

3D TEKNOLOJİSİ İLE ÜRETİLEN YAPI MALZEMELERİ VE ÖZELİKLERİ

Tayfun UYGUNOĞLU[a*], Sevcan BARLAS ÖZGÜVEN[b], İlker Bekir TOPÇU[c]

[a,b]Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE
[c]Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

**Sorumlu Yazar:* uygunoglu@aku.edu.tr

ÖZET

Gelişen teknoloji ilk çağlardan beri her geçen gün yeni çözümleri de beraberinde getirmektedir. Bu çözümlerin ortak amacı insanların hayatını kolaylaştırmak ve bunu gerçekleştirirken de yaşadığımız evrene en az zararı vermektir. Modern çağın gereği olarak zamanı ve sürdürülebilir yaşam için malzeme üretiminde kullanılan hammadde kaynaklarını etkili kullanmak zorunluluk olmuştur. Hızlı ve ekolojik üretimin yanı sıra maliyeti de düşürecek yeni teknolojiler birçok sektör olduğu gibi yapı sektöründe de öncelikli alanı oluşturmaktadır. Bu teknolojik gelişmelerin en yenilikçisi olan 3D teknolojisi de bunlardan biridir. Alışılagelen yöntemlere göre işçilik, malzeme ve zamandan tasarruf sağlayarak yapı üretimine farklı bir boyut kazandırmayı hedefleyen 3D teknolojisiyle inşaat sektörü yeniden şekillenmeye başlamıştır. Günümüzde bir yapıyı 3D baskı beton teknolojisiyle inşa edecek çalışmalar denenmeye başlanmıştır. Ancak yapılan çalışmalar henüz günümüz çok katlı yapılarını inşa etmeye yetecek düzeyde değildir. 3D teknolojisinin inşaat sektöründeki etkisini hızlandırmak için geleneksel üretime bağlı kalınan yapılarda en azından kullanılan yapı malzemelerinin üretimini 3D teknoloji ile sağlamak gerekmektedir. Bu çalışmada bir yapıyı oluştururken kullanılan tuğla, demir ve beton gibi yapı malzemelerinin 3D teknoloji ile üretim tekniklerinden ve özeliklerinden bahsedilmiştir.

Anahtar kelimeler: 3D teknoloji,Yapı malzemeleri,Tuğla, Beton, Seramik

ABSTRACT

Developing technology has brought new solutions every day since the beginning. The common purpose of these solutions is to make people's lives easier and to give the least damage to the universe we live in. As a necessity of modern age, it has been obligatory to use the raw material resources used in the production of materials for time and sustainable life. In addition to the fast and ecological production, the new technologies that will reduce the cost also constitute the priority area in the construction sector as well as in many sectors. One of them is 3D technology, which is the most innovative of these technological developments. Construction sector has begun to be reshaped with 3D technology which aims to bring a different dimension to the structure production by saving labor, material and time according to conventional methods. Nowadays, studies to build a structure with 3D printing concrete technology have been tried. However, the studies are not yet sufficient to construct modern multi-storey buildings. In order to accelerate the impact of 3D technology in the construction sector, it is necessary to provide the production of the building materials that are used at least in the constructions that are connected to traditional production with 3D technology. In this study, we used bricks, iron, etc. The production techniques and properties of construction materials with 3D technology were mentioned.

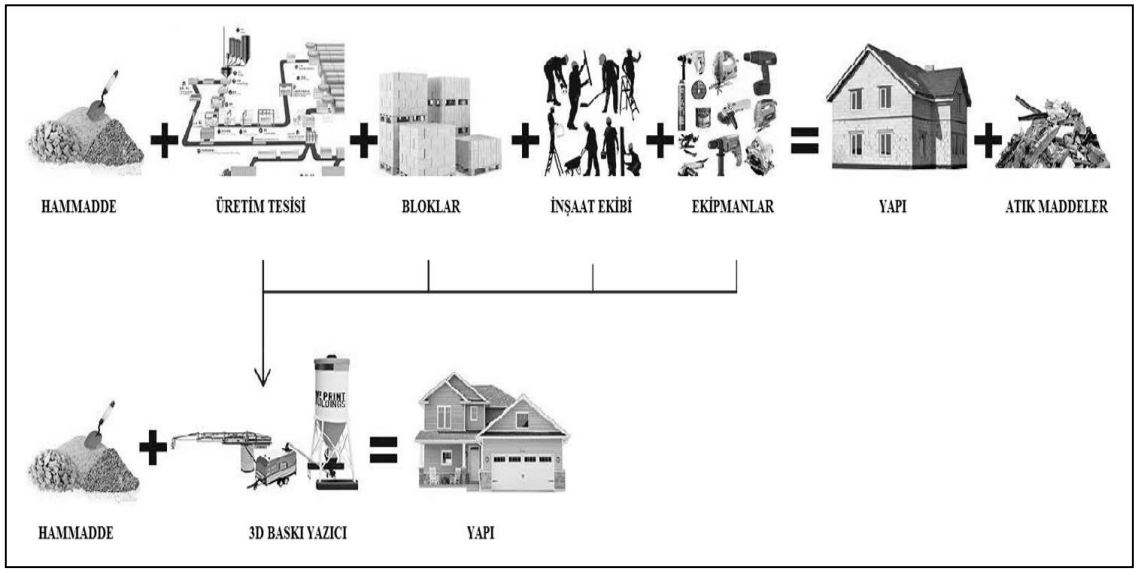
Keywords: 3D Technology, Building Materials, Brick, Concrete, Ceramic

1. GİRİŞ

Yeni bir sanayi devrimi olarak nitelendirilen 3D baskı, farklı hammaddelerin bir araya getirilerek, bilgisayar destekli tasarım modellerini somut nesnelere dönüştürme amaçlı olarak katmanların art arda eklenmesi işlemidir. 3D baskı teknolojileri endüstriyel uygulamalar üzerinde geniş bir etki alanına sahiptir ve bu teknoloji ile otomotiv sektöründen tıp, güvenlik, ve havacılık sektörlerine kadar birçok alanda çok sayıda uygulamalar geliştirilmiştir [1].

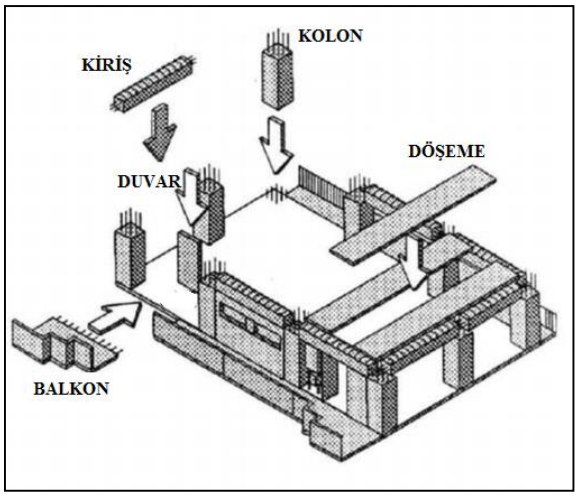
Birçok sektörde çığır açarak değişimlere neden olan 3D baskı teknolojisi inşaat sektörünü de etkisi altına almıştır. İnşaatta yapı üretimi tasarım, projelendirme ve uygulama olmak üzere önemli aşamalardan oluşmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte dijital üretim uzun zamandır yapıların tasarım ve projelendirme aşamasında kullanılmaktadır. Yapının tasarım ve projelendirmesi iki boyutlu (2B) çizim ve ölçek modellerine dayanmaktadır. Günümüzde ise 2B çizimler ve prototiplerin yerini üç boyutlu (3B) modelleme teknikleri almaktadır. Dijital modelleme yöntemleriyle birlikte tasarımcılar, mimarlar ve mühendisler projelerinde gerekli değişiklikleri kolaylıkla yapabilme, uygulama öncesi ortaya çıkabilecek sorunları görebilme ve uygulama aşamasında öngörülemeyen durumlarda meydana gelen değişiklikleri gerçekleştirme avantajına sahip olmuşlardır.

Yapı üretiminin uygulama aşaması ise tasarım sürecindeki kadar hızlı bir değişim göstermeyerek geleneksel yöntemle yapı üretimine bağlı kalmıştır. Beton, hem yerinde hem de prefabrik olarak, dünya çapında ana yapı malzemelerinden biri olarak kullanılmaktadır. Betonun en yaygın yapı malzemesi olarak tercih edilmesi, düşük üretim maliyeti, çeşitli şekillerde kalıplanabilirlik, yüksek ısıl direnç ve göreceli olarak yüksek dayanıklılık gibi sahip olduğu çeşitli avantajlardan kaynaklanmaktadır. Ancak son yıllarda inşaat sektöründe ve özellikle beton teknolojisinde geleneksel yöntemle karşılaştırıldığında tasarım özgürlüğü sağlaması, inşaat süresinin ve insan gücünün azalması, daha az malzeme israfı ve daha az atık madde açığa çıkması, maliyeti düşürmesi nedenlerinden dolayı 3D baskı teknolojisine ilgi artmaktadır (Şekil 1). Ayrıca otomatik yapı üretim teknolojisi, yerinde inşaatların tek bir aşamada geliştirilmesini kolaylaştırır; bu şekilde inşaat ekipmanlarının taşınması, montaj işlemleri, işçilik maliyetleri ve inşaat işleri sırasında yaralanma riskini azaltır.



Şekil 1. Geleneksel yöntemle yapı üretimi ile 3D baskı otomatik yapı üretiminin karşılaştırılma şeması

3D baskı yazıcı ile otomatik yapı üretim inşasını gerçekleştirmeye yönelik ilk çalışmalar, 1980'lerde Japon şirketleri tarafından çoğunlukla iki çalışma kategorisi üzerine yapılmıştır [2]. İlk kategoride, tek görevli robotlar şantiyelerde beton zemin kaplaması, sprey boyaması, fayans kontrolü ve malzeme taşıma gibi basit iş aktivitelerinde kullanılmışlardır. İkinci kategori de ise, Şekil.2'de gösterildiği gibi prefabrik bileşenler kullanarak yüksek katlı çelik binalar veya çelik betonarme binalar inşa edebilen tam otomatik sistemlerden faydalanılmıştır [3].



Şekil 2. Prefabrik bileşenler kullanılarak üretilen bina şematik gösterimi [3].

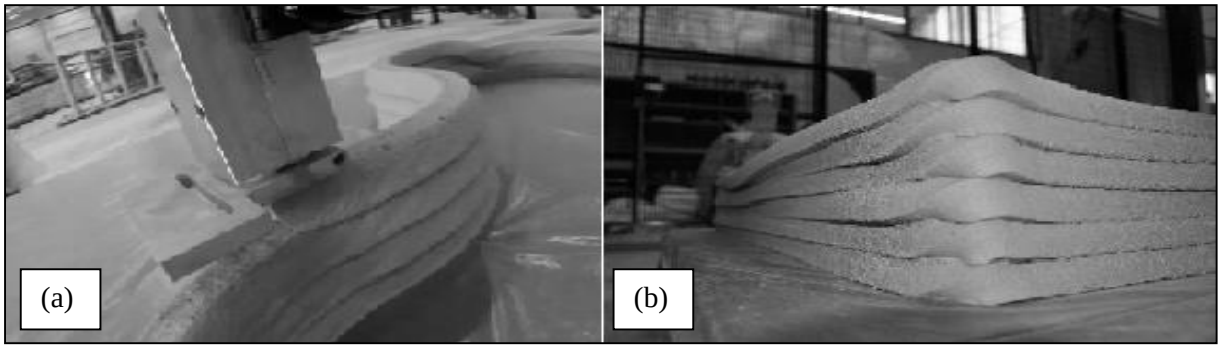
3D baskı yazıcının üretim aşamasında kullanılabilmesi içinde basılacak nesnelerin boyutlarından dolayı, metal veya plastik nesneler için kullanılanlardan çok daha büyük yazıcılar veya daha genel olarak robotik makineler gerekmektedir. Ayrıca 3D baskı otomatik yapı üretimi yapısal elemanlarının mekanik özelliklerinin karşılaştırılması ve modellenmesi için standart bir test yoktur. Tüm bu zorluklar göz önüne alındığında, akıllı sistem tasarımına, çevre dostu ve uygun fiyatlı yapı üretimine olanak sağlayacak malzeme geliştirmeye ihtiyaç vardır. Bu yazıda, 3D baskı yazıcı otomatik yapı üretimine ve bu teknoloji ile üretilecek malzemelerin teknolojisine genel bir bakış sunulmaktadır.

2. 3D BASKI YAZICI OTOMATİK YAPI ÜRETİM PRENSİBİ

Konvansiyonel metotla yapı üretiminde kullanılan beton, agrega, çimento ile suyun, kimyasal ve mineral katkı maddeleri ilave edilerek veya edilmeden homojen olarak üretim teknolojisine uygun olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, zamanla katılaşıp sertleşerek mukavemet kazanan kompozit bir yapı malzemesidir. Projelendirme aşamasında belirlenen yapı elemanlarının şekil ve boyutlarında kalıplar hazırlanarak içlerine taze beton yerleştirilir. Kalıplar içerisine yerleştirilen beton sertleşip dayanım kazandıktan sonra sökülür ve sökülme işleminden sonra da betonun sertleşip dayanım kazanması devam eder. Taze ve sertleşmiş betonun bütün özeliklerini kullanılan çimentonun, agreganın, suyun ve katkı malzemelerinin özelikleri, karışım içindeki oranları etkiler.

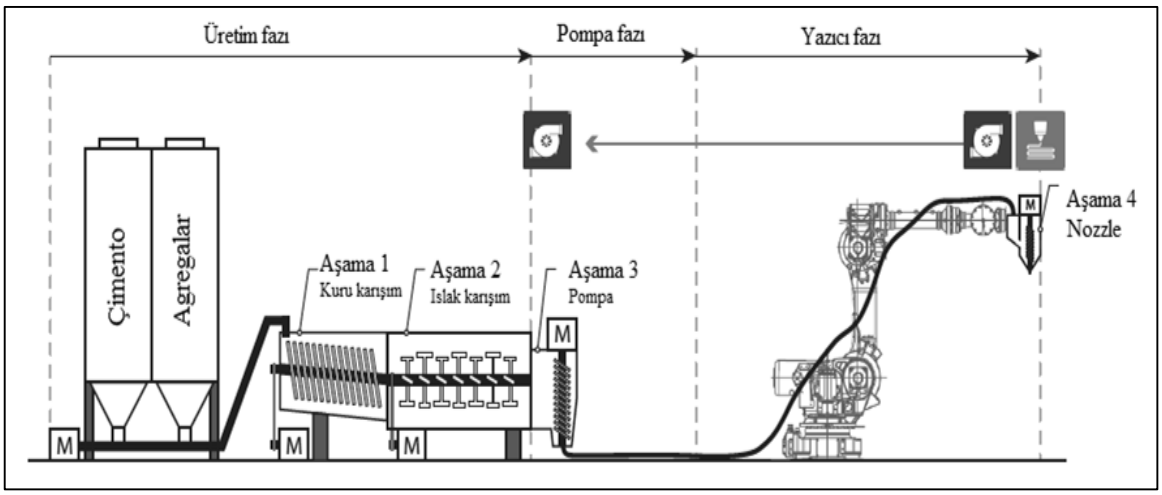
Konvansiyonel metottaki beton yerleştirme işleminin aksine 3D baskı yazıcıda kalıpsız katmanlı üretim esastır ve yerleştirme esnasında baskı katmanının genişliği ve kalınlığı kontrol edilmelidir (Şekil 3.a,b) [4]. 3D baskı yazıcılarla yapı üretimi yapılabilmesi için öncelikle 3 boyutlu model tasarıma ihtiyaç vardır. Bilgisayar ortamında tasarlanan çizimlerin somutlaştırılması için de 3D baskı yazıcılarda çimento esaslı harç malzemesi kullanılmaktadır. Harç ise çimento, su ve ince agrega karışımından oluşan ve içerisinde iri agrega bulunmayan bir karışımdan oluşmaktadır.

.



Şekil 3. 3D baskı yazıcı ile a) harç filamentlerin basılması ve b) bükülmesi.

Katmanlı üretim yapacak olan yazıcının harcı yazdırma işlemi, üç farklı faz ve dört aşamadan oluşmaktadır (Şekil.4). Üretim fazında baskı işleminde kullanılacak olan harcı oluşturan malzemeler iki farklı besleme tankına yerleştirilir. İlk aşamada bu malzemelerden kuru karışım, ikinci aşamada ise ıslak karışım hazırlanır. Pompa fazına geçildiğinde üçüncü aşama olan pompa devreye girer ve pompalama sırasında malzeme bir borudan geçerek nozula aktarılır. Yazıcı fazı ise pompayla iletilen harcın son aşamadaki nozul olarak adlandırılan hareketli uçtan belirli noktalara (extruding) sıkılması işlemiyle gerçekleştirilir. Daha sonra malzemenin katılaşması ile üretim tamamlanmış olur.



Şekil 4. 3D baskı yazıcı otomatik yapı üretim fazlarının şematik gösterimi.

3D baskı yazıcılarla otomatik yapı üretimi bu üç ana faz üzerinde şekillenmiş olmakla birlikte, projeye göre baskı işlemlerinde farklılıklar olabilmektedir. Le vd. [5,6] 9 mm nozulu (Dmax = 2 mm) olan ve dijital olarak kontrol edilen baskı işlemi kullanırlarken, Malaeb vd. [7] 3D proje için tasarladıkları arkasında iki tane mala ile 2 cm çapında bir ağızlık (Dmax = 2 mm) olan bir makineyi, üç eksenli bir düzlemde hareket ettirmek için kullanmışlardır. Aynı zamanda Gosselin ve arkadaşları da [8], 6 eksenli robot koluna monte edilmiş bir baskı kafasından oluşan baskı makinesiyle çalışmalarını yürütmüşlerdir.

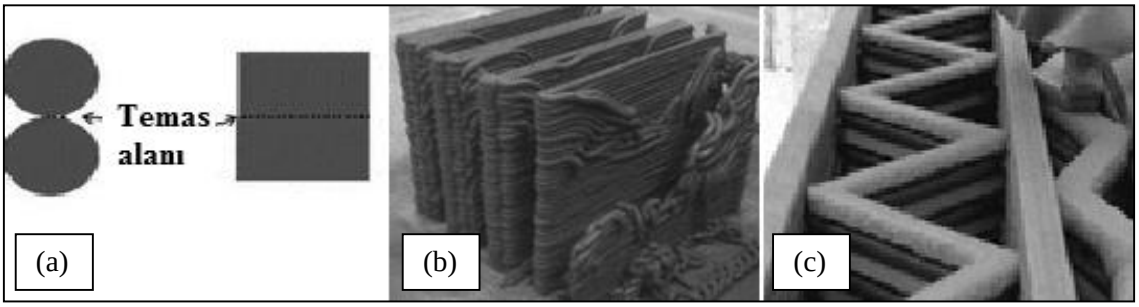
3. 3D YAZDIRILABİLİR MALZEMELERİN OPTİMİZE KARIŞIM ESASLARI

3D Baskı yazıcı ile otomatik yapı üretimi, malzemenin sürekli ve yüksek derecede kontrolünü gerektirdiğinden, yazdırılabilir harç karışımında yüksek performanslı inşaat malzemeleri tercih edilir [9]. Ayrıca, 3D baskı yapılar için destekleyici kalıp kullanılmadığından, geleneksel beton doğrudan kullanılamaz. Yatak katmanlarında çok az veya hiç deformasyon olmaması beklendiği için, sıfır veya çok düşük çökme değerinin elde edildiği beton harç karışımı gerekir (Şekil.6). Bu nedenle düşük viskoziteli betonda, basma işleminin çabuk ayarlanması için nozula bir kimyasal hızlandırıcı eklenerek pompalama kolaylığı sağlanır. Düşük çökme beton üretimi, ince tanelerin granülometrik özelliklerine özel bir özen gösterilmesini gerektirir.

Pompada, pompalanması kolay olacak nispeten yumuşak bir malzeme gerekirken, nozulda sert bir malzeme istenir. Böylece yazdırılan harçta sarkma veya şekil kaybetmenin önüne geçilmesi hedeflenir. Beton, heterojen bir malzemedir ve çeşitli ebat, şekil ve yoğunluktaki partiküllere sahiptir. Bu nedenle, iyi bir pompalanabilirlik sağlamak için dikkatlice tasarlanmış ve optimize edilmiş karışım tasarımı gereklidir [10].

3D baskı yazıcı ile üretim, katmanların art arda eklenmesiyle oluştuğu için basılan filamentin kendinden sonraki filamenti çökmeden veya deforme olmadan üstünde tutabilme kabiliyetini gerektirir. Katman kusurları ve yerleşmeleri ardışık katmanlar eklendiğinde kararsızlığa neden olabilir [11]. Geleneksel beton yapımında, beton yapı elemanlarına kalıpta yerleştirildiği ve desteklendiği için bu bir sorun oluşturmamaktadır. Ancak 3D baskı yazıcı ile üretim kalıpsız

olduğundan, basılan harç filamentin kendini destekleyebileceği karışım dizaynı kaçınılmaz olmaktadır. Beton malzeme özeliklerinin ayarlanmasının dışında yapısal inşa edilebilirliği arttırmanın basit bir yolu da nozul tipini değiştirmektir. Çünkü nozul tipi harç temas alanını doğrudan etkilemektedir (Şekil 5.a). Dairesel bir nozul deliğinde iki katman arasındaki temas alanı dikdörtgen veya kare bir delikle karşılaştırıldığında daha az olmaktadır (Şekil 5.b). Dolayısıyla dikdörtgen nozuldan yazdırılan elemanlar daha kalıcı bir şekilde üretilebilmektedir (Şekil 5.c)



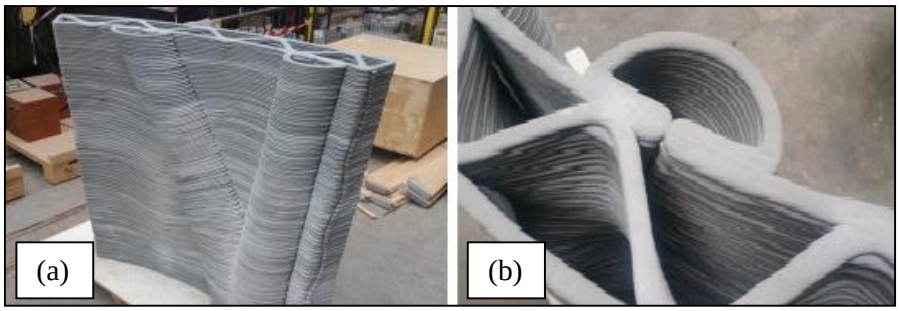
Şekil 5. Nozul deliğinin şekline bağlı olarak filamentler arası boşluk (a: temas alanı; b: daire kesitli harç flament; c: dikdörtgen kesitli harç flament)

3D baskı beton harç dayanımında su/çimento oranı en önemli faktör olmakla birlikte mukavemette kürleme, ara katman bağlantılarına göre test yönü, lif takviyesi durumunda lif yönelimi de oldukça etkilidir. 3D baskı yapı üretiminde baskı yönünün ve baskı süresinin, basılı nesnelerin toplam taşıma kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu varsayılmaktadır. Beton harcın pompalanabilirliğini kaybetmeden katmanın yazdırılması ve sonraki katmanı oluşturacak harç karışımının basıma hazır duruma getirilmesi için gereken zaman ayarları yapılmalıdır. Uygun zaman aralığı seçimi, taze beton tabakalarındaki bağlayıcıların hidratasyonunu veya kimyasal reaksiyonunu tamamlamasına ve iki tabaka arasındaki bağı kuvvetlendiren bir kristal yapının oluşmasına yol açabilir. Katmanlar arası zaman aralığının artmasıyla da, alt katman kümelendikçe, sertleştikçe kimyasal bağın azaldığı varsayılır. Ek olarak, diferansiyel katmanlar arası kuruma büzülmesi oluşabilir ve nihai katmanlar arası bağ kuvvetini önemli ölçüde etkiler [12]. 3D baskı beton harçlar için hazırlamış standartlar olmasa da, geleneksel üretim yöntemine uygulanan testler numunelere uygulanarak yazdıralabilir harç için en uygun karışım optimize edilmeye çalışılmaktadır.

4. ÜÇ BOYUTLU YAZICILARLA ÜRETİLEN YAPI ELEMANLARI

4.1. 3D Baskı Yazıcı İle Çimento Esaslı Duvar Üretimi

3D baskı yazıcı ile üretilen duvarlar kalıp görevi görerek boşluklu yapı oluşturmaya ve içerisine demir donatı ilave edip beton ile doldurulmaya imkan sağlamaktadır. Bu yöntem ile duvar üretiminde katman tabaka oluşturabilme kriteri olan erken mekanik dayanımı sağlamak, işlenebilirlik ve baskı sürecini hızlandırmak için çimento esaslı malzeme karışımı dizayn edilmektedir. Baskılı tabakalar arasında ara yüzlerin kalitesini arttırmak ve yeterli reolojiyi elde edebilmek için çimento esaslı malzemeye katkılar da ilave edilebilmektedir. 3D baskı yazıcı ile üretilen duvarlarda geometrik şekil özgürlüğü ile birlikte verimlilik ve işlevsellik hedeflenmelidir. Yapısal elemanlara ilave fonksiyonlar eklenebilir, yani sadece mekanik özelikler değil aynı zamanda ısı yalıtımı, ses yalıtımı, vb. özellikler de sisteme dahil edilebilir. Isı yalıtımı yapı fiziği yanında enerji tasarrufu açısından üzerinde durulması gereken bir sorundur. Duvarın ısı yalıtım verimliliği, termal köprülerin azaltılmasında yatmaktadır. Bütün yapısal eleman boyunca akan ısı miktarı geometriyi optimize ederek azaltılabilir (Şekil 6.a). Toplam ısı akışı sistemdeki en iyi iletken malzemenin, yani betonun enine kesitiyle orantılı olduğu için, çoklu optimizasyonun hedefi, yapısal performansını korurken duvarın iki tarafı arasındaki temas alanını azaltarak iç ve dış yüzler arasındaki genel ısı transferini sınırlamaktadır. Geleneksel duvar tasarımına kıyasla, yalnızca iç donatı geometrisini optimize ederek (Şekil 6.b), ısı yalıtım performansında %56'lık bir kazanç elde edilebilmektedir [13].



Şekil 6. 3D baskı yazıcı ile üretilen çok fonksiyonlu duvar modelleri [13].

3D baskı yazıcılar ile, komple bir duvar oluşturmak için diğerleriyle birlikte monte edilebilecek, hem yapısal hem de akustik performansın genel bir elemanı olarak tasarlanabilecek duvarlar da oluşturulabilmektedir. Farklı delik geometrileri, duvar hücrelerinin geometrisine ve malzeme özelliklerine bağlı olarak geçen akustik dalgaları hafifleterek, elemana gelişmiş ses geçirmezlik özellikleri de sağlayabilmektedir (Şekil 7) [13].



Şekil 7. 3D baskı beton ile üretilmiş akustik duvar sönümleme elemanı [13].

4.2. 3D Baskı Yazıcı ile Yapı Üretiminde Donatı Bağlanması

Beton ile 3D baskı içeren çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir ve pratikte uygulamaların sayısı katlanarak artmaktadır. Bu yaklaşımların çoğu, betonun yerleştirilmesine odaklanırken, donatı için önerilen çözümler beton baskı kavramlarının gerisinde kalmaktadır. Beton yapılar daha iyi yapısal performans ve yapısal güvenilirlik için, takviye ilavesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, 3D baskı betonla yapılan katmanlı otomatik yapı üretiminde dikey donatı yerleşimi ve donatı arasındaki bağlantının yapımı oldukça zor olmaktadır. Bu nedenle, 3D baskı beton yapısını güçlendirmek için, beton, karbon fiber veya fiber takviyeli polimer (FRP) ile karıştırılmış kompozit fiber gibi alternatif donatı yolları ortaya konabilir, ancak bunlar 3D baskı teknolojisinde kapsamlı bir inceleme ve yenilikçi ayarlamalar gerektirir [14].

3D baskı yapılarda donatılı yapı performansının elde edilebilmesi, takviye donatı ile birlikte beton basabilen hibrit bir baskı sisteminin geliştirilmesiyle mümkün olmaktadır. Böyle bir sistemde takviye donatı manuel olarak yerleştirilebilmektedir. 3D baskı beton üretiminde takviye donatının manuel olarak yerleştirilmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntem kontur hazırlama tekniğidir [15]. Bu teknikte çoğunlukla dikey yapısal elemanların konturları, genellikle 2-5 cm genişliğinde ve genel olarak 1-3 cm yüksekliğinde beton filamentlerin basılmasıyla üretilmektedir. Bu konturlar akıcı betonla doldurularak kalıcı ve entegre bir kalıp oluştururlar. Kalıp doldurulmadan önce, içine dikey ve yatay donatı çubukları yerleştirilmektedir (Şekil 8). Ayrıca yatay çubuklar 3D baskı işlemi sırasında münferit beton tabakaları arasına da yerleştirilerek üretim yapılabilmektedir.



Şekil 8. 3D baskı yazıcı ile üretimde donatı çubuklarının yerleştirilmesi.

Basılı bölümlerin tamamlanmasından sonra kesintisiz olarak çubuk veya eşzamanlı olarak doğrudan beton baskı sırasında yazıcı kafasını kullanarak bir çelik tel yerleştirilerek de uygulanabilir (Şekil 9). 3D baskı yazıcılarla otomatik yapı üretimiyle yapılan uygulamalarda, ara katmanlara veya harç filament katmanları arasına donatı yerleştirilebildiği gibi doğrudan elle önceden bağlanmış takviye kafesinin yanından beton ekstrüzyon edilerek hibrit yapı oluşturulabilmektedir.



Şekil 9. 3D baskı robotik yazıcı ile donatı teşkili.

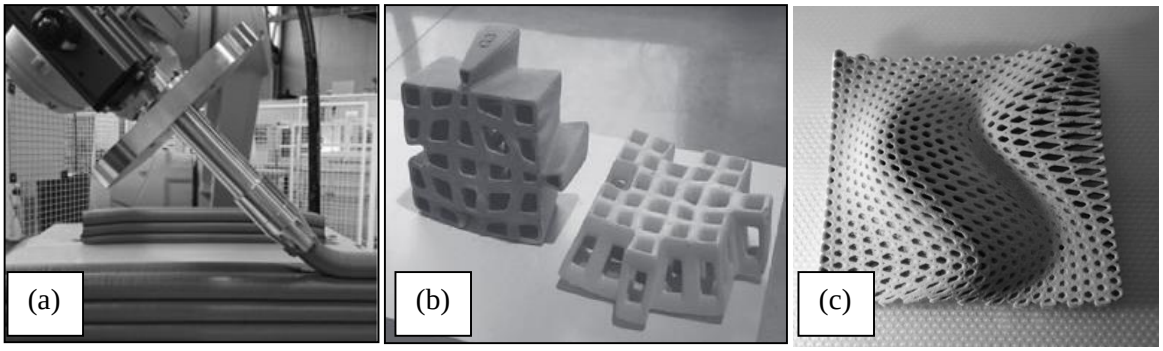
3D yazıcı tekniği ile betonarme duvar elemanlar yanı sıra prefabrik kiriş elemanlar da tasarlanmıştır. Beton elemanların çekme dayanımlarının düşük olmasından dolayı geliştirilen prefabrik kiriş elemanların dış yüzeylerinden çelik donatılarla güçlendirilme yapılmıştır. Bu tip elemanların geometrik olarak geliştirilesi ve yük altındaki çeşitli testlerinden sonra büyük açıklıkları geçmede kullanılabileceği düşünülmektedir.



Şekil 10. 3D yazıcı ile üretilmiş prefabrik kiriş

4.3. 3D Baskı Yazıcı ile Üretilen Seramik Duvar Elemanları

3D baskı malzemelerle ekstrüzyona dayalı katmanlı yapı üretim tekniği ile seramik tuğla bileşenlerinin üretimi, harçsız montajı ve üretim için algoritmik tasarım tekniklerinin geliştirilmesine dayalı çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. 3D baskı yöntemi kullanılarak üretim sürecini azaltmak, üretim oranını hızlandırmak hedeflenmektedir. Son yapılan çalışmalarda özel bir kil reçeteli toz bazlı malzemeden oluşan karışımın 3D baskı yazıcıda yazdırılmasıyla (Şekil 11.a), polybricks olarak adlandırılan birbirine kenetlenme özelikli seramik tuğlalar (Şekil 11.b) ve seramik duvar kaplama levhaları üretilmiştir (Şekil 11.c). 3D baskı ile seramik tuğla üretimi, geleneksel üretime göre bir parça oluşturmak için daha az malzeme gerektirir ve seramik tuğlalar boşluklu olacağı için, toplam ağırlığın azaltılabilmesine olanak sağlar. Aynı zamanda benzersiz şekillerde 3D baskı yazıcıdan yazdırılacak seramik duvar tuğlaları ile özel tasarım mimari yapılar üretilebilecektir [16-18].



Şekil 11. 3D Baskı yazıcı ile üretilen seramik yapı malzemeleri (a: kil flament; b: 3D tuğla; c: 3D duvar kaplama levhası).

Kil bazlı sistemlerin 3D baskısı ile ilgili çalışmalar şimdiye kadar daha çok seramik endüstrisinde küçük ölçekli baskılarda yapılmıştır. Seramik tuğla duvarların geleneksel yöntemle üretiminde hammaddesinin kil bazlı olmasından hareketle 3D baskı yazıcı ile toprak esaslı baskı yapımı, son zamanlarda düşük çevresel etkisi ve geri dönüştürülebilirliği nedeniyle inşaat endüstrisinde büyük ilgi görmeye başlamıştır. Yapılan çalışmalarda toprak esaslı baskı malzemesinde yeşil kuvvetin hızlı bir şekilde gelişmesini sağlamak için aljinatlı deniz yosunu biyopolimeri eklenmiştir. Taze karıştırılmış toprağın elastik rijitliği de nüfuz etme yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Dünyanın en eski inşaat malzemesi olan toprak esaslı malzemeyi en yeni inşaat işleme teknikleriyle bir araya getirerek çalışmak zorluklar içerse de hammaddenin maliyetinin düşük olması, elde edilebilirliğinin kolay olması ve çevresel etkisinin düşük olmasından dolayı ilgiyi üzerine çekmeye devam edecektir [20].

5. SONUÇLAR

Günümüzde bilinen yöntemlerle yapılamayan yapılar için 3D baskı yazıcılarla otomatik yapı üretimi gelecek vaat etmektedir. Yerinde üretim maliyetlerini ve inşa için gerekli zamanı azaltması, mimari özgürlüğü arttırması ve kalifiye işçiye duyulan ihtiyacı ortadan kaldırılması nedeniyle yavaş yavaş otomasyona yaklaşılmaktadır. Beton baskı, otomasyonla mevcut fabrikasyon metodolojisini geliştirebilir, bu da iş gücüne bağlılığı azaltır ve hassasiyeti artırabilir. Doğrudan bir bilgisayar programından bir yapının imalatına geçme kabiliyeti, sadece bu konuda bile büyük maliyet tasarrufları sağlayacak şekilde ön hazırlık süresini azaltmaktadır. Ayrıca atık azaltmada% 30'a varan tasarruflar sağlayarak çevreci bir üretim olması 3D baskı yazıcı ile otomatik yapı üretimini daha tercih edilebilir yapmaktadır.

Diğer taraftan büyük ölçekli üretim için otomatikleştirilmiş sistemlerin yeterli düzeyde olmaması, üretimde kullanılabilecek malzemelerin sınırlı olması 3D baskı teknolojisinin inşaat işlerinde kullanımında bazı ciddi kısıtlamalar getirmektedir. Uygun mühendislik tasarımını ve yapımını sağlamak için, 3D baskı yapı elemanlarının mekanik özelliklerinin standart malzeme testleri ile tanımlanması zorunludur.

Beton malzemelerin yarı gevrekliğini gidermek için takviye gereklidir. Çelik takviye çubuklarının manuel olarak yerleştirilmesi veya tabakalar arası takviyeler bir çözüm sunmaktadır. Donatı yerleştirme, 3D baskı yazıcı ile otomatik yapı üretiminin bir parçası olarak veya diğer cihazlar aracılığıyla otomatikleştirilebilir. Hem manuel hem de otomatik işlemlerde, betonla takviyenin bağları, 3D baskı beton yapılar ve yapı elemanlarında donatıya uygun ankraj ve kısaltma kontrolleri tasarım kılavuzlarına uygun olarak incelenmelidir.

3D baskı yazıcı ile otomatik yapı üretiminin yaygınlaşarak bir inşaat teknolojisi olarak kabul edilebilmesi için, malzemeler, şartname, üretim, test ve yapısal tasarım standartlarının olması gerekmektedir. Bu standartlar, tasarım ve yapım aşamasında, uygulamaların uygun güvenilirlik seviyelerinin elde edilmesini sağlamalıdır.

KAYNAKLAR

1. Lipson H., Kurman M., "Fabricated: The New World of 3D Printing", John Wiley & Sons, 2013.

2. Taylor, M., Wamuziri, S., Smith, I. , “Automated construction in Japan”, Proceedings of the Institution of Civil - Civil Engineering, Vol. 156 No. 1, pp. 34-41, 2003.

3. Wakisaka, T., Furuya, N., Inoue, Y. and Shiokawa, T. , “Automated construction system for high rise reinforced concrete buildings”, Automation in Construction, Vol. 9 No. 3, pp. 229-250, 2000.

4. Jolin M., Burns D., Bissonnette B., Gagnon F., Bolduc L.S., "Understanding the pumpability of concrete", in Proceedings Shotcrete for Underground Support XI, Engineering Conferences International, 2009.

5. Le T.T., Austin S.A., Lim S., Buswell R.A., Gibb A.G.F., Thorpe T., “Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete” Mater. Struct., 45 (8) pp. 1221-1232, 2012.

6. Le T.T., Austin S.A., Lim S., Buswell R.A. Gibb A.G.F., Thorpe T., “Hardened properties of high-performance printing concrete” Cem. Concr. Res., 42 (3) , pp. 558-566, 2012.

7. Malaeb, Z., Hachen H., Tourbah, A., Maalouf, T., Zarwi, N.E., Hamzeh, F., 3D concrete printing: Machine and mix design, International Journal of Civil Engineering and Technology 6., 14–22, 2015.

8. Gosselin C., Duballet R., Roux P., Gaudillière N., Dirrenberger J., Morel P., "Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete - a new processing route for architects and builders" Mater. Des., 100, pp. 102-109, 2016.

9. Lim, S., Buswell, R., Le, T., Wackrow, R., Austin, S.A., Gibb, A.G.F., Thorpe, T. , Development of a viable concrete printing process”, In proceeding for 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC2011), Seoul, pp. 665-670, 2011.

10. Mechtcherine, V., Nerella, V.N. and Kasten, K., "Testing pumpability of concrete using sliding pipe rheometer", Construction and Building Materials, Vol. 53, pp. 312-323, 2014.

11. Kazemian, A., Yuan, X., Cochran, E. and Khoshnevis, B., "Cementitious materials for construction-scale 3D printing: laboratory testing of fresh printing mixture", Construction and Building Materials, Vol. 145, pp. 639-647. 2017.

12. Le, T.T., Austin, S.A., Lim, A., Buswell, R.A., Law, R., Gibb, A.G.F., Thorpe, TT., Hardened properties of high-performance printing concrete., Cement and Concrete Research, Vol. 42 No. 3, pp. 558-566, 2012.

13. Gosselin C., Duballet R., Roux Ph., Gaudillière N., Dirrenberger J., Morelad Ph., "Large scale 3D printing of ultra-high performance concrete a new processing route for architects and builders", Materials Design., vol. 100, pp 102-109, 2016.

14. Kim, Y.Y., Kong, H.J. and Li, V.C., "Design of engineered cementitious composite suitable for wet-mixture shotcreting", ACI Materials Journal, Vol. 100, No. 6, pp. 511-518, 2003.

15. Khoshnevis B., Hwang D. , Yao K.-T. , Yeh Z., "Mega-scale fabrication by contour crafting", Int. J. Ind. Syst. Eng., 1., pp. 301-320, 2006.

16. Jordan M.M., Sanfeliu T., Fuente C., "Firing transformations of tertiary clays used in the manufacturing of ceramic tile bodies", Appl. Clay Sci., 20 (1–2 , pp. 87-95, 2001.

17. McBurney, W.J., "The effect of strength of brick on compressive strength of masonary Process" ASTM Part (II), p. 28., 1970.

18. Jenny, S., Miller,M., Cassab, N., and Lucia, A., "PolyBrick: Variegated Additive Ceramic Component Manufacturing (ACCM)"., 3D Printing and Additive Manufacturing 1 (2)., 2014.

19. Aubert, J. E., Maillard, P., Morel, J-C. & Al Rafii, M., "Towards a simple compressive strength test for earth bricks", In : Materials and Structures. 46, 5, p. 1641-1654., 2016.

20. Deckers J., Vleugels J, Kruth JP., "Additive Manufacturing of Ceramics: A Review", J. Ceram. Sci. Technol. , 5, pp. 245-260, 2014.