

3 Boyutlu Yazıcı Teknolojisiyle Üretilen Yapı Malzemeleri ve İnşaat Sektöründe Kullanımlarının İncelenmesi

Investigation of Building Materials Produced by 3D Printer Technology and Their Use in the Construction Industry

ÖZET

Yapı inşaatlarında kullanılan malzemelerin sayılarında ve özelliklerinde teknolojinin gelişmesiyle ilerlemeler sağlanmıştır. Gelişen teknolojiye birlikte yapılar daha ekonomik, daha hızlı ve daha dayanıklı üretilerek inşa edilebilmektedir. Yapı sektöründeki barınma ihtiyaçlarını karşılamak açısından bu yeni teknolojiler geleneksel yapı malzemeleriyle karşılaştırıldığında, farklı ve karmaşık yapı tasarımlarının yapılabilmesine imkân sağlamaktadır. Bu teknolojik gelişmelerden biri olan 3B (3 boyutlu) yazıcılar yapı malzemesinin üretim zamanında, işçilik maliyetinde ve çevre kirliliğinin azaltılması gibi birçok avantajları nedeniyle yapı sektöründe tercih edilmektedir. Bu makalede, 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen yapı malzemelerinin gelişimleri incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, 3B yazıcıların inşaat sektöründe kullanımı ve yapı malzemelerinin üretimleri araştırılmıştır. Ayrıca çalışmada 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen yapılara örnekler verilerek geleneksel tekniklerle üretilen yapılar arasında karşılaştırma yapılmıştır. 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen yapıların örneklerini incelemek ve değerlendirmek için literatür araştırması yapılmıştır. Bu örnekler üzerinden 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen yapıların avantaj ve dezavantajları açıklanmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen malzemelerin maliyet ve işçilik giderleri azalmaktadır. Bu malzemelerin enerji tasarrufu açısından geleneksel malzemelere göre atık oranının daha az olması çevreci yapı üretimini sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: 3B Yazıcı, Yapı Malzemesi, Mimari Tasarım, Mimarlık, Yenilikçi Yapı Teknolojileri

ABSTRACT

Advances have been made in the number and properties of materials used in building constructions with the development of technology. With the developing technology, structures can be built more economically, faster and more durable. In terms of meeting the housing needs in the construction sector, these new technologies enable different and complex building designs to be made when compared to traditional building materials. One of these technological developments, 3D (3 dimensional) printers are preferred in the construction sector due to many advantages such as reducing the production time of the building material, the labor cost and the reduction of environmental pollution. In this article, the developments of building materials produced with 3D printer technology are examined. In this study scope, the use of 3D printers in the construction industry and the production of building materials were investigated. Moreover, examples of the structures produced with 3D printer technology were given in the study and a comparison was made between the structures produced with traditional techniques. A literature search was conducted to examine and evaluate the examples of structures produced with 3D printer technology. The advantages and disadvantages of the structures produced with 3D printer technology are explained through these examples. As a result of the examinations, the cost and labor expenses of the materials produced with 3D printer technology are reduced. The fact that the waste rate of these materials is less than traditional materials in terms of energy saving ensures the production of environmentally friendly buildings.

Keywords: 3D Printer, Building Materials, Architectural Design, Architecture, Innovative Construction Technologies

GİRİŞ

3B (3 boyutlu) yazıcı teknolojisi, dijital bir modelin 3B katı nesnelere üretmek için otomatik şekilde eklemeli üretim yapma işlemi olarak açıklanmaktadır (Bogue, 2013). Bu modeller, farklı boyutta ve amaçta değişen 3B yazıcılar aracılığıyla yapılabilmektedir. 3B yazıcılarda bilgisayar destekli tasarım programları kullanılarak modeller oluşturulmaktadır (Mathur, 2016). Bilgisayar ortamında oluşturulan modeller 2B (2 boyutlu) dilimlere cihaz tarafından dönüştürülerek baskı işlemine başlanmaktadır. Bir sonraki işlemde 2B her katmanda, eritilen malzeme dökülüp üst üste gelecek şekilde oluşturulmaktadır. Bu işlem süreci model tamamlanıncaya kadar yapılmaktadır. Ayrıca bu programlarla oluşturulan modellerin istenilen sayıda üretme işlemi gerçekleştirilmektedir. 3B baskı

Ahmet Cihat Arı¹ 

How to Cite This Article

Arı, A. C. (2023). "3 Boyutlu Yazıcı Teknolojisiyle Üretilen Yapı Malzemeleri ve İnşaat Sektöründe Kullanımlarının İncelenmesi" International Social Sciences Studies Journal, (e-ISSN:2587-1587) Vol:9, Issue:114; pp:7829-7840. DOI: <http://dx.doi.org/10.29228/sssj.71003>

Arrival: 10 June 2023
Published: 31 August 2023

Social Sciences Studies Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

¹ Öğr. Gör. Dr., Yozgat Bozok Üniversitesi, Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu, Mimari Restorasyon Programı, Yozgat, Türkiye.
ORCID: 0000-0002-4690-8968

işlemleriyle, seramikler, metaller ve polimerler gibi çeşitli malzemelerin parçaları üretilebilmektedir (Vaezi ve Chua, 2011). Bilgisayar destekli tasarım programlarıyla karmaşık geometrilerin ve kapsamlı yüzeylerin üretilmesi sağlanmaktadır (Jandyal, Chaturvedi, Wazir, Raina ve Haq, 2022).

3B yazıcı teknolojisi 1984 yılında icat edilmiştir. Bu dönemlerde karmaşık ve pahalı bir teknoloji özelliğine sahip olması sınırlı bir kullanıma neden olmuştur. Ancak sonraki yıllarda bu teknolojinin geliştirilmesiyle günlük hayatta kullanımı sağlanmıştır. Ayrıca 3B yazıcı teknolojisinde sağlanan ilerlemeler havacılık, tıp ve otomotiv gibi farklı endüstri alanlarında yaygın olarak kullanılmasında etkili olmuştur (Hager, Golonka ve Putanowicz, 2016). İnşaat sektöründe 1990 yıllarının sonlarında yapı üretiminde 3B yazıcı teknolojisinin kullanımıyla ilgili gelişmeler olmuştur (Pegna, 1997). Bu dönemde geliştirilen 3B yazıcı teknolojisi türlerinden en yaygın kullanılanı FDM yöntemidir (Fused Deposition Modelling-Eriyik Yığma Modelleme) (Sabyrov, Abilgazyev ve Ali, 2020). Bu yöntem, malzemeyi katmanlar halinde dizerek çalışmaktadır. Bu yöntemde, modelin üretilmesinde termoplastik malzemeler kullanılmaktadır. Model, sıcaklığı kontrol eden nozul (püskürtücü bir başlık) aracılığı ile erime noktasına kadar ısıtılan termoplastiklerin katmanlar halinde üretim tablasına dökülmesiyle oluşturulmaktadır. Bilgisayar destekli yazılım programlarıyla kontrol edilen mekanizma üç ekseninde (X, Y, Z) doğrusal hareket ettirilerek katmanlar üretilmektedir (Şekil 1) (Kun, 2016). 2014 yılında 3B yazıcı teknolojisini kullanarak ilk konutun yapılması inşaat sektöründe yeni bir dönemin başlamasını sağlamıştır (Hager vd., 2016). Son zamanlarda inşaat sektöründe 3B yazıcı teknolojisini kullanarak duvar ve cephe öğeleri gibi yapı elemanlarının modellemesinin yanı sıra yapıların tam ölçekli mimari bileşenleri modellemesini de gerçekleştirebilmektedir. Örneğin bu teknolojiyle yapı içindeki tesisat işlemleri ve donatı elemanlarının otomatik olarak inşa edilebilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca yapılar bu teknolojiyle daha hızlı bir şekilde üretilebilmektedir (Perkins ve Skitmore, 2015).



Şekil 1: FDM yöntemiyle üretilen duvarların yapı inşasında kullanılması

Kaynak: Perkins ve Skitmore, 2015; Sobotka ve Pacewicz, 2016

3B yazıcı teknolojisiyle karmaşık geometriye sahip şekilleri hızlı ve seri bir şekilde üretmesine rağmen, malzemelerin yüzey kalitesi ve dayanımının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle araştırmacılar tarafından 3B yazıcı teknolojisi ve malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesine yönelik incelemeler yapılmıştır. Shakor, Nejadi, Sutjipto, Paul ve Gowripalan (2020) yaptıkları çalışmada, portland çimentosuna kum, cam lifleri ve kimyasal katkıları ilave edilmesi, biriktirme nozulunun hızının baskılı harcın genişliği ve harcın özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Aynı çalışmada 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen numunelerin mekanik dayanımlarının, baskı yöntemleri ve parametreleri sonucunda ortaya çıkabilen boşluklar ve gözenekler nedeniyle azaldığını bulmuşlardır. Furet, Poullain ve Garnier (2019) yaptıkları çalışmada, 3B yazıcı teknolojisinde karmaşık duvarların oluşturulmasında kullanmak için hareketli bir robot yöntemini önermişlerdir. Aynı çalışmada bir beton duvarın her iki tarafına yerleştirilmiş iki poliüretan köpüğün, duvarın üretilmesini ve bu polimer duvarların, iyi bir yalıtım sağladığını belirlemişlerdir. Khoshnevis ve Zhang (2016) yaptıkları çalışmada, diğer tüm yazıcılardan daha hızlı ve ekonomik şekilde seramik ve metal parçalarını imal edebilen seçici ayırma sinterleme (SSS) adı verilen yeni bir 3B yazıcı geliştirmişlerdir. Buchanan, Matilainen, Salminen ve Gardner (2017) yaptıkları çalışmada, 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen çeliklerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Aynı çalışmada, 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen metallerin yapısal elemanlar olarak kullanılabilirliğini göstermişlerdir.

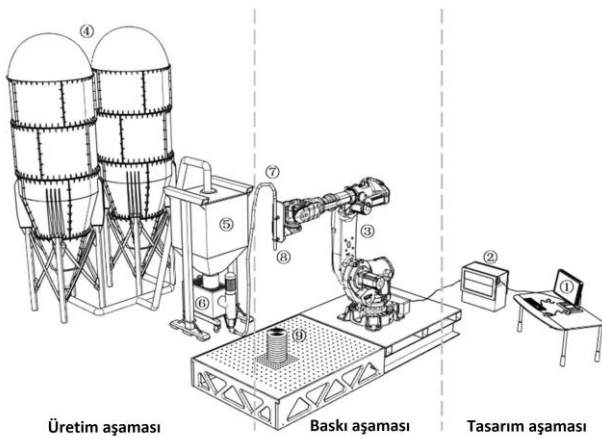
Bu makalede, 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen yapı malzemelerinin inşaat sektöründe kullanımlarının gelişimleri araştırılmıştır. Ayrıca bu makale kapsamı içerisinde 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen yapı malzeme türlerine ve bu malzemelerin inşaat sektöründe kullanımına ilişkin örnek yapılara yer verilmiştir. Bu çalışma kapsamında literatür araştırmaları yapılarak 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen malzemelerin, yapı tasarımına ve yapım tekniklerinin geliştirilmesine olan katkıları açıklanmıştır.

3B YAZICI TEKNOLOJİSİYLE ÜRETİLEN YAPI MALZEME TÜRLERİ

Yapıların inşa edilmesinde; beton, metal ve polimer malzemeler diğer malzemelere göre daha fazla kullanılmaktadır. Bu nedenle bu bölümde, 3B yazıcı teknolojiyle üretilen beton, metal ve polimer malzemelerin üretim teknikleri ve özellikleri açıklanmıştır.

Beton Malzemeler

Beton; çimento, agrega, su ile gerektiğinde kimyasal ve mineral katkı maddelerinin belirli oranlarda ilave edilmesi, bu maddelerin homojen şekilde karıştırılmasıyla oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir. Beton mukavemeti yüksek, üretim maliyeti düşük, yerel olarak bulunabilirliği, farklı şekillere kalıplanabilirliği ve termal direncinin yüksek olması nedeniyle günümüzde birçok yapıların yapımında kullanılan başlıca inşaat malzemesidir (Ali, Issayev, Shehab ve Sarfraz, 2022). Bu malzeme yapı inşaatlarında kullanılmadan önce yapıların projesindeki yapı elemanlarının boyutlarına ve şekillerine göre kalıplar hazırlanmaktadır. Kolon, kiriş, duvar ve döşeme gibi belirlenen yapı elemanlarının beton dökümü, hazırlanan kalıpların içerisine yerleştirilmektedir. Kalıp içerisine yerleştirilen betonun sertleşmesinden sonra kalıpların söküm işlemine geçilmektedir. Beton, mukavemetini ve sertleşmesini hem kalıplar içerisinde hem de kalıpların söküm işleminden sonra tamamlamaktadır. Bu yöntem, geleneksel beton döküm işlemidir. Ancak 3B yazıcı teknolojiyle üretilen beton malzemesinde kalıplara ihtiyaç duyulmadan katmanlar halinde üretim yapılmaktadır. 3B yazıcı teknolojiyle beton yapımı; tasarım, üretim ve baskı aşamalarından oluşmaktadır. Tasarım aşamasında, bilgisayar ortamında istenilen geometrik yapı elemanlarının modelleri yapılmaktadır. Üretim aşamasında, çimento, agrega ve su karıştırılmaktadır. Baskı aşamasında, harcın pompa aracılığıyla nozula ulaşması, belirli noktalara katmanlar halinde üst üste dökülerek yapı elemanları oluşturulmaktadır (Şekil 2) (Li vd., 2020).



Şekil 2: 3B yazıcı teknoloji kullanılarak beton malzemenin üretim şeması: (1) Beton baskı tasarımı için bilgisayar, (2) Oluşturulan tasarım kodunu okumak ve kontrol etmek için robot kontrolörü, (3) 6 eksenli robotik kol, (4) Çimento ve agregaların bulunduğu depolar, (5) Kuru karıştırıcı, (6) Islak karıştırıcı ve pompa, (7) pompalama hortumu, (8) Baskı nozulu ve (9) Basılı örnek

Kaynak: Li vd., 2020

Beton üretimi için kullanılan karışımın, daha az viskoziteye ve yüksek akma gerilimine sahip olması gerekmektedir. Ayrıca 3B yazıcı teknolojiyle üretilen betonun, yangına karşı dayanıklı ve üretim sırasında oluşan malzeme atığının az olması gerekmektedir. 3B yazıcı teknolojiyle üretilen betonun özelliklerinde, malzemelerin seçimi ve karışım oranı etkili olmaktadır. Bu yöntemle, başarılı baskı sonuçları elde etmek için, harcın yapışma kuvveti ve mukavemeti önemlidir. Ayrıca beton üretiminde ilk katların priz (sertleşme) süresi yapının mekanik özelliğini etkilemektedir (Şekil 3) (Ali vd., 2022).



Şekil 3: (a) 3B yazıcı teknolojiyle yapı elemanlarının üretilmesi, (b) 3B yazıcı teknolojiyle üretilen beton kiriş

Kaynak: (a) Han, Yang, Ding ve Xiao, 2021, (b) Mohan, Rahul, De Schutter ve Van Tittelboom, 2021

3B yazıcı teknolojiyle üretilen beton yapı elemanlarının yüzey işlemleri farklıdır. Beton yapı elemanlarının yüzey işlemlerinin pürüzsüz olması için üretim esnasında yüzey düzeltmenin yapılması gerekmektedir. Yüzey düzeltme işlemi otomatik bir şekilde yapılmadığı için, bu işlem manuel olarak tamamlanmaktadır (Şekil 4) (Perkins ve Skitmore, 2015).

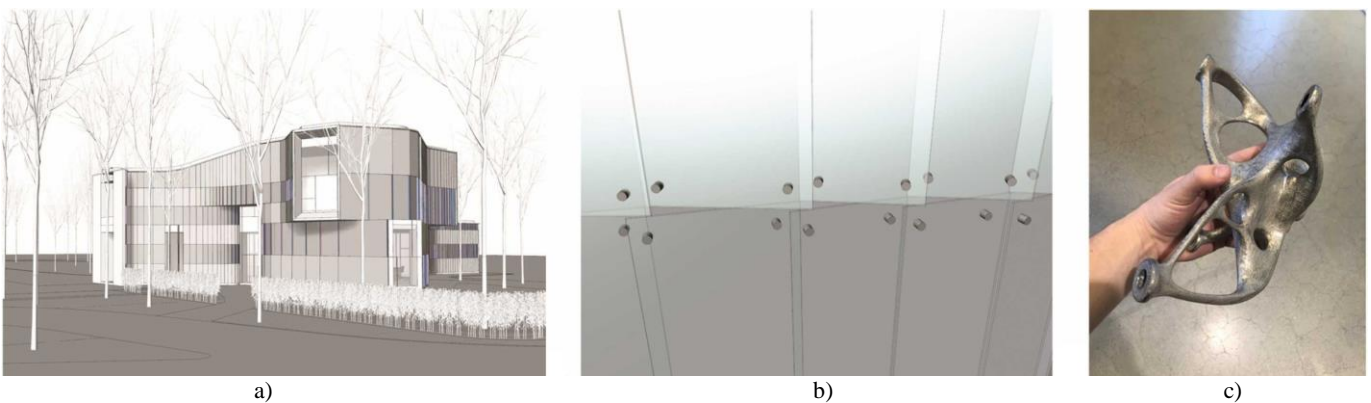


Şekil 4: 3B yazıcı teknolojiyle üretilen beton objenin pürüzsüz olması için manuel olarak düzeltme işleminin yapılması
Kaynak: Le vd., 2012

Metal Malzemeler

3B yazıcı teknoloji, sinterlenmiş ve birbirine bağlanmış metal tozlarının yüksek lazer gücü kullanılmasıyla, katmanlar halinde metal nesnelere oluşturulmaktadır. 3B yazıcı teknoloji, metal karmaşık elemanların tek bir işlemde üretilmesi sayesinde enerji tüketimi azaltılmakta, dijital envanter ve kısa tedarik süreleriyle nakliye maliyetlerinin düşmesi sağlanmaktadır. Ancak bu teknolojiyle üretilen metal elemanlarının mikroyapısal farklılıkları ve üretilen parçalardaki olası kusur türleri, malzemenin yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir. Bu durum malzemenin mekanik özelliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle 3B baskılı metal parçaların üretim stratejisinin, malzemenin mekanik dayanımına ve mikroyapı özelliğine göre belirlenmesi gerekmektedir (Kanyılmaz vd., 2022).

Geleneksel yöntemle metal elemanın işlenmesinde, nesne içindeki malzeme miktarı azaltılarak şekillendirme veya bir kalıp kullanarak döküm yapılmaktadır. Ancak 3B yazıcı teknolojiyle metal üretim süreci sırasında otomatikleştirilmiş bir süreçle 3B model verilerinden yararlanarak katmanlar halinde döküm yapılmaktadır (Buchanan ve Gardner, 2019). İnşaat sektöründe 3B üretilen metal nesnelere; cephe düğüm bağlantılarında, taşıyıcı sistemlerinde ve yapı konstrüksiyonlarında kullanılmaktadır. Yapı cephe düğüm bağlantılarında 3B metal baskı elemanlarının kullanımı Şekil 5’de gösterilmiştir. Bu bina 2 katlı olarak ABD’nin kuzey Massachusetts’de bir ofis olarak kullanılmaktadır. Binanın cephesi, mafsallı cam panellerden oluşmaktadır. Binanın değişen plan şekli cam panellerin levha kenarı arasında mesafede olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle cam paneller arasındaki bağlantılarında 3B yazıcı teknolojiyle metal elemanlar kullanılmıştır (Kanyılmaz vd., 2022).



Şekil 5: (a) Metal bağlantı elemanlarının kullanıldığı binanın görünüşü, (b) Binanın değişen plan şekli nedeniyle cam panellerin görünüşü, (c) 3B yazıcı teknolojiyle üretilen çelik metal elemanı

Kaynak: Kanyılmaz vd., 2022

Amsterdam’da karmaşık geometrilere sahip yaya köprüsünün yapımı için, 3B yazıcı teknoloji kullanılmıştır. Bu köprü Joris Laarman Lab ve Arup tarafından tasarlanan ve MX3D adlı mühendislik firması yapmıştır (Şekil 6). Ayrıca Arup, 3B yazıcı teknolojisinden yararlanarak Hollanda’nın Lahey kentinde sokak aydınlatmasında, yapısal düğüm elemanlarını tasarlamıştır. Bu projelerde 3B yazıcı teknolojiyle üretilen metal bağlantı elemanlarının, geleneksel tekniklerle üretilen metal bağlantı elemanlarına göre daha az ağırlığa sahip olmasıyla birlikte üretim maliyetlerinde de tasarruf sağlanmıştır (Camacho vd., 2018) (Şekil 7).



Şekil 6: Joris Laarman Lab ve Arup tarafından tasarlanan 3B yazıcı teknolojisinden yararlanılarak yapılan çelik köprü
Kaynak: URL 1



Şekil 7: 3B yazıcı teknolojiyle üretilen metal bağlantı elemanları
Kaynak: Camacho vd., 2018

Polimer Malzemeler

Polimerler maliyeti düşük, mukavemeti yüksek ve geniş kullanılabilirliği nedeniyle 3B yazıcı teknolojiyle üretimi yapılan malzemelerden biridir. Bu teknolojiyle; polyeater, polikarbonat, polistiren, polieter eter keton, polietilen tereftalat, akrilonitril-bütadien-stiren gibi malzemeler karmaşık geometri üretiminde kullanılmaktadır (Ranjan, Kumar, Kundu ve Moi, 2022). Polimer malzemelerin yapısal ve işlevsel özelliklerini geliştirmek için parçacık, fiber veya nanomalzeme takviyeleri ilave edilerek polimer matris kompozitleri üretilmektedir. Polimer matris kompozitlerin üretiminde 3B yazıcı teknolojisinin kullanımı kompozitlerin boyutu ve geometrisi, bilgisayar destekli tasarım yardımıyla performansının kontrol edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca bu teknolojiyle üretilen kompozitlerin yüksek performanslı ürünleri elde edilmektedir (Wang, Jiang, Zhou, Gou ve Hui, 2017). 3B teknolojiyle üretilen polimer malzemelerin inşaat sektöründe kullanımına Londra'daki Bevis Marks binası örnek olarak gösterilmektedir. Bu binanın yapısal bağlantıları için, 3B yazıcı teknolojiyle polimer kaplamalar üretilmiştir. Geleneksel teknikle, üretilen çelik kaplamaların hem üretim maliyetinin yüksek olması hem de yapısal elemanlar arasındaki kaynaklı çelik bağlantılar istenilen estetiği vermemesi nedeniyle, polimer kaplamalar kullanılmıştır. Yapının bağlantı bölgelerine, karmaşık geometrisine uygun 3B yazıcıyla üretilen polimer kaplamaların kullanılması, dekoratif kaplamalar arasında yeni bir seçenek haline gelmiştir (Şekil 8) (Camacho vd., 2018).

Polimerlerin yanıcı özelliklerine sahip olması nedeniyle, üretim sürecinde malzemenin içinde bazı gözenekler oluşturmak termal iletkenliğin ve yayılmanın önlenmesinde etkili olmaktadır. Ayrıca polimer malzemelerin 3B yazıcı teknolojiyle üretimi sırasında katmalara; magnezyum, kalsiyum ve alüminyum gibi alev geciktirici katkı malzemelerinin eklenmesi, malzemenin yanıcılığını azaltmaktadır (Vahabi, Laoutid, Mehrpouya, Saeb ve Dubois, 2021).



Şekil 8: Bevis Marks binasında 3B yazıcı teknolojiyle üretilen polimer kaplama
Kaynak: Camacho vd., 2018

Amsterdam'da DUS Architects firması tarafından kanal kıyısında bir ev yapmak için 3B yazıcı teknolojilerinden yararlanılmıştır. Bu teknolojiyle üretilen polipropilen malzemeleri, yapının dış cephesinde kullanılmıştır (Wu, Wang ve Wang, 2016). Ayrıca evin bileşenlerinin, şantiye alanında 3B yazıcı teknolojiyle üretilmesi, geleneksel üretim yöntemlerine göre oluşan yapı atıklarının ve malzeme taşıma masraflarının azalmasını sağlamıştır (Hager vd., 2016). Bu evin yapımında kullanılan biyo-plastik malzemeler, yapı üretim döngüsünde tekrar kullanım özelliğine sahiptir. Evin dış cephesindeki üç boyutlu süslemeler; yapının estetik görünüm kazanması, malzeme tasarrufu, yalıtım, mukavemet sağlaması nedeniyle yapılmıştır (Şekil 9) (URL 2).



Şekil 9: 3B yazıcı teknolojiyle üretilen polipropilen malzemelerin ev yapımında kullanılması
Kaynak: URL 2

3B YAZICI TEKNOLOJİSİNİN İNŞAAT SEKTÖRÜNDE KULLANIMININ ÖRNEKLER ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

İnşaat sektöründe 3B yazıcı teknolojinin çeşitli uygulamaları bulunmaktadır. Bu teknoloji, karmaşık geometrilere sahip farklı yapıların hem tasarımında hem de dayanıklı olarak yapılmasında mimar ve mühendise yardımcı olmaktadır. Bu teknolojiyi kullanarak 2015 yılında, Çin'de Winsun firması tarafından, dünyanın en yüksek 3B baskılı yapısı inşa edilmiştir. Bu yapı beş katlı apartman olarak yapılmıştır. Ayrıca yapının inşasında malzeme olarak; cam elyaf, çelik, çimento, sertleştirici maddeler ve geri dönüştürülmüş inşaat atığı gibi farklı malzemeler kullanılmıştır (Şekil 10) (İbrahim, Eltarabishi, Abdalla ve Abdallah, 2022).



Şekil 10: Winsun firması tarafından 3B yazıcı teknolojiyle üretilen beş katlı apartman
Kaynak: URL 3

Winsun firması 3B yazıcı teknolojisini kullanarak Dubai’de başka bir proje daha yapmıştır. Bu proje, ofis yapısı olarak tasarlanmıştır. Ayrıca bu ofis yapısında elektrik, su ve telekomünikasyon ve klima sistemleri gibi bütün işlevlere sahip olacak şekilde planlanmıştır. 3B yazıcı teknolojiyle üretilen bu ofisin yapı elemanları, Çin’de üretilmiş daha sonra Dubai’ye gönderilmiştir. Bu ofisin yapısında işçilik maliyetleri % 50’den % 80 kadar ve inşaat atıkları % 30’dan % 60’a kadar azaltılmıştır (Şekil 11) (Sakin ve Kiroglu, 2017).



Şekil 11: (a) Dubai’deki 3B yazıcı teknolojisi yapılan ofisin yandan görünüşü, (b) Ofisin önden görünüşü
Kaynak: Sakin ve Kiroglu, 2017

Rusya’nın Moskova şehrinde Apis Cor şirketi tarafından 3B yazıcı teknolojiyle 400 m²’lik ev 24 saatte inşa edilmiştir. Bu yapının dış duvarlarında, yalıtımın sağlanması için cam elyaf kullanılmıştır. Robotik mekanizma yardımıyla, yapı elemanlarının yapılması inşaat maliyetlerinin yanı sıra inşaat süresinin azaltılmasında katkı sağlamıştır (Şekil 12) (Sakin ve Kiroglu, 2017; Wawrek, 2019).



Şekil 12: Rusya’nın Moskova şehrinde Apis Cor şirketi tarafından 3B yazıcı teknolojiyle tasarlanan ev
Kaynak: Wawrek, 2019

Birleşik Arap Emirliklerinde, 3B yazıcı teknoloji kullanılarak bir ev inşa edilmiştir. Bu ev; iki yatak odası, bir mutfak ve bir banyo olacak şekilde planlanmıştır. Bu evin tasarımında kullanılan malzemeler; bulunduğu yerin kültürünü, mirasını ve sıcak iklimine uyacak şekilde belirlenmiştir. Ayrıca 3B yazıcı teknolojiyle yapılan bu ev, geleneksel üretime göre yapının maliyetlerinin düşmesini, mimarların tasarımda ve üretimde esneklik göstermesini sağlamıştır (Şekil 13) (İbrahim vd., 2022).



Şekil 13: Birleşik Arap Emirliklerinde 3B yazıcı teknoloji kullanılarak yapılan ev
Kaynak: İbrahim vd., 2022

Çin’de HuaShang Tengda firması tarafından 3B yazıcı teknolojisi kullanarak, 400 m²’lik iki katlı evi, bir buçuk ayda inşa etmiştir. Bu evin elemanlarının üretiminde yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu evin yapı sürecinde betonu vibrasyonlu sıkıştırma ile birlikte yerleştirme işlemi de yapılmıştır. Bu evin yapımında önce çelik hasırlar döşenmiştir. Daha sonra beton katmanlar halinde donatı tabakasının her iki tarafını çevreleyecek şekilde dökülmüştür. Bu beton döküm işlemini gerçekleştirmek için, nozul tasarım yapılmıştır (Şekil 14) (Mechtcherine ve Nerella, 2018).



Şekil 14: (a) HuaShang Tengda firması tarafından inşaat demirinin her iki tarafına aynı anda beton yerleştiren gelişmiş nozul, (b) Çin’de HuaShang Tengda firması tarafından 3B yazıcı teknolojisini kullanarak yapılan ev

Kaynak: Mechtcherine ve Nerella, 2018

Abu Dabi’de 3B yazıcı teknolojiyle Orta Doğu Mimarlık Ağı (MEAN) firması tarafından konuk evleri tasarlanmıştır. Bu yapıların planlarında mutfak, tuvalet ve konaklama alanları yer almıştır. Ayrıca yapıların dış cephesinde pürüzsüz dokulu trapez duvarlar ve çatıları ise kabuk özelliğine sahip olacak şekilde 3B yazıcı teknolojiyle tasarlanmıştır (Şekil 15) (İbrahim vd., 2022).



Şekil 15: Abu Dabi’de 3B yazıcı teknolojiyle tasarlanan konuk evler

Kaynak: İbrahim vd., 2022

2018 yılında Çin’de düzenlenen yarışmada 3B yazıcı teknolojiyle yenilikçi, sürdürülebilir malzemeler kullanılarak lotus evi isimli bir konut tasarlanmıştır. Mimarlık, mühendislik ve bilgisayar bilimleri gibi farklı disiplinlerinde öğretim üyeleri grubu tarafından yönetilen bu proje, inşaat piyasasının ve kompozit malzeme endüstrilerinin ön saflarında yer alan şirketler tarafından ortaklaşa geliştirilmiştir (Zhu, Yang, Ge, Qu ve Yin, 2020). Bu projede 3B yazıcı teknoloji doğrudan bir inşaat yöntemi yerine, beton dökülen duvarların yüzey kalıp imalatında kullanılmıştır (Şekil 16) (URL 4).



Şekil 16: Lotus evin 3B yazıcı teknolojisi kullanılarak yapılması

Kaynak: Zhu vd., 2020

2021 yılında İstanbul'da İSTON firması tarafından 3B yazıcı teknolojisini kullanarak 155 m²'lik bir ev inşa edilmiştir. Bu ev, 3 oda bir salon olacak şekilde planlanmıştır. Ayrıca bu evin 3B yazıcı teknolojisine yapımları için, Ar-Ge ekiplerin, mimarların ve mühendislerin tasarımları ile koordineli bir şekilde çalışmalarını sonucunda gerçekleştirilmiştir. Bu evin duvarlarında işçilik ve ek müdahale gerekmeden robotik sistemle harç dökümü katmanlar halinde otomatik bir şekilde yapılmıştır. Atık malzemelerin oluşmaması için mobil hazır beton tesisleriyle çimento harcının 3B yazıcı sistemine aktarımı yapılmıştır (Şekil 17) (URL 5).



Şekil 17: İstanbul'da İSTON firması tarafından 3B yazıcı teknolojisine yapılan ev

Kaynak: URL 6

3B Yazıcı Teknolojisinin İnşaat Sektöründe Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları

Bu çalışma kapsamında incelenen örnekler üzerinden 3B yazıcı teknolojisine inşaat sektöründe kullanımının avantaj ve dezavantajları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1: 3B yazıcı teknolojisine inşaat sektöründe kullanımının avantaj ve dezavantajları

3B yazıcı teknolojisine inşaat sektöründe kullanımı	Avantaj	Karmaşık geometrilere sahip farklı yapıların tasarımlarının yapılması
		İşçilik ve ek müdahaleye ihtiyaç duyulmaması nedeniyle işçilik maliyetinin azalması
Ürün yapımında ve malzemelerin kullanılmasında atıkların oluşmaması nedeniyle, çevreci yapı üretimini sağlaması		
Sürdürülebilir ve çevreyi kirletmeyen malzemelerin üretilmesini sağlaması		
Hızlı ve seri üretim yapılabilmesi		
Dezavantaj	Şantiyede 3B ürünleri yapılarak, nakliye maliyetinin azalması	
	Bu teknolojiye erişimin sınırlı olması nedeniyle az sayıda inşaatlara uygulanması	
	Yapıları tasarlamak ve inşa etmek için nitelikli elemana ihtiyaç duyulması	
	Bir veya iki katlı yapılara daha fazla uygulanması	
	Yüzey düzeltme işleminin manuel olarak yapılması	
Malzemelerin dayanımı ve mukavemet özelliklerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulması		

SONUÇ

Günümüzde 3B yazıcı teknolojisi, malzemelerin ve yapıların üretiminde giderek yaygınlık kazanmaktadır. Bu teknoloji, malzemelerin özelliklerini ve yapıların inşa etme tekniklerini geliştirmektedir. Ayrıca bu teknolojiye geliştirilen yöntemler, farklı yapıların ve karmaşık geometrilerin yapılabilmesine imkân sağlamaktadır. Yapı tasarımında ve karmaşık geometrilerin uygulamalarında kullanılan malzemeler önemli olmaktadır. Malzeme biliminin ve 3B yazıcı teknolojisinin gelişmesi, yapıların dayanıklı bir şekilde inşa edilmesini sağlamaktadır. Bu makale kapsamında, 3B yazıcı teknolojiyle üretilen malzemeler ve bu teknolojinin inşaat sektöründe kullanımı araştırılmıştır. Çalışmada, inşaat sektöründe yakın zamanda 3B teknolojiyle üretilen yapılara örnekler yer verilmiştir. Bu örnekler üzerinden 3B yazıcı teknolojiyle yapı malzemesinin gelişimi ve üretim teknikleri ilgili aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

- ✓ 3B yazıcı teknolojisi; beton, metal ve polimer gibi malzemelerin gerektiği kadar kullanılmasını, geleneksel metotla üretilen malzemelere göre üretim maliyetinin daha az olmasını sağlamaktadır. Bu teknoloji kullanılarak elde edilen malzemeler, üretim sırasında ve sonrasında herhangi bir atık oluşturmamaktadır.
- ✓ 3B yazıcı teknolojiyle üretilen yapılarda, geleneksel üretim metotlarına göre atık kullanımının daha az olması çevreci yapı üretimini sağlamaktadır.
- ✓ Yapılar geleneksel üretim yönteminde kalıp kullanılarak gerçekleştirilirken, 3B yazıcı teknolojisinde yapıların üretiminde, herhangi bir kalıp kullanılmadan yapılması, işçilik maliyetini azaltmaktadır.
- ✓ 3B yazıcı teknolojiyle yapı elemanlarının üretiminin şantiyede yapılması, nakliye masraflarının azalmasını sağlamaktadır.
- ✓ 3B yazıcı teknolojiyle yapılan üretim, geleneksel yöntemle üretilen yapılara göre daha hızlı ve seri bir şekilde yapılmaktadır.
- ✓ 3B yazıcı teknoloji yapı tasarımında yenilikler getirmektedir.

3B yazıcı teknolojisinin inşaat sektöründe kullanımında, geliştirilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Bu teknoloji kullanımının yüksek katlı yapılarda uygulamalarının geliştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca bu teknolojiyle üretilen malzemelerin; ısı, ses, su ve yangına karşı dayanım performanslarına yönelik incelemeler yapılmalıdır. Malzemelerin özelliklerine göre yapılan incelemeler; üretim öncesinde, üretim sırasında ve üretim sonrasında olmak üzere standartlarını belirleyerek malzemelerin dayanım performansının kontrol edilmesi sağlanmalıdır.

Bu makale kapsamında yapılan incelemelerde, Türkiye’de yapıların üretiminde 3B yazıcı teknolojisinin az sayıda uygulamasının olduğu görülmektedir. Bu teknolojiyi kullanarak yapılan üretimin, geleneksel üretim yöntemine göre maliyette ve tasarımda sağladığı avantajlar nedeniyle, ülkemizin yapı üretiminde yaygınlık kazandırılması gerekmektedir. Bu nedenle 3B yazıcı teknolojisini kullanarak yapı malzemelerinin geliştirilmesine yönelik gerekli altyapı çalışmaları yapılmamıştır.

KAYNAKÇA

- Ali, M. H., Issayev, G., Shehab, E., & Sarfraz, S. (2022). A Critical Review of 3D Printing and Digital Manufacturing in Construction Engineering. *Rapid Prototyping Journal*, 28(7), 1312-1324.
- Bogue, R. (2013). 3D Printing: The Dawn of A New Era in Manufacturing?. *Assembly Automation*, 33(4), 307-311.
- Buchanan, C., & Gardner, L. (2019). Metal 3D Printing in Construction: A Review of Methods, Research, Applications, Opportunities and Challenges. *Engineering Structures*, 180, 332-348.
- Buchanan, C., Matilainen, V. P., Salminen, A., & Gardner, L. (2017). Structural Performance of Additive Manufactured Metallic Material and Cross-Sections. *Journal of Constructional Steel Research*, 136, 35-48.
- Camacho, D. D., Clayton, P., O'Brien, W. J., Seepersad, C., Juenger, M., Ferron, R., & Salamone, S. (2018). Applications of Additive Manufacturing in The Construction Industry—A Forward-Looking Review. *Automation in Construction*, 89, 110-119.
- Furet, B., Poullain, P., & Garnier, S. (2019). 3D Printing for Construction Based on A Complex Wall of Polymer-Foam and Concrete. *Additive Manufacturing*, 28, 58-64.
- Hager, I., Golonka, A., & Putanowicz, R. (2016). 3D Printing of Buildings and Building Components As The Future of Sustainable Construction?. *Procedia Engineering*, 151, 292-299.
- Han, Y., Yang, Z., Ding, T., & Xiao, J. (2021). Environmental and Economic Assessment on 3D Printed Buildings With Recycled Concrete. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123884.

- Ibrahim, I., Eltarabishi, F., Abdalla, H., & Abdallah, M. (2022). 3D Printing in Sustainable Buildings: Systematic Review and Applications In The United Arab Emirates. *Buildings*, 12(10), 1703.
- Jandyal, A., Chaturvedi, I., Wazir, I., Raina, A., & Haq, M. I. U. (2022). 3D Printing—A Review of Processes, Materials And Applications in Industry 4.0. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 33-42.
- Kanyilmaz, A., Demir, A. G., Chierici, M., Berto, F., Gardner, L., Kandukuri, S. Y., Kassabian, P., Kinoshita, T., Laurenti, A., & Paoletti, I. (2022). Role of Metal 3D Printing to Increase Quality and Resource-Efficiency in The Construction Sector. *Additive Manufacturing*, 50, 102541.
- Khoshnevis, B., & Zhang, J. (2016). Selective Separation Sintering for Metallic Part Fabrication. *Solid Freeform Fabrication 2016: Proceedings of the 26th Annual International*, 1584-1593.
- Kun, K. (2016). Reconstruction and Development of A 3D Printer Using FDM Technology. *Procedia Engineering*, 149, 203-211.
- Le, T. T., Austin, S. A., Lim, S., Buswell, R. A., Gibb, A. G., & Thorpe, T. (2012). Mix Design and Fresh Properties for High-Performance Printing Concrete. *Materials and Structures*, 45, 1221-1232.
- Li, Z., Hojati, M., Wu, Z., Piasente, J., Ashrafi, N., Duarte, J. P., Nazarian, S., Bilén, S. G., Memari, A. M., & Radlińska, A. (2020). Fresh and Hardened Properties of Extrusion-Based 3D-Printed Cementitious Materials: A Review. *Sustainability*, 12(14), 5628.
- Mathur, R. (2016). 3D Printing in Architecture. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 3(7), 583-591.
- Mechtcherine, V., & Nerella, V. N. (2018). 3-D-Druck mit Beton: Sachstand, Entwicklungstendenzen, Herausforderungen. *Bautechnik*, 95(4), 275-287.
- Mohan, M. K., Rahul, A., De Schutter, G., & Van Tittelboom, K. (2021). Extrusion-Based Concrete 3D Printing From A Material Perspective: A State-of-The-Art Review. *Cement and Concrete Composites*, 115, 103855.
- Pegna, J. (1997). Exploratory Investigation of Solid Freeform Construction. *Automation in Construction*, 5(5), 427-437.
- Perkins, I., & Skitmore, M. (2015). Three-Dimensional Printing in The Construction Industry: A Review. *International Journal of Construction Management*, 15(1), 1-9.
- Ranjan, R., Kumar, D., Kundu, M., & Moi, S. C. (2022). A Critical Review on Classification Of Materials Used in 3D Printing Process. *Materials Today: Proceedings*, 61, 43-49.
- Sabyrov, N., Abilgazyev, A., & Ali, M. H. (2020). Enhancing Interlayer Bonding Strength of FDM 3D Printing Technology by Diode Laser-Assisted System. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 108, 603-611.
- Sakin, M., & Kiroglu, Y. C. (2017). 3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM. *Energy Procedia*, 134, 702-711.
- Shakor, P., Nejadi, S., Sutjipto, S., Paul, G., & Gowripalan, N. (2020). Effects of Deposition Velocity in The Presence/Absence of E6-Glass Fibre On Extrusion-Based 3D Printed Mortar. *Additive Manufacturing*, 32, 101069.
- Sobotka, A., & Pacewicz, K. (2016). Building Site Organization With 3D Technology in Use. *Procedia Engineering*, 161, 407-413.
- URL 1. (2023). MX3D Bridge, <https://mx3d.com/industries/mx3d-bridge/> (Erişim Tarihi: 04.05.2023)
- URL 2. (2023). Amsterdam'da 3D Baskı Mikro Ev, <https://www.arkitera.com/haber/amsterdamda-3d-baski-mikro-ev/> (Erişim Tarihi: 08.05.2023)
- URL 3. (2023). Chinese Company Constructs the World's Tallest 3D Printed Building, <https://www.archdaily.com/591331/chinese-company-creates-the-world-s-tallest-3d-printed-building> (Erişim Tarihi: 08.05.2023)
- URL 4. (2023). Lotus House, <https://all3dp.com/2/3d-printed-house-3d-printed-building/> (Erişim Tarihi: 08.05.2023)
- URL 5. (2023). <https://www.stendustri.com.tr/robot-yatirimlari/turkiye-de-bir-ilk-robotik-3d-yazici-ile-ev-insa-edildi-h114848.html> (Erişim Tarihi: 09.05.2023)

- URL 6. (2023). ISTON 3D yazıcı Teknolojisi, <https://iston.istanbul/iston-turkiyede-ilk-defa-3d-teknolojisi-ile-ev-uretti> (Erişim Tarihi: 09.05.2023)
- Vaezi, M., & Chua, C. K. (2011). Effects of Layer Thickness and Binder Saturation Level Parameters on 3D Printing Process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53, 275-284.
- Vahabi, H., Laoutid, F., Mehrpouya, M., Saeb, M. R., & Dubois, P. (2021). Flame Retardant Polymer Materials: An Update and The Future For 3D Printing Developments. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 144, 100604.
- Wang, X., Jiang, M., Zhou, Z., Gou, J., & Hui, D. (2017). 3D Printing of Polymer Matrix Composites: A Review and Prospective. *Composites Part B: Engineering*, 110, 442-458.
- Wawrek, I. (2019). Zero House By 3D Printer Technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 566, 012037.
- Wu, P., Wang, J., & Wang, X. (2016). A Critical Review of The Use Of 3-D Printing in The Construction Industry. *Automation in Construction*, 68, 21-31.
- Zhu, J., Yang, H., Ge, W., Qu, M., & Yin, H. (2020). Printing Architecture: How Additive Manufacturing Methodologies are Posited to Transform Building Construction?. *OPEN: 108th ACSA Annual Meeting*, 135-140.