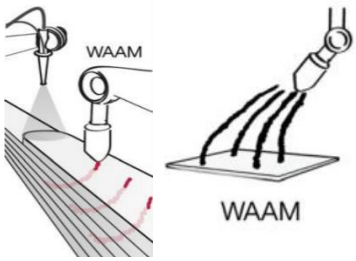
Şekil 10. Hafif egrisel duvarın model ve üretim aşamaları (Kloft ve diğerleri, 2020)

Şekil 11.(a)'da hafif eğrisel betonarme duvarın labaratuvardaki üretim aşaması görülmektedir. Şekil 11.(b)'de ise hafif eğrisel betonarme duvarın donatılı dalga formlu iç kısmının etrafına üç boyutlu yazıcı ile beton basım işlemi bittikten sonra çelik diskli beton düzleştiricisi ile yüzeyi düzleştirildikten sonraki hali görülmektedir.

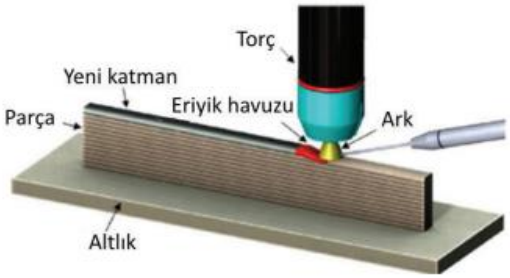


Şekil 11. (a). Hafif egrisel duvarın laboratuvarda üretim aşaması, **(b).** Aynı Duvarın Yüzeyinin Düzleştirilmiş Hali (Kloft ve diğerleri, 2020)

Çizelge 3. Üç boyutlu baskı ile betonarme yapı üretiminde betonun ve donatının eş zamanlı basıldığı sistem (Kloft ve diğerleri, 2020)

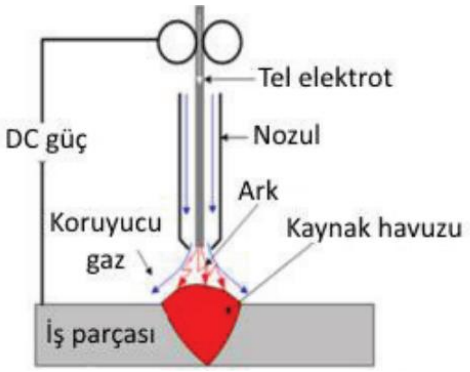
YÖNTEM 3: Kademeler Halinde Eş zamanlı Donatı ve Betonun Üretimi	
Beton baskı +WAAM(Tel Ark Eklemeli İmalat)	

Yöntem 3 ise, beton ve donatının eş zamanlı katmanlar halinde kat kat basıldığı yöntemdir. Bu yöntemde donatılar WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) sistemi kullanılarak beton harç ile birlikte basılmaktadır. İlk olarak WAAM sistemi ile donatı katmanı belirli sayıda üst üste katlar şeklinde basılmakta, ardından beton basan üç boyutlu yazıcı kullanılarak beton katmanı belirlenen kat kadar üst üste katmanlar şeklinde basılmaktadır. Bu işlem her katta tekrarlanarak üretim gerçekleştirilmektedir. WAAM sisteminde tel şeklindeki hammadde eritilmekte ve çalışma alanı boyunca biriktirilerek tabakalar oluşturulmaktadır (Şekil 12).



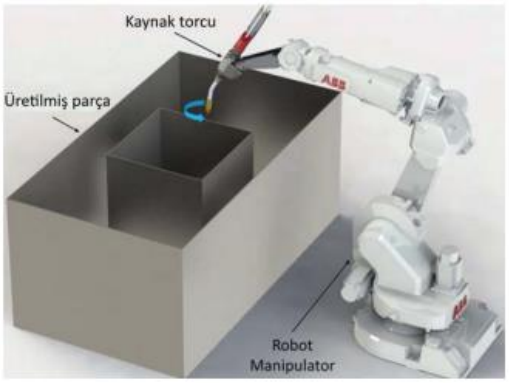
Şekil 12. Tel elektrot ışını eklemeli imalat gösterimi (Güler ve diğerleri, 2022)

Tel ark eklemeli imalatta ısı kaynağı olarak elektrikli ark kullanılarak tel formundaki hammadde eritilmektedir (Şekil 13) (Güler ve diğerleri, 2022). Eritilen hammadde üst üste katmanlar halinde biriktirmektedir. WAAM yönteminde titanyum, nikel, alüminyum alaşımlar ve çelik gibi malzemeler kullanılabilmektedir (Şekil 14). WAAM sistemi ısı kaynağına göre 4 gruba ayrılmaktadır. 1- Gaz metal ark kaynağı (GMAK-WAAM) tabanlı 2- Gaz tungsten ark kaynağı (GTAK-WAAM) tabanlı 3- Plazma ark kaynağı (PAK-WAAM) tabanlı 4- Robotik WAAM yöntemidir.



Şekil 13. Tel ark eklemeli imalat işlemi gmak-tabanlı (Ituarte ve diğerleri, 2018)

GMAK tabanlı WAAM yönteminin bir türü olan CMT (soğuk metal transferi) yönteminde daha düşük ısı malzemeye aktarılarak eritilmekte ve kaynak dolgusu yapılırken hiç sıçrama olmamaktadır. CMT-GMAK tabanlı WAAM yönteminde de alaşım ve çelik malzemeler kullanılmaktadır (Güler ve diğerleri, 2022). WAAM sistemleri hareket mekanizması için endüstriyel robot kullanmaktadır. Betonla beraber donatıların basıldığı sistemde lokal gaz korumalı mekanizmalar ve çalışma alanını arttırmak için doğrusal bir ray üzerinde konumlandırılmış robot kullanılmaktadır.



Şekil 14. Büyük boyutlu ince cidarlı metal parçanın robotik WAAM yöntemiyle üretimi (Ituarte ve diğerleri, 2018)

3.4. Az Katlı Betonarme Binaların Üç Boyutlu Yazıcılarla Üretimi

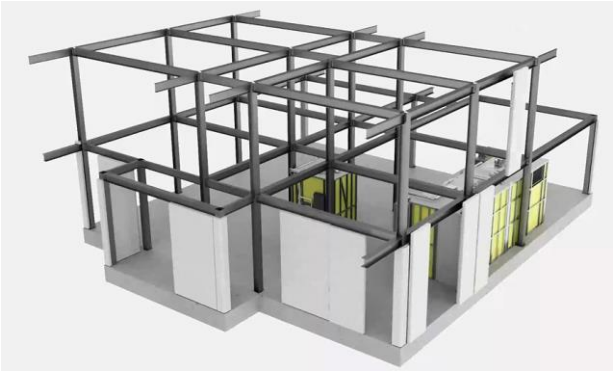
Yukarıdaki bölümde 3 boyutlu yazıcılarla betonarme eleman üretimleri ele alınmıştır. Bu bölümde ise betonarme bir yapının tamamının 3 boyutlu yazıcılarla üretim yöntemleri incelenecektir. Son on yılda üç boyutlu yazıcılar kullanılarak çelik ve beton malzemesi ile birçok yapı inşa edilmiştir.

3.4.1. Panel taşıyıcılı betonarme bina üretimi

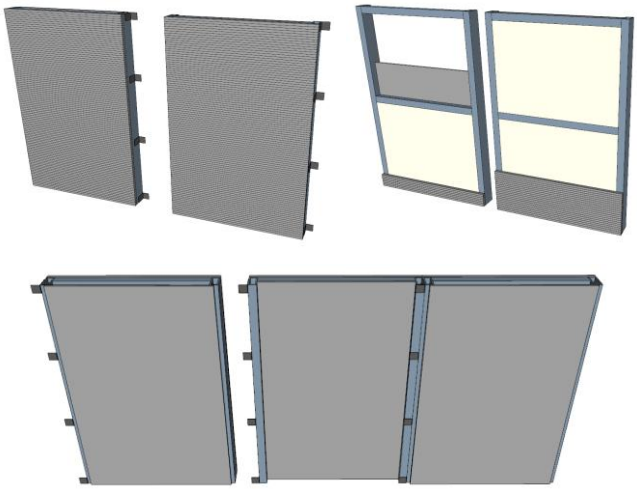
Bu yöntemde bina; etrafında beton kaplaması olan metal çerçeveli kat yüksekliğinde panellerin bir araya getirilmesi ile oluşturulmaktadır (Şekil 15). Bu sisteme örnek olarak Mighty Buildings firması tarafından geliştirilen ve Kaliforniya'da yapılması planlanan sıfır enerjili 15 evden oluşan tatil köyü projesi evidir. Örnek ev olarak üretilen Mighty Cinco projesinde üç boyutlu yazıcı kullanılarak panellerin iç-dış yüzeyleri basılmıştır. Bu paneller temel üzerine kurulan çelik bir çerçeve üzerine monte edilmektedir (Şekil 16). Panellerin içinde yer alan çelik profiller destek elemanı olarak kullanılmaktadır. Düşey çelik profiller yatay yönde çelik profiller ile çerçeve oluşturacak şekilde birbirlerine bağlanmaktadır. Üç boyutlu yazıcı ile üretilen dış ve iç yalıtımlı hafif beton panel yüzeyleri çelik profil sistemine metal bağlantı elemanları kullanılarak monte edilmektedir. Kat yüksekliğinde üretilmiş olan cephe panellerinin birbirlerine ve çelik kolon kirişlere bağlantısının yapılabilmesi için düşey veya yatay yönde metal bağlantı profilleri yerleştirilmiştir (Şekil 17). Üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen duvar panellerinin beton yüzeyleri arasında ısı yalıtımı görevi görmesi için poliüretan malzeme kullanılmıştır. Poliüretan köpük iç ve dış yüzey paneli arasındaki boşluğu sıkılmakta ve boşluğu doldurmaktadır.



Şekil 15. Mighty Cinco'da kullanılan duvar paneli detayı, Evin ön görünüşü ve kat planı (Mighty Buildings Inc., 2023)



Şekil 16. Aynı firmanın iki katlı ev önerisine ait çelik çerçeve sistemi ve bunlara asılan duvar panelleri planı (Mighty Buildings Inc., 2023)



Şekil 17. Bilgisayar ortamında çizilen mighty house duvar panellerinin birleşim çalışması (Yazarlar).

3.4.2. 3 Boyutlu yazıcılarla oluşturulmuş ön-üretimli yapı elemanlarının şantiyede birleştirilmesi ile betonarme bina üretimi

Bu yöntemde; binayı oluşturan duvar, kiriş, döşeme gibi yapı elemanları fabrika ortamında 3 boyutlu yazıcılarla donatılı olarak üretilmekte, şantiyede bu elemanlar yerinde dökülen temel ve döşeme üzerine monte edilerek bina oluşturulmaktadır. Bu sisteme örnek olarak 120 saatte üretimi tamamlanan ve duvarları taşıyıcı özellikte olan tek katlı Milestone projesi incelenmiştir (Şekil 18). Temelden lento hizasına kadar olan yükseklikte (Şekil 19) fabrika ortamında üretilen bu duvar elemanları, 2 katman şeklinde iç kısmı boşluklu olarak üretilmişlerdir. Şantiyeye taşınan duvar panelleri vinç yardımı ile bir araya getirilerek montajları yapılmış ve yapı inşası tamamlanmıştır (Şekil 18). 3 boyutlu yazıcı ile basılan dış duvar panelleri yapıya etki eden yükleri taşıyan ana taşıyıcı elemanlardır, bu nedenle kalın kesitli olarak üretilmişler ve iç kısmı Şekil 19'da görüldüğü gibi iki bölmeli olarak tasarlanmıştır. Panellerin içindeki hava katmanı ısı yalıtımı özelliği sağlamaktadır. Bu panellerin basım işlemi esnasında iç kısımda kalan bölmenin içine metal tel donatılar konularak duvarın dayanıklılığı arttırılmıştır.



Şekil 18. Milestone projesi, Eindhoven, Hollanda; önden görünüş ve vinç yardımı ile panellerin yerlerine yerleştirilmesi (Souza, 2021).



Şekil 19. Köşe panelinin yerine taşınması, duvar panellerinin fabrikada 3 boyutlu yazıcı ile üretimi (Souza, 2021)

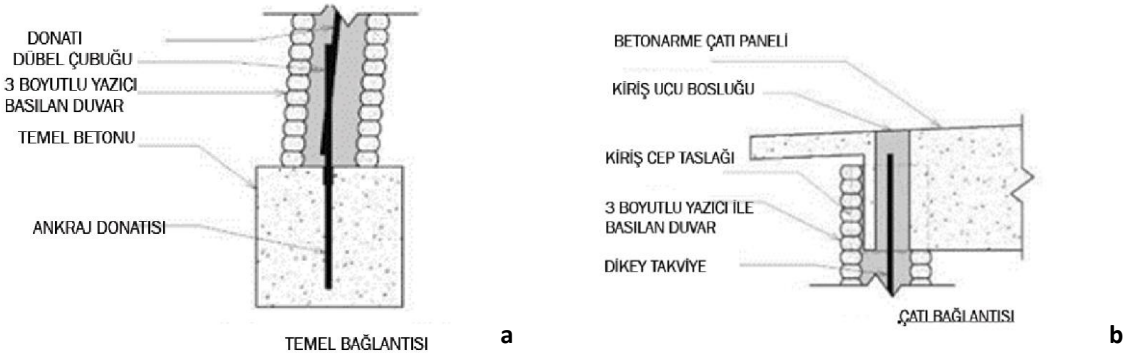
3.4.3. Donatıları önceden yerleştirilmiş binanın beton baskısının sonradan 3 boyutlu yazıcılar ile yapılması

3 boyutlu yazıcılar ile basılan betonarme binaların 3. Üretim tekniği ise şu şekildedir; iskelet sistemde tasarlanan binanın kolon donatıları basım işlemi başlanmadan yerine yerleştirilmekte ve beton dökümü daha sonra bu donatıların etrefını saracak şekilde gerçekleşmektedir.



Şekil 20. Dubai Belediye binası ve yapım aşaması (Block, 2019).

Dubai Belediye binası, Şekil 20'da yapım aşaması fotoğrafında görülen 3 boyutlu yazıcı ile kolon donatılarının yerleştirilmesinden sonra boşluklu bir duvar formu oluşturacak şekilde beton dökümünün yerinde yapılması ile gerçekleştirilmiştir. Eğrisel forma sahip duvarlar mekanların merkezlerine taşınarak yerleştirilen merkezde ve yatay yönde hareket eden yazıcı ile rahatlıkla dökülmüştür. Kolonlarda kullanılan donatılar yerinde dökme radye temele ankraj elemanları ile bağlanmaktadır. Resim 20'deki düşey kolon donatıları yatay yönde etriyeler ile birbirlerine bağlanmaktadır. Kolon kalıbın (dış kontur) ve yapının dış duvarları 3 boyutlu yazıcı ile basılmaktadır. Kalıp olarak kullanılacak kolon dış konturu sertleştikten sonra donatıların bulunduğu iç kısım beton dolgu ile doldurularak kolonlar oluşturulmaktadır (Bos, Menna, Pradena ve diğerleri, 2021)



Şekil 21. (a) Kolon-temel bağlantı kesiti, (b) Çatı-kolon bağlantı kesiti (Bos, Menna, Pradena ve diğerleri, 2021)

Şekil 21.(a) ve (b)'de Dubai Belediye Binası'nın 3 boyutlu yazıcı kullanılarak oluşturulan kolonlarının yerinde dökme betonarme temel ve çatı paneli ile bağlantı detayları görülmektedir. Betonarme temele ankraj çubukları ile donatılar bağlanmıştır. Kolon ve duvar iç kısım paneli dış kısıma göre daha alt bir kotta dökülmekte, böylece çatı paneli bu alt kotta yer alan beton eleman üzerine oturtulmaktadır. Dışta kalan kontür çatının alın kısmı ile kapatılmaktadır. Çatı plağı ile dış cephede saçak olarak kullanılan beton elemanın arasında donatı kullanılarak kolona bağlantı sağlanmış ve bu kısım beton ile doldurularak çatı inşası tamamlanmıştır (Ignjatović, Mitrovic, Dragaš, Carevic, 2022).



Şekil 22. Dubai Belediye binası inşa aşaması (Block, 2019).

Şekil 24'de yapının basım aşamasında kapı boşluklarının nasıl oluşturulduğu görülmektedir. Kapı boşluklarının oluşturulacağı kısımlarda yazıcı beton basmamaktadır. Boşluk oluşturulduktan sonra bu kısıma ahşap lento yerleştirilmekte ve daha sonra lentonun üzerine beton harç basılmaya devam edilmektedir. Lento altına destekler konulmakta ve bu destekler beton priz aldıktan sonra kaldırılmaktadır. Yapıdaki pencere boşlukları kapı boşluklarında olduğu gibi ahşap lento ve metal destek elemanları kullanılarak oluşturulmaktadır.

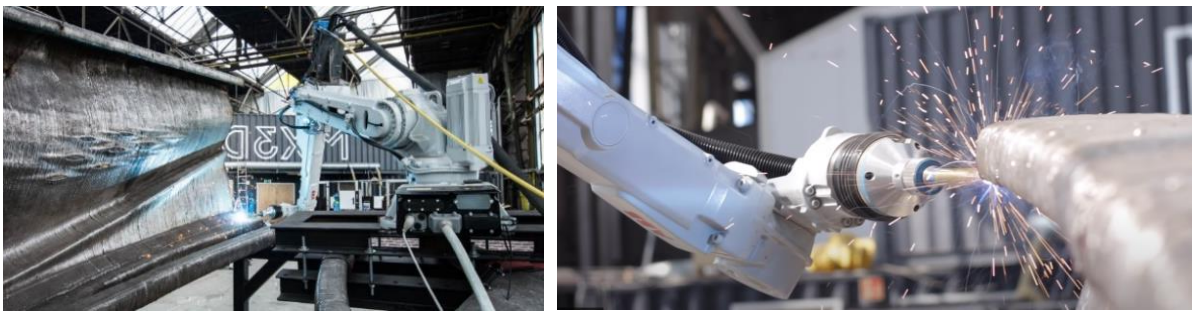
4. Değerlendirme

3 boyutlu yazıcılarla betonarme bina dökümü üstteki bölümde anlatıldığı üzere 3 farklı şekilde yapılabilmektedir. Bu yöntemler ile beton malzeme israfı azaltılmış, daha az sayıda ekip ve işçi ile daha kısa sürede yapım imkanı sağlanmış, daha esnek formlarda duvar ve bina üretimi imkanı oluşmuş ve beton elemanlara daha yüksek çekme ve eğilme mukavemeti kazandırılmıştır.

Bütün bunların yanısıra tüm yöntemlerde beton elemanın içine donatı yerleştirilme aşamaları yapım sürecini bir miktar etkilemektedir. Henüz hem beton malzemeyi hem donatıyı aynı anda basan bir yazıcı ile bina üretimi gerçekleşmemiştir. Ancak Amsterdam'ın Red Light bölgesinde 12.5m eninde, 63m uzunluğunda ve 45 ton ağırlığında 3 boyutlu yazıcı ile ilk çelik köprü basılmıştır (Şekil 23). Köprü inşasında kullanılan yazıcı Şekil 24'de yer almaktadır. Yazıcı, çelik metalini eriyik haline getirmekte ve dijital ortamda oluşturulmuş olan modele göre çelik malzemesini tabakalar halinde üst üste basarak köprüyü oluşturmaktadır. Yazıcının ucundan eriyik olarak çıkan çelik hızlıca sertleşmektedir. Red Light köprüsünün çelik taşıyıcısı ve üst kaplaması fabrika ortamında 3 boyutlu yazıcı ile oluşturulmuş ve daha sonra köprü kanal üzerine taşınarak yerine montajı yapılmıştır.



Şeki 23. 3 Boyutlu yazıcı ile üretilen red light köprüsü, Amsterdam (Hermes Ltd., 2018).

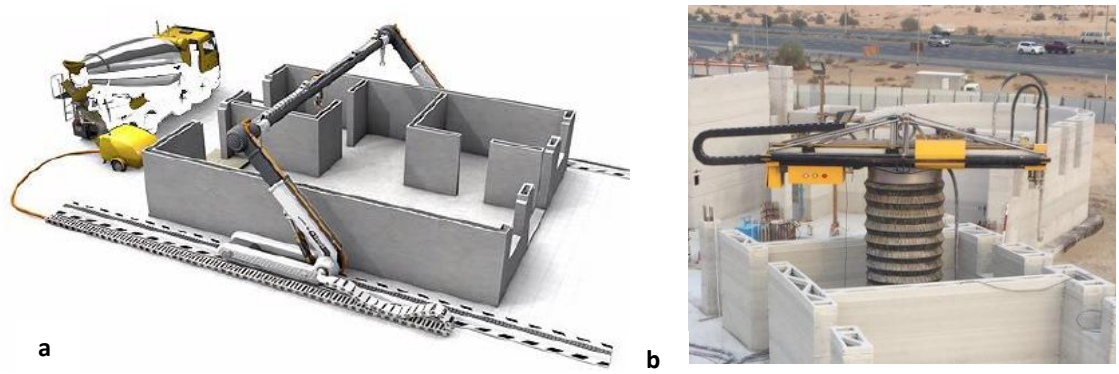


Şekil 24. Köprü basımında kullanılan yazıcı ve baskı ucu (Hermes Ltd., 2024).

Günümüz teknolojisi ile tek baskı ucu kullanılarak yapı basımı gerçekleşmektedir. Bu bölümde gelişen teknoloji ile beraber 3 boyutlu yazıcılar ile yapı inşasında çelik taşıyıcı elemanların ve beton malzemenin beraber basımının nasıl yapılabileceği ile ilgili iki farklı öneri sunulmaktadır.

4.1. İki Ayrı 3 Boyutlu Yazıcının Kullanılması

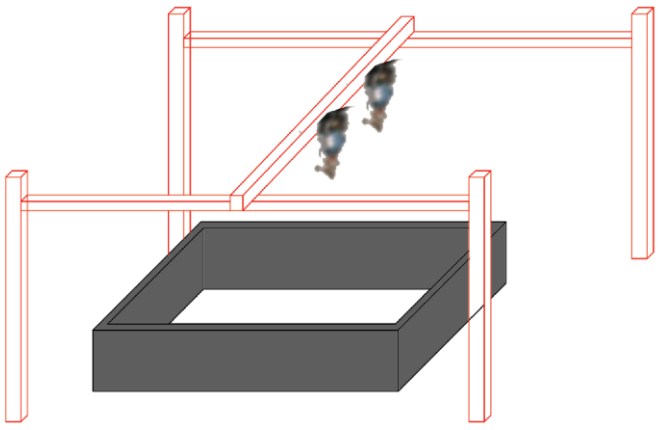
İlk yöntemde Şekil 25.(a)'da görülen 3 boyutlu yazıcı düzeneğinde çelik ve beton malzeme basan iki ayrı yazıcı ve baskı ucu kullanılarak döküm yapılabilmektedir.



Şekil 25.(a). Tek yönde hareket eden ve çift doğrultuda baskı yapan 3 boyutlu yazıcı , **(b).** Bina bölmeleri arasında taşınan ve kendi etrafında dönerek dairesel, dörtgen hareketlerle baskı yapan 3 boyutlu yazıcı (Block, 2019)



Şekil 26. Bina cephesi dışına yerleştirilmiş kendine ait taşıyıcısı olan ve düşey yönde yükselen 3 boyutlu yazıcı sistemi (Url-3., 2024).



Şekil 27. İki baskı uçlu yazıcı modeli (Yazarlar).

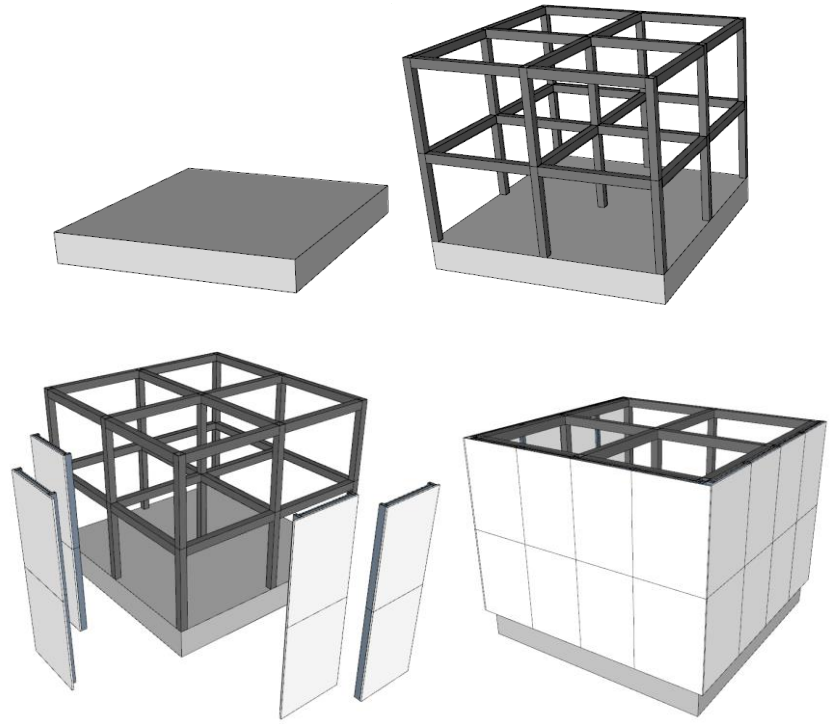
4.2. İki Ayrı Yazıcı Başlığının Kullanılması

Önerilen ikinci yöntemde ayarlı ayaklar üzerine yerleştirilen yazıcı başlığını taşıyan kol yatayda ileri geri hareket etmektedir (Şekil 26-27). Bu sistemde kol üzerinde tek yazıcı başlığı bulunmaktadır. Kol üzerinde beton ve çelik malzemeyi basan iki ayrı yazıcı başlığı kullanılarak yapı üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Önce çelik malzeme bulunan başlıktan belli bir yüksekliğe kadar çelik malzemesi eriyik formda basılır ve basıldıktan sonra hemen sertleşir. Ardından çelik malzeme etrafına beton basılarak yapı düşey yönde oluşturulur. Burada ikinci bir üretim alternatifi ise başlıkları taşıyan iki kolun ayaklar üzerine yerleştirilmesi ve önce çelik malzemenin ardından betonun basılarak yapının inşa edilmesidir.

Çeliği basan baskı ucunda çelik malzemeyi eritmek için kaynak makinelerinde kullanılan sisteme benzer bir yöntem kullanılmaktadır. Bu nedenle beton ve çelik malzemesi aynı uçtan basılamamaktadır. Teknolojik ilerleme ile 3 boyutlu yazıcılarda iki malzeme basımını gerçekleştirebilecek baskı ucu gelecekte yapılabilir ve aynı başlıkla çelik ve beton basımı gerçekleşebilir.

4.3. Çelik Çerçeve Sistemin ve Duvar Panellerinin Fabrikada Üretilip Şantiyede Birleştirilmesi

İnşaat alanında ilk olarak yapının betonarme radye temeli dökülmektedir. Bina çelik çerçeve sistem ve bunlara asılan panellerden oluşmaktadır.Fabrikada üretilen çerçeve sistem şantiyede temele ankre edilmektedir. Geçilen açıklığa bağlı olarak projeye göre çelik kirişlere ek tali kirişler de gerekli olabilmektedir. İç, dış duvar panelleri, döşeme ve çatı panelleri üç boyutlu yazıcı ile düşey ve yatay çelik profiller etrafına beton malzeme basılarak fabrikada üretilmekte ve sahada çelik kirişler üzerine elemanların kenarlarında bırakılan profiller yardımı ile oturtulup monte edilerek yapı prefabrike elemanlarla inşa edilebilmektedir (Şekil 28). 3 boyutlu yazıcılar ile basılan duvar panellerinde pencere/kapı boşlukları basım aşamasında oluşturularak paneller üretilebilmektedir. Oluşturulan paneller taşıyıcı çelik çerçeve sisteme metal bağlantılar ile monte edilerek bina kaba yapısı tamamlanmaktadır.



Şekil 28. Çelik taşıyıcılı beton panelli prefabrike bir yapının 3 boyutlu yazıcılarla üretilip şantiyede birleştirilmesi aşamasını anlatan çizimler (Yazarlar).

5. Sonuç ve Öneriler

Bu makalede 3 boyutlu baskı sistemi ile üretim yöntemleri, bina üretim yöntemleri ve çelik donatılı/taşıyıcılı yapı üretim yöntemleri incelenmiştir. Bu üretim yöntemleri ile yapılan 3 bina örneği

irdelenmiş ve örneklerde yapılamamış olan beton ve çeliğin aynı anda yazıcı ile basılabilme yöntemleri araştırılmıştır.

3 boyutlu baskı yöntemleri kullanılarak farklı geometrilere sahip yapılar geleneksel inşaat yöntemlerine göre daha kolay üretilebilmekte, deprem-su baskını gibi afet olayları sonrasında hızlı yapı üretimi sağlayarak barınacak konut inşası ihtiyacını çok hızlı, daha az maliyetle ve daha az insan gücü kullanarak gidermek mümkün olmaktadır. 3 boyutlu yazıcının hareket imkanı ve baskı ucu sayesinde mimari tasarımlarda daha özgür formlarda tasarımlar daha hızlı ve az maliyetle oluşturulabilmektedir. İklim koşullarından etkilenmeden yapı basıbilmektedir. 3 boyutlu baskı yöntemi ile inşa edilen farklı yapılar bulunmaktadır. Günümüze kadar genelde Avrupa ve Amerika'da 1 ve 2 katlı binalar inşa edilmiş, Türkiye'de tek katlı bir bina ve kentsel alanlarda kullanılan mobilyalar basılmış, Çin'de ise 5 katlı ve 2 katlı konutlar inşa edilmiştir.

Çalışmada incelenen 3 boyutlu bina yapım yöntemlerinden ilki olan olan panel duvar elemanlarının oluşturulan çelik taşıyıcı sisteme bağlantı elemanları ile montajının yapıldığı örnekte bağlantı noktalarının işçiliği çok önemlidir. Özellikle bu teknik birden fazla katlı yapılarda kullanılmak istenirse rüzgar kuvvetleri göz önünde bulundurulmalıdır.

İkinci yapım yöntemi ile yapılan konut binasının duvarları donatılı ve çift cidarlı olarak temel sömeli ile birlikte fabrika/atölye ortamında 3 boyutlu yazıcılar ile basılmış, boyanmış ve şantiyede vinçlerin yardımı ile yerlerine taşınıp birleştirilmişlerdir. Şantiyeye büyük boyutlu elemanların taşınması yapım sürecini biraz yavaşlatmış olsa da bitmiş yüzeyli ve yalıtımı, donatısı duvar içine fabrika ortamında yerleştirilen taşıyıcı duvarlar yerlerine yerleştirildikten sonar başka bir işleme ihtiyaç duymamışlardır.

Üçüncü bina yapım yönteminde ise 2 katlı amorf şekilli Dubai Belediye Binası'nın inşa yöntemi incelenmiştir. Bu sistemde yapıyı oluşturan beton duvarların basılabilmesi için çelik kolon donatıları beton basımından önce daha önce yerinde yapılmış olan temel döşemesi üzerine monte edilmektedir. Bu yazıcı basım gerçekleştirilecek alana vinç ile taşınarak konulmakta ve oda oda gezdirilerek yapıyı basmaktadır. Bu sistem yazıcıyı taşıyacak ekstra bir vinç kullanımını gerekli kılmaktadır.

Çalışmanın değerlendirme kısmında ise 3 boyutlu yazıcılar ile donatı ve betonun aynı anda şantiyede dökülme yöntemleri ve fabrika ortamında 3 boyutlu yazıcılar ile üretilen duvar paneli ve donatı strüktürünün şantiyede birleştirilmesi üzerine öneriler geliştirilmeye çalışılmıştır.

Teşekkür ve Bilgi Notu

Makalede, ulusal ve uluslararası araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Çalışmada Etik Kurul izni gerekmemiştir.

Yazar Katkısı ve Çıkar Çatışması Beyan Bilgisi

Makalede tüm yazarlar aynı oranda katkıda bulunmuştur Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır**.**

Kaynaklar

Akbaba, İ.A., Akbulut, E. (2021). 3 Boyutlu yazıcı ve kullanım alanları. ETÜ Sentez İksidari ve İdari Bilim Bilimler Dergisi, 3,19-46. dio: 10.47358/sentez.2020.13

Bos, F.P, Menna, C., Pradena, M., Kreiger, E., Leal da Silva W.R., Rehman A.U., Wegar, D., … Mechtcherine, V. (2021). The future is now: 3D printed house star to be inhabited in the Netherland. dio: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2022.106746. Erişim Adresi (25.02.2023): https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884622000370

Block, I. (2019). World's largest 3D printed building completes in Dubai. Erişim Adresi (31.08.2024): https://www.dezeen.com/2019/12/22/apis-cor-worlds-largest-3d-printed-building-dubai/

Çelik, D. & Çetinkaya, K. (2016). Üç boyutlu yazıcı tasarımları, prototipleri ve ürün yazdırma karşılaştırmaları. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 5(2). ISSN:2147-3455

Dudek, P. (2013). FDM 3D printing technology in manufacturing composite elements. Archives of Metallurgy and Materials.Vol.58, Issue 4.

Felek, S.Ö. (2019). Mimari yapılarda 3 boyutlu yazıcıların kullanımı. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry 3/3 (Aralık 2019), 289-296. Erişim Adresi (25.02.2023): https://dergipark.org.tr/tr/pub/ij3dptdi/issue/51591/630599

Güler, S., Serindağ, H.T. (2022). Tel Ark Eklemeli İmalat: Son Gelişmeler ve Değerlendirmeler. Mühendis ve Makina, cilt 63, sayı 706, s. 82-116.

Hermes Ltd. (2024). Erişim adresi (31.08.2024); https://insapedia.com/3d-yazici-ile-uretilen-celik kopru/,

Ignjatovic, I., Mitrovic, S.Z., Dragas, J. & Carevic, V. (2022). Structural applıcatıon of 3d concrete prıntıng technology. 16th International Congress Proceeding, 2022, 458-469 doi: https://grafar.grf.bg.ac.rs/handle/123456789/2723

Ituarte, I.F., Foong, S. & Soh, G.S. (2018). Maximizing robot manipulator's functional redundancy via sequential ınformed optimization doi: 0.1109/ICARM.8610834

Khoshnevis, B., & Bekey, G.A. (2002). Automated Construction Using Contour Crafting -- Applications on Earth and Beyond. dio: 10.22260/ISARC2002/0076

Khoshnevis, B. (2003), Toward Total Automation of On-Site Construction An Integrated Approach based on contour crafting. Los Angeles: University of Southern California.

Khoshnevis, B. (2004). Automated construction by contour crafting related robotics and information technologies. Automation in Construction, Vol.13, Issue 1, Sayfa 5-19.

Kloft, H., Empelmann, M., Hack, N., Herrmann, E. & Lowke, D. (2020). Reinforcement strategies for 3D concrete printing. Civ. Eng. Des. 2020; 2:131–9. Erişim Adresi (25.02.2023), https://doi.org/10.1002/cend.202000022.

Libson, H. & Kurman, M. (2013). "Fabricated the New World of 3D Printing". John Wiley & Sons, Hoboken. ISBN: 978-1-118-35063-8

Lim, S., Buswell, R., & Le, T. (2011). Development of a viable concrete printing process. International Association for Automation and Robotics in Construction. IAARCC; 2011 Proceedings of the 28th ISARC, Seoul, Korea.

Lim, S. (2012). Developments in construction-scale additive manufacturing processes. Automation in Construction, 21, 262–268.

Miao, S. (2021). Çin'in 3D baskı mimarisi ve gelecekteki gelişimi. Erişim Adresi (24,02,2021): https://www.archdaily.cn/cn/963754/zhong-guo-3dda-yin-jian-zhu-ji-wei-lai fa-zhan

Mighty Building, Inc. (2023). Build quality, sustainable homes faster. (01.08.2024): Mighty Buildings – Projects & Designs.

Mu, Q., Wang, L., Dunn, C., Kuang, X., Duan, F., Zhang, Z., Qi, H. & Wang, T. (2017). Digital light processing 3D printing of conductive complex structures. Additive Manufacturing. Vol 18, Sayfa 74-83, dio: http://dx.doi.org/10.1016/j.addma.2017.08.011

Nadarajah, N. (2018). Development of Concrete 3D Printing. Master Thesis, Aalto University School of Engineering Building Technology, Finland.

Oberti, I. & Plantamura, F. (2015). Is 3d Printed House Sustainable?. International Conference on Future Buildings and Districts, Lausanne, EPFL Solar Energy and Building Physics Laboratory, Pages 173-178.

Petch, M. (2017). "A new house in only 2 days" countour crafting begins manufacture of 3d printer for construction. Erişim Adresi (22.02.2023) https://3dprintingindustry.com/news/new-house-2-days-contour-crafting-begins-manufacture-3d-printer-construction-116124/

Smith, D. (2012). Printed buildings: an international race for the ultimate in automation. Construction Research and Innovation, 3(2), 26-31.

Souza, E. (2021). The future is now:3D printed house star to be inhabited in the Netherland. Erişim Adersi (25.02.2022): https://www.archdaily.com/961135/the-future-is now-3d-printed-houses-start-to-be-inhabited-in-the-netherlands

Tampı, T. (2015). D-Shape to 3D printer entire luxury estate in New York. Erişim Adresi (22.02.2023):https://3dprintingindustry.com/news/d-shape-to-3d-print-entire-luxury-estate in-new-york-50555/

Uygunoğlu, T., Özgüven, S.B., Topçu, İ.B. (2019). 3d Teknolojisi İle Yapı Malzemesi Üretimindeki Gelişmeler: Internatıonal Journal Of 3d Prıntıng Technologıes And Dıgıtal Industry, 3-3,Pages 279-288

Tay, Y. W. D., Panda, B., Paul, S., Tan, M.J., Qian, S., Leong, K. F. & Chua, C. (2016). Processing and Properties of Construction Materials for 3D Printing. Materials Science Forum 861, Sayfa 177-81.

Tümer , M. B. (2020). Üç boyutlu yazıcılar ve günümüz mimarisinde kullanımı (Yüksek lisans tez). Işık Üniversitesi, İç Mçmarlık. Erişim Adresi (23.12.2024): https://research.isikun.edu.tr/entities/publication/05fa830b-259a-4c03-a5ca-1e32a72d334c

Vaha, P. (2013). Extending automation of building construction — Survey on potential sensor technologies and robotic applications. Automation in Construction, 36, 168–178.

Wadea, A., Atef, M. G., Moath, A., Hisham A. & Abdulrahman A. (2018). An overview of selective laser sintering and melting research using bibliometric indicators. *Virtual and Physical Prototyping,* Vol. 13, Issue 4,Pages 282-291, 2018, DOI: 10.1080/17452759, Erişim tarihi 05.01.2023

Url-1: Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing. Erişim Adresi: https://formlabs.com/asia/blog/what-is-selective-laser-sintering/. Erişim Tarihi: 10.01.2024

Url-2: 3D Baskı Ev İnşa Etmenin 5 Temel Yolu Nedir?. Blog Erişim Adresi: https://blog.3dortgen.com/etiket/3d-baski-ev/?print=print-search, Erişim Tarihi: 01.02.2024

Url-3: Belçika'da inşaat ustası olmadan 3D yazıcıyla iki katlı ev inşa edildi, Erişim Adresi: https://www.youtube.com/watch?v=dnoksCqJCA4, Erişim Tarihi: 03.05.2024

Building Production with 3D Printers; Examples of Buildings with Reinforced Concrete Wall and Structural System - Development of a Proposal

Summary

Technological advances have accelerated the development and use of three-dimensional printers. These printers transform digital models into physical objects using different printing techniques. Especially in fields such as architecture, engineering and industrial design, three-dimensional printers provide flexibility and ease of application in projects thanks to digital modelling methods.

The first three-dimensional printer, invented by Charles Hull in 1983, used SLA (Stereolithography) technology. These printers, which were expensive and complex at first, are now widely used in various sectors such as medicine, automotive and aerospace. In 2014, the first architectural structure was produced with a three-dimensional printer. The development of three-dimensional printers has been supported by various methods and technologies, which has expanded the usage areas of printers.

Five basic methods are used in object printing with three-dimensional printers: SLA, DLP (Digital Light Processing), SLS (Selective Laser Sintering), FDM (Fused Deposition Modelling) and LOM (Laminated Object Manufacturing). These methods enable the production of objects with different materials and techniques.

In this study, object and steel reinforced/carrier building production methods with 3D printers have been compiled from various sources by conducting a literature research and have been classified and discussed in detail here. An example of building production methods using concrete and steel with 3D printers, which saves material and time in building production, is examined and evaluations are made regarding the possibility of concrete and steel production at the same time, which is the next step in the future. In the production of buildings where concrete and steel are used together with 3D printers, both concrete mortar and steel cannot be produced with the same head due to the difference in the printing stage of steel, so it is necessary to produce the two materials in different ways or at different times. In the evaluation part of this study, suggestions are presented to eliminate this factor that affects the speed that 3D printers bring to the construction phase.

According to Lim (2012), there are many reasons that lead the contractor to use automation systems in the construction industry. Some of them are the desire to reduce construction time and production cost at the construction site and to create freer designs in architectural designs. Vaha (2013) argues that different expectations added to the construction industry such as quality, safety, life cycle cost savings and simplification of the workforce have made the use of 3D printers mandatory. In construction sites, sample machines based on automation systems are used for countless repetitive operations such as automatic brick laying, concrete spraying and precast element pouring techniques (Lim, 2012), (Tümer, 2020).

Concrete-based materials can also be used as printing material in three-dimensional printers. Concrete printing technique enables the production of structures by pouring cement-based concrete with mortar consistency in layers. This method enables building construction without the use of moulds, which significantly reduces construction costs.

The use of 3D printers in building construction offers several advantages over traditional methods. Complex geometric structures can be produced without additional costs. In addition, production can be made on demand without the need for pre-production, which eliminates the need for storage. Structures built with three-dimensional printers can offer rapid shelter solutions in earthquake and other disaster situations. However, there are also disadvantages such as the fact that this technology is not yet widespread and processes such as reinforcement placement slow down the construction process

In the above section, the production of reinforced concrete elements with 3D printers has been discussed. In this section, the production methods of an entire reinforced concrete structure with 3D

printers will be examined. In the last decade, many structures have been built with steel and concrete materials using 3D printers.

In this method, the building is formed by assembling floor-height panels with metal frames with concrete cladding around them (Figure 17). An example of this system is the holiday village project house consisting of 15 zero-energy houses developed by Mighty Buildings and planned to be built in California. In the Mighty Cinco project, which is produced as a sample house, the inner and outer surfaces of the panels were printed using a three-dimensional printer. These panels are mounted on a steel frame installed on the foundation (Figure 18). Steel profiles inside the panels are used as support elements. Vertical steel profiles are connected to each other to form a frame with steel profiles in horizontal direction. Exterior and interior insulated lightweight concrete panel surfaces produced with a three-dimensional printer are mounted to the steel profile system using metal fasteners. Metal connection profiles are placed vertically or horizontally in order to connect the facade panels produced at floor height to each other and to the steel column beams (Figure 19). Polyurethane material was used to act as thermal insulation between the concrete surfaces of the wall panels produced using a three-dimensional printer. Polyurethane foam squeezes the gap between the inner and outer surface panel and fills the gap.

In this method; the building elements such as walls, beams and slabs that make up the building are produced in the factory environment equipped with 3D printers, and the building is formed by mounting these elements on the foundation and slab poured on site at the construction site. As an example of this system, the single storey Milestone project, whose production was completed in 120 hours and whose walls are load-bearing, was analysed (Figure 20). These wall elements, which are produced in the factory environment at the height from the foundation to the lintel level (Figure 21), are produced in 2 layers with hollow interior. The wall panels transported to the construction site were assembled with the help of a crane and the construction of the building was completed (Figure 20). The exterior wall panels printed with 3D printer are the main carrier elements that carry the loads acting on the structure, so they were produced with thick cross-section and the interior was designed with two compartments as shown in Figure 21. The air layer inside the panels provides thermal insulation. During the printing process of these panels, the durability of the wall was increased by placing metal wire reinforcements inside the inner part.

The production technique of reinforced concrete buildings printed with 3D printers is as follows; the column reinforcements of the building designed in the skeleton system are placed in place before the printing process starts and the concrete pouring is then carried out to surround these reinforcements.

The Dubai Municipality building was realised by placing the column reinforcements with the 3D printer seen in the construction phase photograph in Figure 22, and then pouring the concrete on site to form a hollow wall form. The walls with curvilinear form were easily poured with the printer moving in the horizontal direction and in the centre, which was placed by moving to the centres of the spaces. The reinforcements used in the columns are connected to the cast-in-place raft foundation with anchorage elements. The vertical column reinforcements in Figure 22 are connected to each other with stirrups in horizontal direction. The column mould (outer contour) and the outer walls of the structure are printed with a 3D printer. After the outer contour of the column to be used as a mould hardens, the columns are formed by filling the inner part where the reinforcements are located with concrete filling.

The printer does not press concrete in the parts where the door gaps will be formed. After the gap is formed, a wooden lintel is placed in this part and then concrete mortar is continued to be printed on the lintel. Supports are placed under the lintel and these supports are removed after the concrete sets. Window openings in the building are formed by using wooden lintel and metal support elements as in the door openings.

Reinforced concrete building casting with 3D printers can be done in 3 different ways as described in the previous section. With these methods, concrete material wastage is reduced, construction is possible in a shorter time with fewer teams and workers, more flexible forms of walls and buildings can be produced, and higher tensile and flexural strength is provided to concrete elements.

In addition to all these, in all methods, the stages of placing reinforcement into the concrete element affect the construction process to some extent. Building production with a printer that prints both concrete material and reinforcement at the same time has not yet been realised. However, in the Red Light district of Amsterdam, the first steel bridge with a width of 12.5 m, a length of 63 m and a weight of 45 tonnes was printed with a 3D printer (Figure 25). The printer used in the construction of the bridge is shown in Figure 26. The printer melts the steel metal and forms the bridge by printing the steel material in layers according to the model created in the digital environment. The molten steel coming out of the end of the printer quickly hardens. The steel carrier and the top coating of the Red Light bridge were created with a 3D printer in the factory environment and then the bridge was transported on the channel and assembled in place.

With today's technology, structure printing is realised by using a single nozzle. In this section, two different suggestions are presented on how to print steel structural elements and concrete material together in building construction with 3D printers with the developing technology.

In the first method, in the 3D printer setup shown in Figure 25.(a), casting can be done using two separate printers and printing tips that print steel and concrete materials.

In the second proposed method, the arm carrying the print head placed on adjustable feet moves back and forth horizontally (Figure 26-27). In this system, there is only one print head on the arm. Structures can be produced by using two separate print heads that print concrete and steel materials on the arm. First, the steel material is printed in molten form to a certain height from the head with steel material and hardens immediately after printing. Then, the structure is formed in the vertical direction by printing concrete around the steel material. A second production alternative here is to place the two arms carrying the heads on the legs and build the structure by first pressing the steel material and then the concrete.

A method similar to the system used in welding machines is used to melt the steel material at the pressing end that presses the steel. For this reason, concrete and steel material cannot be printed from the same end. With technological progress, a printing tip that can print two materials on 3D printers can be made in the future and steel and concrete can be printed with the same head.

At the construction site, the reinforced concrete raft foundation of the building is poured first. The building consists of a steel frame system and panels suspended on them. The frame system produced in the factory is anchored to the foundation at the construction site. Depending on the span, additional secondary beams may be required in addition to steel beams according to the project. Interior and exterior wall panels, floor and roof panels are produced in the factory by printing concrete material around vertical and horizontal steel profiles with a 3D printer, and the building can be constructed with prefabricated elements by sitting and assembling on steel beams on site with the help of profiles left on the edges of the elements (Figure 28). In wall panels printed with 3D printers, window/door openings can be created at the printing stage and panels can be produced. The panels are mounted to the carrier steel frame system with metal connections and the rough structure of the building is completed.

In this article, production methods with 3D printing system, building production methods and steel reinforced/carrier structure production methods are examined. Three examples of buildings made with these production methods were examined and the methods of printing concrete and steel at the same time, which could not be done in the examples, were investigated.

By using 3D printing methods, structures with different geometries can be produced more easily than traditional construction methods, and it is possible to meet the need for housing construction by providing rapid building production after disaster events such as earthquakes and floods, very quickly, at less cost and using less manpower. Thanks to the 3D printer's mobility and printing tip, designs in more free forms in architectural designs can be created faster and at less cost. The building can be printed without being affected by climatic conditions. There are different structures built with 3D printing method. Until today, 1 and 2-storey buildings have been built in Europe and America, a single-

storey building and furniture used in urban areas have been printed in Turkey, and 5-storey and 2-storey houses have been built in China.

The workmanship of the connection points is very important in the first of the 3D building construction methods examined in the study, where panel wall elements are assembled with fasteners to the steel carrier system. Especially if this technique is to be used in multi-storey buildings, wind forces should be taken into consideration.

The walls of the residential building constructed with the second construction method were printed with 3D printers in the factory/workshop environment together with the reinforced and double-walled foundation slab, painted and transported to the construction site with the help of cranes and assembled. Although the transportation of large-sized elements to the construction site slowed down the construction process a little, the load-bearing walls with finished surfaces, insulation and reinforcement placed inside the wall in the factory environment did not need any further processing after they were placed in their places.

In the third building construction method, the construction method of the 2-storey amorphous shaped Dubai Municipality Building was examined. In this system, in order to print the concrete walls of the building, steel column reinforcements are mounted on the foundation slab, which was previously built on site before concrete printing. This printer is transported by crane to the area where the printing is to be carried out and is moved from room to room to print the structure. This system requires the use of an extra crane to carry the printer.

In the evaluation part of the study, it was tried to develop suggestions on the methods of pouring reinforcement and concrete at the construction site at the same time with 3D printers and the combination of wall panel and reinforcement structure produced with 3D printers in the factory environment.