

ICSULA 2024

III. INTERNATIONAL CONFERENCE ON
SUSTAINABLE CITIES AND URBAN LANDSCAPES

DECEMBER 13-14, 2024 / KYRENIA, TRNC



CONFERENCE PROCEEDINGS BOOK

EDITORS

Prof. Dr. Banu ÖZTÜRK

Prof. Dr. M. Selen ABBASOĞLU ERMİYAGİL

**3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CITIES AND
URBAN LANDSCAPES**

**3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON
SUSTAINABLE CITIES AND URBAN LANDSCAPES**

December 13-14, 2024 / Kyrenia, TRNC

PROCEEDINGS BOOK
(Abstracts & Full Texts)

EDITORS

Prof. Dr. Banu ÖZTÜRK
Prof. Dr. Selen ABBASOĞLU ERMİYAGİL

Cover Design: Arzu Altuntaş

ISBN: 978-625-378-088-3

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14555062>

ISSUED: December 25, 2024

**ENDÜSTRİ 4.0 DEVRİMİNDE 3 BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİSİNİN ROLÜ:
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK BAĞLAMINDA GELİŞİMİ**

Arş. Gör. Çağatay TAKVA

Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi
Mimarlık Bölümü

Email: cagataytakva@gazi.edu.tr

Doç. Dr. Zeynep Yeşim İLERİSOY

Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi
Mimarlık Bölümü

Email: zyharmankaya@gazi.edu.tr

Özet

Endüstri 4.0 devrimi, dijital üretim sistemlerinin ve gelişmiş bilgi teknolojilerinin entegrasyonunu kapsamaktadır. Çalışmada, Endüstri 4.0 bileşenlerinden eklemeli imalat teknolojisi üzerinde yoğunlaşmıştır. Eklemeli imalat bir dizi teknolojik ekipmanın entegrasyonundan oluşmaktadır ve Endüstri 4.0'ın farklı gereksinimlerini karşılamak için önem taşımaktadır. Çalışmada, Endüstri 4.0 ve katmanlı üretim kombinasyonunda kapsamlı bir literatür taraması yapılarak 3 Boyutlu Baskı (3BB) teknolojisinin gelişimini ve kullanım alanlarını ön plana çıkarmak hedeflenmiştir. 3BB ile sağlanan yüksek teknoloji ürünleri, yakın gelecekte inşaat ve mimarlık sektöründe devrim niteliğinde sonuçların oluşmasını mümkün kılmaktadır. 3BB sürecinin en yaygın kullanılan uygulama araçları ise 3B yazıcılarıdır. 3BB ve 3B yazıcılar, potansiyel yararları ile ileri teknoloji için itici bir güç görevi görmektedir. Bina Bilgi Modellemesi (BIM) yazılımları ile 3BB tekniğinin entegrasyonu, geleneksel yapım teknikleri ile karşılaştırıldığında bu yeni teknolojinin birçok avantajı ve yeniliği olduğunu göstermiştir. Ayrıca, BIM araçları 3BB modellemesini ve simülasyonlarını geliştirerek enerji verimliliği, sürdürülebilirlik, esnek tasarım, maliyet azaltma ve yapı yalıtımı gibi alanlarda etkili olmaktadır. Sonuç olarak, Endüstri 4.0 devrimi içerisinde yer alan 3BB tekniğinin güncel uygulama alanları araştırılarak gelecek yönelimlerine dair çıkarımlar yapılmıştır. 3BB teknolojisinin araştırmacılara yol gösterici niteliğinde olası potansiyellerinden bahsedilmiştir. Gerçekleştirilen analizler ve bulgular sonucunda, 3BB ve 3B yazıcıların günümüzde daha çok fabrikalarda veya laboratuvarlarda kullanıldığı görülmektedir. Yapı bileşenlerini ve panellerini yazdırmak için ön plana çıkan 3BB teknolojisinin, yakın gelecekte inşaat sektöründe geleneksel inşa yöntemine alternatifler üreteceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: 3 Boyutlu Baskı (Eklemeli İmalat) Teknolojisi, 3 Boyutlu Yazıcı, Dijital Üretim, Endüstri 4.0, Sürdürülebilirlik

**THE ROLE OF 3D PRINTING TECHNOLOGY IN THE INDUSTRY 4.0
REVOLUTION: DEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF SUSTAINABILITY**

Abstract

The Industry 4.0 revolution promotes the integration of digital production systems and advanced information technologies. The study focused on additive manufacturing technology, one of the components of Industry 4.0. Additive manufacturing consists of the integration of a series of technological equipment and is important to meet the different requirements of Industry 4.0. In the study, it was aimed to highlight the development and usage areas of 3D Printing (3DP) technology by conducting a comprehensive literature review in the combination of Industry 4.0 and additive manufacturing. High-tech products provided by 3DP make it possible to create revolutionary results in the construction and architecture sector in the near future. The most commonly used application tools of the 3DP process are 3D printers. 3DP and 3D printers serve as a driving force for advanced technology with their potential benefits. The integration of 3DP technique with Building Information Modeling (BIM) software has shown that this new technology has many advantages and innovations compared to traditional construction techniques. Additionally, BIM tools improve 3DP modeling and simulations, making them effective in areas such as energy efficiency, sustainability, flexible design, cost reduction, and building insulation. As a result, current application areas of the 3DP technique, which is included in the Industry 4.0 revolution, were investigated and inferences were made about future trends. Possible potentials of 3DP technology as a guide for researchers are mentioned. As a result of the analyses and findings, it is seen that 3DP and 3D printers are used mostly in factories or laboratories today. It is anticipated that 3DP technology, which comes to the fore for printing building components and panels, will produce alternatives to the traditional construction method in the construction industry in the near future.

Keywords: 3D Printing (Additive Manufacturing) Technology, 3D Printer, Digital Production, Industry 4.0, Sustainability

Giriş

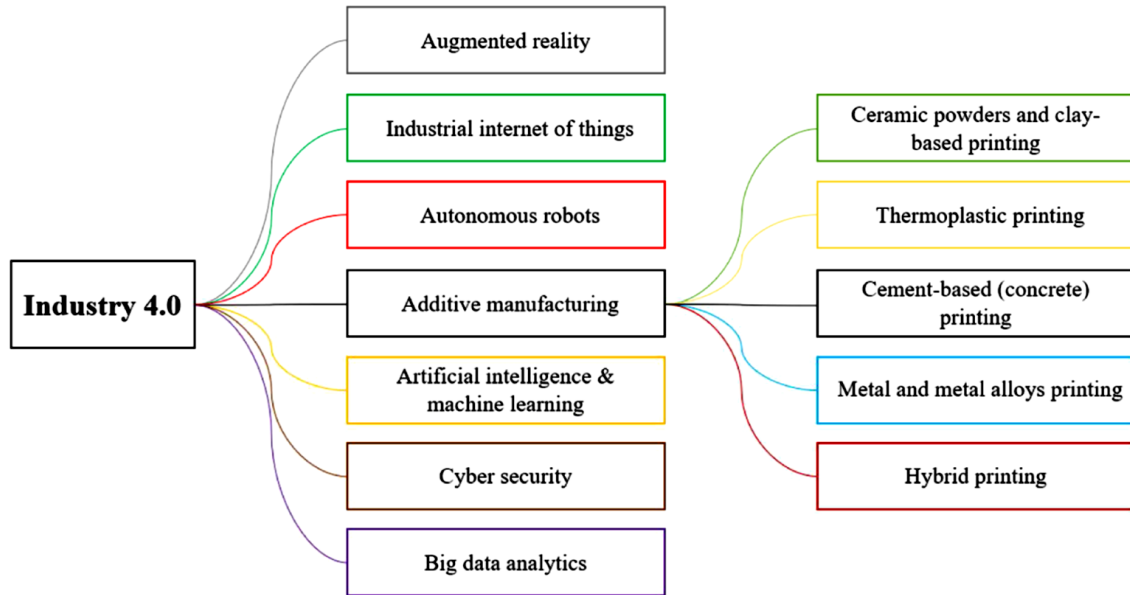
Endüstri 4.0, akıllı sistemlerin ve otomasyon teknolojilerinin devrimi niteliğindedir. Bu dönemde, yeni bilgi teknolojilerini entegre etme noktasında modern fabrikasyon becerilerinin kullanılması ile ekonomik rekabetçilik doğrultusunda gelişmeler olmaktadır. Endüstri 4.0 insanların rolünü yeniden tanımlayarak ve akıllı üretim sistemlerini inşa etmeyi amaçlayarak kârlı bir şekilde iş birliği yapmak için siber ve fiziksel sistemler sunmaktadır. Sanal ortamlarla ilişkili temel alt alanları, nesnelerin interneti (IoT), bulut bilişim, büyük veri vb. kavramları içerirken, fiziksel alanda eklemeli imalat ve otonom robotlar yer almaktadır (Dilberoglu ve diğerleri, 2017). Akıllı üretim sistemlerinin fiziksel bölümü, mevcut fabrikasyon sistemlerinin gücü ile sınırlıdır. Bu noktada, eklemeli üretim teknolojisi Endüstri 4.0'ın önemli yapıtaşlarından biri haline gelmektedir. Endüstri 4.0'da özelleşme olgusu sebebiyle, gelenekselliğin dışına çıkılarak üretim yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, katmanlı üretim teknolojisi, ilerlemiş özelliklere sahip sofistike nesneler oluşturma yeteneği sayesinde özelleştirilmiş ürünler imal etmek için kilit bir teknoloji olmuştur. Seri üretimdeki uygulanabilirliği konusunda da eklemeli üretimin sektördeki kullanımı, yeni teknolojik ilerlemeler nedeniyle yükselmektedir. Üretim hızının artışı ile güçlendirilmiş kompleks nesneler oluşturmak için yakın gelecekte geleneksel imalat tekniklerini değiştirebilecektir (Prashar ve diğerleri, 2017).

Otomotiv, havacılık ve aero-uzay gibi sanayi sektörleri, kalite ve verimliliği artırmak için dijital teknolojiler benimseyerek radikal süreç değişikliklerine uğramıştır. Dijital dönüşüm ile birlikte, üretim teknolojilerinin sistemi ve akıllı imalat süreçleri kombine edilmektedir (Dalenogare ve diğerleri, 2018). Sensörler ve kontroller, sanal sistemler, kognitif ve yüksek performanslı uygulamalar, nanoteknolojik malzemeler, tasarım ve simülasyon sistemleri, diğer teknolojilerin yanı sıra otonom robotların dijital kullanımıyla sağlanan fizikselden dijitale doğru geçiş aşamaları endüstriyel dönüşümün anahtarıdır. Bununla birlikte, diğer endüstriyel bölümlerin aksine inşaat ve mimarlık sektörü, teknolojik yenilikleri benimsemede geride kalmıştır ve büyük bir yıkıcı dönüşüm geçirmemiştir. İnşaat ve mimarlık sektörü, dijital fabrikasyon teknolojilerinin, donanım sistemlerinin, akıllı makinelerin ve malzemelerin benimsenmesi ile karakterize edilen dönüşümle gelişmektedir. İnşaat sektörünün benzersizliği, diğer birçok endüstriyel bölümlerde kullanılan araç-gereçlerin doğrudan adaptasyonunda zorluk oluşturmaktadır. Yıllar içerisinde, insan gücüne dayalı inşaat projesi uygulamalarında İkinci ve Üçüncü Sanayi Devrimi'nin dünyaya kazandırdığı geleneksel teknolojiler kullanılmaya devam etmektedir. Özellikle değişimlere diğer sektörlerin aksine göreceli bir şekilde kapalı yapısı olan inşaat sektöründe, öncü sistemlerin uygulamaları sınırlı düzeydedir. Ek olarak, birçok ülkede teknolojik güncellemeler henüz kullanılmaya başlamamıştır (Craveiro ve diğerleri, 2019). İnşaat sektörünün algılanan imajı, düşük performans ve kaliteli görüntü ile karakterize edilen, halen zanaat temelli metotlara dayalı ve ağırlıklı olarak düşük teknolojilidir (Al-Qutaifi ve diğerleri, 2018).

Almanya'da 2011 yılında endüstriyel üretim hattında geliştirilen dijital dönüşüm planlamasının etkisi ile başlayan değişimler, ilk olarak Kagermann (2011) tarafından yapılmış olan çalışmada, "Endüstri 4.0, Prensipleri ve İçeriği" şeklinde ifade edilmiştir. İlerleyen süreçte Alman Ulusal Bilim ve Mühendislik Akademisi tarafından 2013'te bir manifesto yayınlanarak son teknolojik ürünler ve yeni nesil üretim sistemleri açıklanmıştır. Bununla birlikte, değişen ve dönüşen endüstriyel aşamalarda literatür çalışmaları artmış, Endüstri 4.0 sistemlerinin sahip

olduğu özellikler ortaya konulmuş ve Endüstri 4.0 tasarım prensipleri belirlenmiştir (Pfohl ve diğerleri, 2017). Tasarım prensipleri dahilinde diğer üretim sektörlerindeki değişimlere benzer bir şekilde Yapı 4.0 (*Construction 4.0*) olarak adlandırılan kavram, Endüstri 4.0'ı oluşturan teknolojik araç-gereçlerin ve yeni fabrikasyon yöntemlerinin inşaat ve mimarlık projesi yaşam döngüsü süresince kullanılarak aşamaların otonom hale getirilmesi ve dijitalleştirilmesi olarak ön plana çıkmıştır. Bu dönüşümler ile birlikte gün geçtikçe inşaat firmalarının verimliliğini yükseltmesine, proje ve iş kalemelerindeki gecikmelerini azaltmasına ve etkin ekonomik finansman sağlanmasına, karmaşıklığı yöneterek güvenliği, kaynak verimliliğini ve kaliteyi artırmaya olanak tanımıştır (De Soto ve diğerleri, 2018). Endüstri 4.0'ın altyapısını oluşturan sistemler ve eklemeli imalatla kullanılan üretim çeşitleri Şekil 1'de verilmiştir.

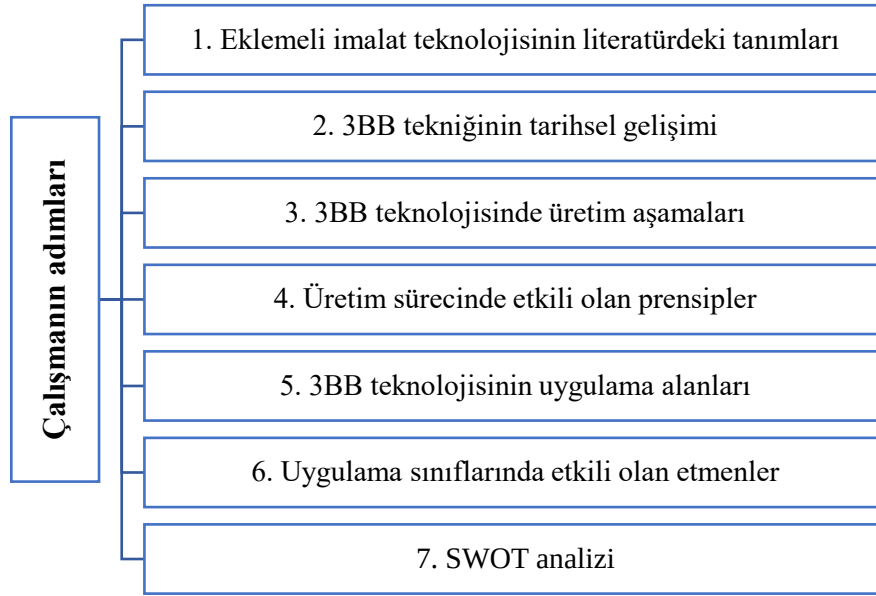
Araştırma, birincil ve ikincil kaynaklardan veri toplamayı içeren mimarlık, mühendislik ve inşaat (AEC) konu alanlarına odaklanmıştır. Bu bağlamda, çalışmada Endüstri 4.0 döneminin önemli bileşenlerinden biri olan 3BB konusunun inşaat sektöründe ne gibi değişikliklere yol açtığı ve gelecekte hangi dönüşümlere zemin hazırlayacağı düşünülerek araştırmalar derinleştirilmiştir. Bu amaçla, literatürde 3BB üzerine gerçekleştirilmiş olan akademik çalışmalar sınıflandırılarak bir literatür analizi yapılmıştır. Literatür taramasının sonucunda mimarlık, mühendislik ve inşaat sektöründe Endüstri 4.0'a geçerken hesaba alınması gereken tasarım konfigürasyonları ve bunların Endüstri 4.0 yenilikleri ile nasıl desteklendiği ortaya konmuştur. Araştırmanın kavramsal sınırlarını tanımlamak için en çok aranan anahtar kelimeler, Endüstri 4.0/ inşaat sektöründe eklemeli üretim / dijital üretim / Yapı 4.0 şeklindedir. Başlık / özet / anahtar sözcüklerde bu terimlerin bir kombinasyonunu içeren makaleler dikkate alınmıştır ve 3BB teknolojisinde etkin rol oynayan parametreler değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Endüstri 4.0 ve 3BB ilişkisi (Takva ve diğerleri, 2024)

Materyal ve Metod

Endüstri 4.0'da kullanılan sayısal üretim metodolojilerinin girdi ve çıktı süreçlerine yeni perspektifler kazandırarak tasarımcılara ufuk açıcı potansiyeller sunması, hayal edebilme ve öngörme yeteneklerini artırmaktadır. Yenilikçi malzeme çeşitliliği ile tasarım sürecinin özelleşmesinin sağlanması, güncellenmiş modelleme tasarımlarının ve üretim sürecinde eklemeli imalat teknolojilerinin öneminde artışa sebep olmuştur (Bulut, 2019). Literatürdeki çalışmalardan hareketle, eklemeli üretim uygulamalarının Endüstri 4.0'a daha az zaman ve maliyetle çeşitli gelecek gereksinimlerini karşılamak için nasıl uygulanabileceğini yönelik araştırma boşluğu bulunmaktadır. Bu sebeple, çalışmada 3BB teknolojisi ile ilgili konular belirlenmiş ve akış şeması oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. 3BB teknolojisinin küresel olarak ele alınmasında öne çıkan noktalar ve akış şeması

Eklemeli İmalat Teknolojisinin Literatürdeki Tanımları

Sanayi devrimleri genel olarak düşünüldüğünde üretim odaklı yenilikler göstermektedir. Birinci sanayi devriminde makine gücü ile üretim, ikinci sanayi devriminde ise seri üretim odaklı yenilikler meydana gelmiştir. Dördüncü sanayi devrimi, üçüncü sanayi devriminin bilgisayar ile desteklenmesini optimize etmektedir. Bu kapsamda, imalat sanayisi giderek daha üretken, daha kullanışlı ve daha az savurgan hale gelmiştir (Almada-Lobo, 2015). Endüstri 4.0, ürünlerin imalatı sırasında çevreye daha duyarlı olacak şekilde programlanabilir bir sistem oluşturarak daha az israfa sahip ürünler geliştirebilmektedir. Endüstri 4.0 ve eklemeli imalat birleşiminde belirli bir hedefe yönelik ürünler imal edilerek lojistik maliyetleri düşürülmektedir ve isteğe bağlı özelleştirilmiş üretim sistemi ile birlikte optimize bir çözüm sunularak mevcut tasarım sorunları ortadan kaldırılmaktadır. Aynı zamanda sanayinin ekonomik açıdan rekabetçi hale getirilmesinde de eklemeli imalat aktif bir rol oynamaktadır (Wang ve diğerleri, 2018). Endüstri 4.0 temelinde eklemeli imalat ile ilgili literatürde yer alan bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CITIES AND URBAN LANDSCAPES

December 13-14, 2024 / Kyrenia, TRNC

Tablo 1. Endüstri 4.0’da eklemeli imalat teknolojisinin literatür tanımları

Alt Başlık	Tanım	Referans
-3 Boyutlu Baskı (3BB) -Hızlı prototipleme -Katmanlı İmalat -Masaüstü İmalat	3B yazıcılarda üretim, eklemeli bir süreçtir. Katman kesitlerinin belirlenen çözünürlükte bir araya gelmesiyle oluşur. Bundan dolayı bu süreçten "eklemeli üretim" olarak da bahsedilir. Kavram olarak benzer tanımları olmasına rağmen "3 boyutlu yazdırma" daha bireysel, küçük ölçekteki amatör ruhla yapılmış işleri çağrıştırırken, "eklemeli üretim" daha profesyonel ölçekteki işleri çağrıştırmaktadır.	(Şahin ve Turan, 2018)
	Eklemeli imalat teknolojisi, geleneksel bilgisayar destekli üretimdeki oymacılık prensibinin aksine malzemelerin birleştirilerek katmanlar halinde oluşturulup üst üste eklenmesi prensibine dayanan, serbest formlu ve karmaşık geometriye sahip objelerin üretilmesine imkân sağlayan pratik bir imalat metodudur.	(Özsoy ve Duman, 2017)
	Eklemeli imalat olarak adlandırılan sistemde dijital bir tasarımdan fiziksel bir nesne oluşturmak için, eritilmiş çok ince katmanlardan oluşan malzemelerin üst üste yerleştirilmesi söz konusudur.	(Montes, 2016)
	Katmanlı imalat, bilgisayar destekli tasarım modellerinden otomatik olarak karmaşık şekil geometrileri üretebilen gelişmiş bir üretim sürecidir.	(Akipek ve İnceoğlu, 2007)
	Temel olarak eklemeli üretim tekniği, katman katman eklemeye yöntemi kullanılan bir süreçtir ve sayısal ortamda 3B olarak tasarlanan modelin, 2B olarak dilimlendiği varsayılarak ve üretimi yapacak olan makineye iletilerek makine ucundan yapı malzemesinin katmanlanarak dökülmesiyle son ürünün ortaya çıkarılmasıdır.	(Kolarevic, 2003)

Dördüncü sanayi devriminin ticari işlemlerde artan değişiklikler meydana getirdiği görülmektedir. Bu devrim; analitik, robotik, eklemeli üretim, yapay zekâ, gelişmiş malzemeler, yüksek performanslı bilgi işlem, bilişsel teknolojiler ve argüman gerçekliği gibi fiziksel ve dijital teknolojileri bir araya getirmektedir (Gunasekaran ve diğerleri, 2019). Bu süreçte, veriler 3B tarayıcı gibi çeşitli tarama cihazlarının kullanımı ile birlikte fiziksel olarak dijital forma dönüştürülmektedir. Bilgiyi dijital olarak paylaşmak için yapay zekâ gibi çeşitli bileşenler kullanılmaktadır. Bir bilgisayar diğerleriyle iletişim kurmakta ve herhangi bir insan müdahalesi olmadan kararlar vermektedir. Bu devrimde, akıllı sistem elemanları dijital olarak tüm sistemle bilgi paylaşmak için bağlantı kurmaktadır. AEC sektöründe katmanlı imalat ile otomasyon, bulut bilişim, nesnelerin interneti ve gelişmiş üretim teknolojileri arakesitinde ilişkiler kurulmaktadır (Haleem and Javaid, 2018). Bu noktada, AEC sektörüne yönelik katmanlı imalat ifadeleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CITIES AND URBAN LANDSCAPES

December 13-14, 2024 / Kyrenia, TRNC

Tablo 2. Endüstri 4.0’da eklemeli üretim teknolojisinin AEC’de yaygın olarak kullanılan literatür ifadeleri

Tanım	Referans
Tasarımın bilgisayarda yapılması ile sayısal modellere dönüşen tasarımların her aşaması kontrol altında tutulabilmekte ve üretim bu modeller sayesinde yapılabilmektedir. 3B yazıcıların yaygınlaşması ile mimarlık alanında da önemli değişimler ve dönüşümler yaşanmaktadır. Bunların en önemlilerinden birisi "test modellerinin (<i>mock-up</i>) sonuç-ürün olabilme potansiyeli" ile mimarlığın inşa etme eylemlerindeki değişimidir.	(Mitchell, 2005)
3B yazıcıların mimarlıkta kullanılması ile matematiksel olarak aktarılan değerlerin görselleştirilmesi ve 3B yazıcılarla da somut hale gelebilmesi sağlanmaktadır.	(Voulgarelis ve Morkel, 2010; Segerman, 2012; Slavkovsky, 2013)
3B yazıcıların kullanılması özellikle mimarlar için özgün ve yaratıcı proje eserlerinin prototiplerini oluşturabilmeleri, soyut olan düşüncelerini somuta dönüştürebilmeleri için bir araç olarak görülmektedir.	(Seelow, 2017)
3B yazıcı teknolojilerinin kullanımının inşaat endüstrisinde de etkin bir şekilde artarak kullanılabildiği görülmektedir. <i>Contur Crafting</i> teknolojisi, inşaat endüstrisinde devrim yaratabilecek uygun bir tekniktir. Bu teknolojinin kullanımı, maliyet ve zamanın azaltılması, çevre kirliliğinin en aza indirilmesi ve inşaat sahalarındaki yarananma ve ölümlerin azaltılması gibi birçok avantaja sahiptir.	(Sakin ve Kiroğlu, 2017)

3BB Tekniğinin Tarihsel Gelişimi ve Üretim Aşamaları

3BB veya eklemeli imalat olarak da adlandırılan dijital üretim teknolojisi, birbirini izleyen materyaller eklenerek geometrik bir sunumdan fiziksel nesneler yaratmaktadır. Katmanlı bir nesne oluşturmak için malzemelerin üst üste eklenmesi gerekmektedir. Metal, termoplastikler, seramikler, biyokimyasallar ve diğer malzeme türleri gibi farklı malzemeler kullanılmaktadır. 1983’te temelleri atılan 3BB süreci, günümüze kadar teknolojinin üst noktalara ulaşması ile gelişme göstererek son on yılda inşaat endüstrisinde kendini göstermiştir ve ön planda göze çarpmaya başlamıştır. 3BB teknolojisinin farklı teknikleri ve uygulamaları, şirketler ve firmalar ile bazı endüstri profesyonelleri tarafından geliştirilmiştir. Bu gelişim süreci boyunca önemli ve kritik kilometre taşlarının kronolojik olarak kısa tarihçesi aşağıda verilmiştir (Tablo 3).

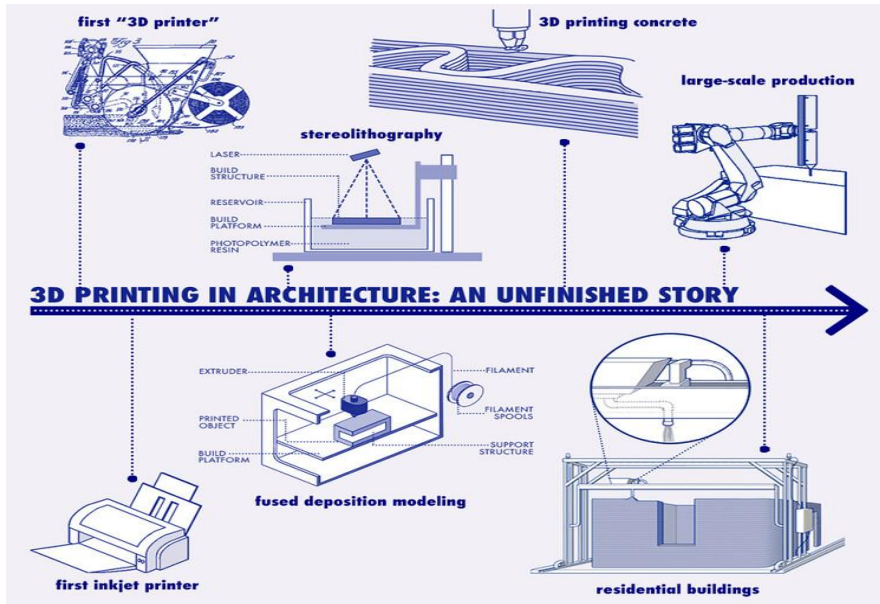
**3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CITIES AND
URBAN LANDSCAPES**

December 13-14, 2024 / Kyrenia, TRNC

Tablo 3. 3BB sürecinin tarihsel gelişim aşamaları

Yıl	Gelişmeler	Referans
1983	Charles Chuck Hulls, CAD/CAM dosyalarını katı objelere dönüştürerek adını kendisinin verdiği <i>Stereolithography</i> (SLA) teknolojisini icat etmiştir. Böylelikle katmanlı imalat endüstrisinin temelleri atılmıştır.	(Hull, 2015)
1990	SLA-1 yazıcı geliştirilerek SLS tipi 3B yazıcı <i>The DTM</i> ticarileştirilmiş ve piyasada yerini almıştır.	(Sahib ve Tirkeş, 2022)
1992	Dördüncü jenerasyon olarak SLS teknolojisyle çalışan <i>DTM SinterStation 2000</i> , DTM tarafından tasarlanıp üretilmiştir.	(Sahib ve Tirkeş, 2022)
1996	İlk inkjet teknolojisiyle çalışan 3B yazıcı <i>The Actua 2100</i> , 3D Systems şirketi tarafından geliştirilmiştir. Z Corporation adlı firma ise MIT'den satın aldığı lisans hakkıyla birlikte inkjet teknolojisiyle çalışan <i>Z402</i> 3B yazıcıyı piyasaya sürmüştür.	(Hsu ve Lai, 2010)
1999	3D Systems, o zamanlardaki piyasa koşullarına göre en pahalı 3B yazıcı olan <i>SLA 7000</i> 'i üreterek ticarileştirmiştir.	(Wang ve diğerleri, 2019)
2000	İsrail kökenli bir firma olan Object Technologies, inkjet teknolojisiyle çalışan 3B yazıcı <i>Quadra</i> 'yı geliştirmiştir. Orijinal modeli ise daha sonra geliştirilerek bir üst versiyonu olan <i>Quadra Tempo</i> olmuştur.	(Wang ve diğerleri, 2019)
2002	Stratasys şirketi, Prodigy altyapısına sahip olan ABS malzemeyi modelleyebilen ve masaüstü 3B yazıcı olan <i>Stratasys Dimension</i> 'i geliştirmiştir.	(Park and Jun, 2017)
2005	Z Corporation, ilk yüksek çözünürlüklü renkli üretim yapabilen <i>Spectrum Z510</i> adını verdikleri 3B yazıcıyı geliştirmiştir.	(Vanderploeg ve diğerleri, 2017)
2005	RepRap (<i>Replicating Rapid Prototyper</i>) adıyla bilinen açık kaynak projesi, UK Bath Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü tarafından kurulmuştur. Bu projenin amacı, kendi parçalarını basabilen ve böylelikle kendi taklidini oluşturabilen bir FFF (<i>Fused Filament Fabrication</i>) tipi üç boyutlu yazıcı üretmektir.	(Wittbrodt ve diğerleri, 2013)
2008	RepRap projesinin sonucu olan, Darwin isimli ilk 3B yazıcı üretilmiştir. Diğer taraftan, üç boyutlu yazıcı üreticisi olan Makerbot tarafından <i>Thingiverse</i> isimli 3BB sürecine hizmet edecek bir websitesi kurulmuştur. <i>Thingiverse</i> , 3B katı modellerin tasarımlarının açık kaynak olarak ücretsiz bir şekilde sunulduğu bir platform olmuştur.	(Wittbrodt ve diğerleri, 2013)
2008	Enrico Dini, 10x10x10 m. yazdırma kapasitesine sahip kendi <i>D-Shape</i> yazıcısını, 3B modelleme ve dosya paylaşımı için piyasaya sürmüştür.	(Radu, 2014)
2010	Gövdesi 3B yazıcıdan üretilmiş <i>Urbes</i> isimli prototip araba geliştirilmiştir. Diğer taraftan bir ilaç firması olan Organovo tarafından ilk biyolojik baskılı kan hücreleri oluşturulmuştur.	(Peng ve diğerleri, 2015)
2010	Loughborough Üniversitesi, dünyanın ilk beton yazıcısını geliştirmiştir. Altın ve gümüş kullanan ilk yazdırma hizmeti sunulmuştur.	(Khan ve diğerleri, 2020)
2012	Dünyanın ilk 3BB teknolojisi ile üretilmiş alt çene implantı Belçikalı bir firma olan LayerWise ile üretilmiştir.	(Pirjan ve Petroşanu, 2013)
2013	İlk 3BB alınan ev inşa etme yarışı başlamıştır. Emerging Objects şirketi tarafından Kanada'da tuz kullanılarak bir pavyon 3B yazıcı ile oluşturulmuştur.	(Radu, 2014)
2014	Dijital dışçılık sektörü, 3BB dünyasında giderek popülerleşmeye başlamıştır. Stratasys şirketi, dışçılık odaklı 3B yazıcıları da piyasaya sürmeye başlamıştır.	(Park and Jun, 2017)
2015	3BB kullanılarak bina inşaat ve yapı elemanları üretimi geliştirilmiş ve bina inşaatında daha hızlı yol almanın önü açılmıştır.	(Radu, 2014)
2016	İlk kez 3B yazıcı ile ofis binası inşa edilmiştir.	(Bulut, 2019)
2019	İlk kez 3 boyutlu yazıcılarla orta kulak implantı üretilmiştir.	(Bulut, 2019)

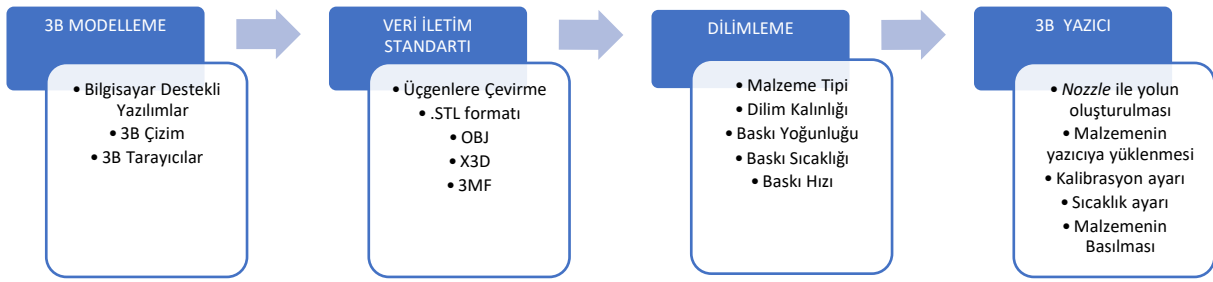
Sayısal hesaplama teknolojilerindeki ilerlemeler, tasarım aşamasında ve sonrasında performansa dayalı analiz ve simülasyon tabanlı sentezleme ortamı sunmaktadır. Bununla birlikte, uygulama aşamasında bilgisayar destekli fabrikasyon (CAM) yöntemleri ile üretimin daha hassas ve az maliyetli yapılabilmesini sağlamıştır. Sayısal üretim yöntemleri ile karmaşık ve kompleks geometrik tasarımların hata olmadan çıktı ürüne dönüşmesi ve yeni nesil malzemelerin tasarımcıların kullanımına sunulmasına olanak sağlamıştır. Katmanlı üretim planlamasında serbest biçimli katı objelerin ve nesnelerin üretimi, biçimlenme ve yazdırma yolu üretim teknikleri olarak sınıflandırılabilir sistemlerin her geçen gün gelişmesine ve multidisiplinler çalışma ortamlarını ve araştırma alanlarını tetiklemektedir (Kolarevic, 2003). 3B yazıcıların tarihsel gelişimine bakıldığında, ilk olarak 3B baskı işlemlerinin 1980 yılında Charles Hull tarafından ticarileştirildiği bilinmektedir. CAD yazılımlarının geniş bir çerçevede kullanılması, fabrikasyon teknolojisindeki ilerlemelere de ivme kazandırmış ve beklenmedik bir hızla çeşitlendirmiştir. 1993 yılında MIT’de iki boyutlu yazıcılarda kullanılan *inkjet* teknolojisinden yola çıkarak yeni bir teknoloji geliştirilmiş ve 3B yazıcılarda yeni bir dönem başlamıştır. 1995 yılında 3B yazıcıların pazarlanarak satışı yapılmaya başlanmıştır. 1996 yılında Z Corporation firması ile yüksek çözünürlüğe sahip çıktı ürünler, ilk 3B yazıcı bünyesinde tasarlanmıştır. 2008 yılında Object Geometries Şirketi, *Connex500* ile aynı anda farklı malzemeler kullanarak ürün elde etmiş, 2009 yılından itibaren ise Makerbot ve 3B Systems’in geliştirmiş olduğu *Cubify* gibi modeller sayesinde ev boyutunda 3B yazıcıların satışları artmaya ve kullanımı yaygınlaşarak gündelik hayata girmeye devam etmiştir (Holzmann ve diğerleri, 2017). Şekil 3’te 3B yazıcıların geçmişten günümüze evrimi görülmektedir.



Şekil 3. 3BB teknolojisinde kullanılan 3B yazıcıların dönüşümü (Montjoy, 2023)

Günümüzde 3B yazıcılar, kitle özelleştirmesi, mimarlık, tarım, sağlık, eğitim, otomotiv ve havacılık endüstrilerinde her türlü açık kaynaklı tasarımların üretimi için giderek daha fazla kullanılmaktadır (Bulut, 2019). Hat-iskele kurulumu ve kalıp ihtiyacı olmadan, doğrudan tasarımdan üretime geçiş imkânı veren 3BB teknolojisi genel olarak dört temel adımdan oluşmaktadır. İmalatı düşünülen 3B katı model çoğu durumda doğrudan imalat

makinesine gönderilememektedir. Bir bilgisayar modeli ilk önce bir CAD sistemi (katı veya yüzey modeli) kullanılarak üretilmekte ve standart STL formatına dönüştürülmektedir. STL dosya formatı eklemeli imalat teknolojisinin standart veri iletim formatı haline gelmiştir ve etkileşim için gerekli formattır. İnternette bulunan çoğu 3B yazdırılabilir model, STL dosya biçimindedir. 3B yazıcı üreticileri tarafından yapılan STL tabanlı yazılım yatırımları ile birlikte, formata yoğun bir şekilde büyük bir kullanıcı tabanı elde edilmiştir. STL formatıyla katı bir modelin yüzeylerine üçgenlerle yaklaşılmaktadır. Sonrasında, eklemeli imalat teknoloji sistemine gönderilen tasarım çoklu kesitlere dilimlenmektedir. 3B yazıcılar, dilimlenerek elde edilmiş sınır çizgilerinden oluşan 2B geometrik veriyi kullanarak katman katman üretim gerçekleştirmektedir (Khajavi ve diğerleri, 2014). Tasarımdan üretime doğru giden bu işlemler Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. 3BB işleminin adımları

Üretim Sürecinde Etkili Olan Prensipler ve 3BB Teknolojisinin Uygulama Alanları

Endüstri 4.0 teknolojisinin tüm avantajlarından yararlanmak için organizasyonların ve şirketlerin benimsemeleri gereken önemli tasarım prensipleri bulunmaktadır. Tasarım ilkeleri, üreticilerin Endüstri 4.0 teknolojilerine olası bir dönüşümü araştırmalarına olanak tanımaktadır. Yapılan literatür çalışması sonucunda bu prensipler;

- Gerçek Zamanlı Kullanılabilirlik
- Birlikte çalışabilirlik
- Sanallaştırma ve Dijitalleştirme
- Merkezsizleşme/ Dağıtık Sistemler
- Çeviklik
- Hizmet Yönelimi
- İş süreçleri entegrasyonu
- Özerk Yönetim
- Modülerlik şeklindedir (Genç ve Tunalı, 2022).

Yeni ve karmaşık talep ve süreç gereksinimleri nedeniyle, ürün geliştirme veya karar verme süreçlerinin daha hızlı ve etkin işlemesi gerekmektedir. Gerçek zamanlı veri ve otomasyon, esnekliği destekleyen prensiplerdir. Eklemeli imalat teknolojilerinin olanakları da bu prensipler doğrultusunda tüketiciye daha yakın olmalı, daha esnek ve duyarlı bir üretim sürecinin yanı sıra daha fazla kalite kontrolüne olanak tanımalıdır. Tıbbi parçaların tasarımı ve geliştirilmesi, gıda, otomobil, diş hekimliği, takı vb. tüm alanlarda neredeyse uygulanabilir bir nesnenin imalatı sırasında maksimum esneklik sağlanmalıdır (Lasi ve diğerleri, 2014).

3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CITIES AND URBAN LANDSCAPES

December 13-14, 2024 / Kyrenia, TRNC

İklim değişikliği ve kaynakların gün geçtikçe azalması, gelecekte endüstri bileşenlerini etkileyecek bir megatrend konumundadır. Bu megatrend, üretim ve lojistikte karbon-nötr teknolojilerin kullanımına olan ihtiyacı tetiklerken, yenilenebilir enerjilerin kullanılmasını da cazip kılmaktadır. Eklemeli imalat teknolojileri kullanırken, küresel taşımacılık ihtiyacı önemli ölçüde azalmaktadır. Bunun nedeni, son varış yerine daha yakın olan üretim sahaları kurulmasından kaynaklanmaktadır. Tüm lojistik ekipmanların yakın çevreden dağıtılması ile enerji ve zamandan tasarruf sağlanabilmektedir (Mohamed ve diğerleri, 2019). Eklemeli imalat teknolojisinde, bilgisayar destekli tasarım, yazılımlar, 3B yazıcı ve üretim ekipmanlarının birlikte çalışabilirliği ve çevikliği de bu sistemin etkin yürütmesinde önemlidir. Söz konusu prensiplerin tanımları doğrultusunda, eklemeli üretim sistemi için prensipler yeniden belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Endüstri 4.0'da eklemeli üretim teknolojisinin barındırdığı prensipler

Endüstri 4.0 Prensipleri	Etken teknolojiler	Uygulamalar	Referans
Birlikte Çalışabilirlik	Nesnelerin interneti, Hizmetlerin interneti, Otonom robotlar, 3B yazıcılar	Birlikte çalışabilirlik prensibi doğrultusunda, 3 boyutlu yazıcılar ve otonom robotlar için 7/24 otomasyon seçeneğini öne çıkararak, müşterilerin internet üzerinden yükledikleri CAD dosyalarını seçtikleri malzeme doğrultusunda basılmasını sağlamış ve ürünü 3-5 gün içerisinde teslim etme opsiyonu getirilmiştir.	(Stratasys Direct Manufacturing, 2016)
	3B yazıcılar, Nesnelerin interneti	Yüksek performansa sahip, merkezden bağımsız eklemeli üretim sistemleri nakliye mesafelerini ve eldeki stokları azaltmaktadır. Örneğin, şantiyelerde hammadde giderlerini düşüren yeni tasarımların uygulanması için eklemeli üretim yöntemi kullanılmaktadır.	(Rüßmann ve diğerleri, 2015)
Çeviklik	Otonom robotlar, 3B yazıcılar	Eklemeli üretim sistemleri, çevikliğin ve verimliliğin artmasına olanak tanımaktadır. Günümüzün rekabetçi ortamında, üreticilerin pazar değişikliklerine hızla adapte olabilmeleri için çevikliklerinin olması gerekmektedir.	(Takva ve diğerleri, 2024)
		3B yazıcıyla ürün tasarımı, üretim öncesi aşamada hızlı prototipleme imkânı tanımaktadır. Prototipleme aşamasında kazanılan zaman, işletmelerin daha hızlı üretim yapmasına ve pazarlara daha hızlı ulaşmasına yardımcı olarak, üreticilerin daha düşük maliyetlerden yararlanmasını sağlamaktadır.	(Takva ve diğerleri, 2024)
İş Süreçlerinin Entegrasyonu	Otonom robotlar, 3B yazıcılar	Çizimler, taslaklar veya dijital 3B modeller, 3B yazıcılar tarafından sunulan gerçek hayat perspektifini taklit edememektedir. Bu modern prototipleme yöntemi, insan faktörlerini ve ergonomiyi tasarıma dahil etmek için yeteneklere sahiptir. Görsel olarak çarpıcı prototipler, yeni ürün tasarım fikirleri oluşturma, sunma ve böylece daha fazla iş fırsatı yaratma konusunda yardımcı olmaktadır.	(Takva ve diğerleri, 2024)
		3B yazıcı teknolojilerinin temel amacı, özelleştirme, inovasyonu artırma, karlılık, verimlilik ve performansın daha iyi yönetilmesini kapsamaktadır. 3B yazıcılar, nesnelerin interneti, bulut bilişim, gelişmiş analitik ve siber-fiziksel sistemler gibi farklı dijital teknolojiler ile birlikte entegrasyon sağlayarak iş süreçlerinin verimliliğini artırmaktadır.	(Lee ve diğerleri, 2015; Mosterman ve Zander, 2016)

Üretim için ortaya konan prensipler doğrultusunda üretimler gerçekleştirilmektedir. Hata kontrolü ve onarımı, tablaya yerleşim ve inşa yönü, ihtiyaç halinde destek yapılarının

3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CITIES AND URBAN LANDSCAPES

December 13-14, 2024 / Kyrenia, TRNC

oluşturulması gibi bazı ön işlemlere göre üretimlerin planlamaları da değişkenlik göstermektedir. Günümüzde 3BB teknolojisi farklı alanlarda kullanılmaktadır (Tablo 5). Tarihsel gelişimi ve ulaştığı evrensel boyut itibarıyla küresel eklemeli imalat pazarının olgunlaştığı görülmektedir. Küresellik çerçevesinde, çeşitli sektörlerde 3BB teknolojisinin etkinliği görülmektedir;

-Sağlık Endüstrisi

Ortopedik implantların oluşturulmasında, cerrahi kesimlerde ve organların prototip üretimi gibi alanlarda 3BB teknolojisi kullanılmaktadır. Kafatası implantından, kalça, diz ve bel kemiği implantına kadar çeşitli vücut bölgelerinde birçok implant imal edilmektedir. Dental endüstrisinde ise geliştirilen yazılımlar ile ortodontik araçlar ve diş kalıplarına göre estetik ürünler elde edilmektedir (Salmi, 2021).

-Uzay Endüstrisi

Havacılık ve uzay endüstrisinde 3BB teknolojisi ile enerji ihtiyacını karşılayabilecek ve mevcut kaynakları koruyacak karmaşık geometrilerde uçak ve gövde ekipmanları tasarlanarak hayata geçirilmektedir. Motor gibi bazı havacılık bileşenlerinin yedek parçalarını üretmek için yaygın olarak 3BB tekniği uygulanmaktadır. 3BB malzemesi olarak ise oksidasyon / korozyon direnci ve hasar toleransı nedeniyle nikel bazlı alaşımlar daha fazla tercih edilmektedir (Joshi ve Sheikh, 2015).

-Otomotiv Endüstrisi

Otomotiv endüstrisinde, *Local Motor* 2014 yılında ilk 3B baskılı elektrikli otomobili basmıştır. Ayrıca BMW, otomotiv testi ve montajı için el aletleri üretmek üzere 3BB teknolojisini kullanmaktadır. 2017'de AUDI, yedek parça ve prototip üretmek için SLM Solution Group AG ile iş birliği yapmıştır (Maghnani, 2015).

-Gıda Endüstrisi

Günümüzde, sporcu, çocuk, hamile, hasta vb. gibi özel diyet ihtiyaçları için özelleştirilmiş gıdaların geliştirilmesine artan bir talep bulunmakta, bu da gereksiz bileşenlerin miktarını azaltarak sağlıklı içeriklerin artırılmasını hedeflemektedir. Bununla birlikte, özelleştirilmiş gıdaların geliştirilmesinin yaratıcı bir şekilde yapılması da 3BB tekniği ile mümkün olmaktadır. 3BB teknolojisi kullanılarak belirli malzemeler karıştırılabilmekte ve çeşitli karmaşık yapılarda ve şekillerde gıdalar işlenebilmektedir (Dankar ve diğerleri, 2018).

-Moda Endüstrisi

2010 ve sonrasında moda sektöründe 3BB uygulamaları artarak ayakkabı, mücevher ve giyim eşyaları piyasaya çıkmıştır. Örneğin, Nike, New Balance ve Adidas gibi büyük şirketler 3B baskılı ayakkabıların seri üretimini geliştirmeye çalışmaktadır. Günümüzde spor ayakkabılar için 3BB teknolojisinden faydalanılmaktadır. Ek olarak, 3BB teknolojisinin uygulamaları moda endüstrisi ile sınırlı değildir, aynı zamanda deri ürünleri ve aksesuarları da basılabilmektedir (Attaran, 2017).

-Elektrik ve Elektronik Sanayi

Günümüzde, aktif elektronik malzemeler, elektrot, kütle özelleştirmeli ve uyarlanabilir tasarıma sahip yapısal elektronik cihazlar için çeşitli 3BB teknolojileri yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük üretim maliyeti, optimum güvenlik, yüksek güvenilirlik ve hızlı

**3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CITIES AND
URBAN LANDSCAPES**

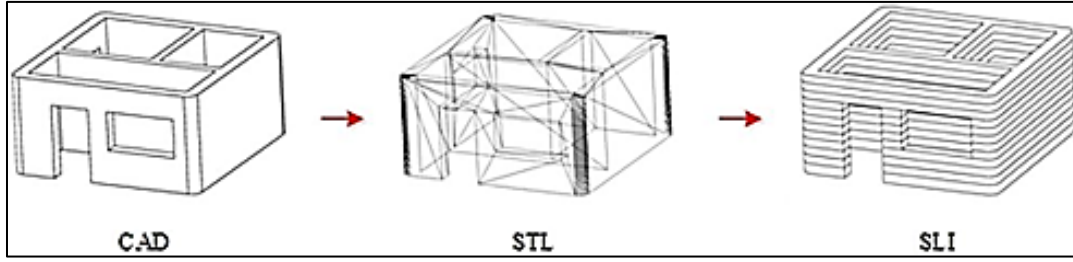
December 13-14, 2024 / Kyrenia, TRNC

üretime sahip yeşil bir elektronik cihazın geliştirilmesi, endüstri sektöründe çevre kirliliğini gidermek için talep edilmektedir (Lee ve diğerleri, 2017).

Tablo 5. 3BB teknolojisinin endüstri sektörlerindeki uygulama alanları

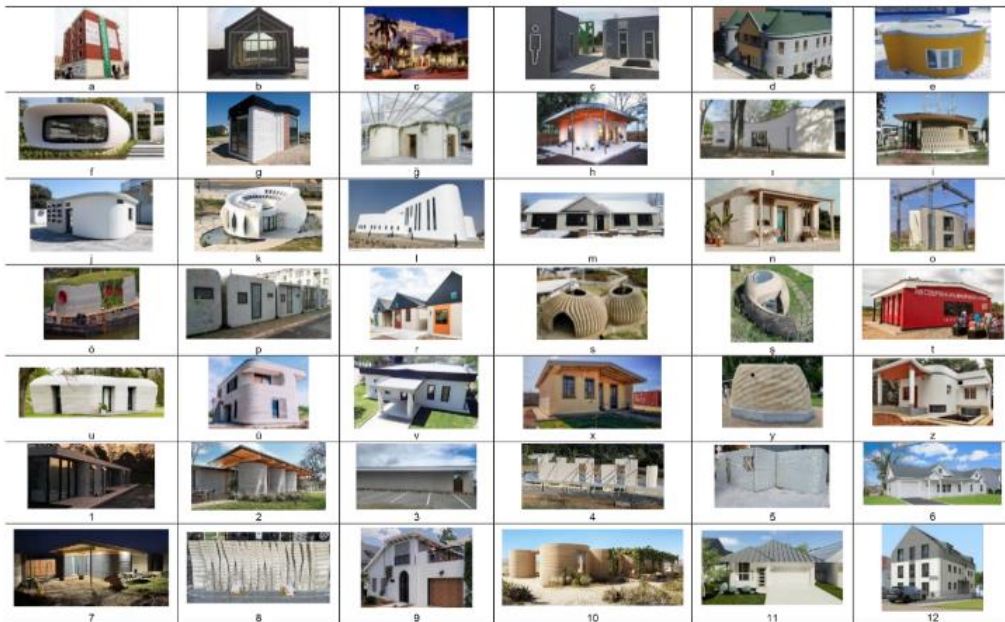
Uygulama	Açıklama	Referans
Askeri	• Yedek parça ve aksesuar üretimi • Daha hafif parçaların üretimi • Karmaşık tasarıma sahip aksesuarlarının üretimi • Üretimde kullanılan takım ve tertibatın üretimi	(Ramya ve Vanapalli, 2016; Shahrubudin ve diğerleri, 2019)
Spor-eğlence	• Karmaşık tasarıma sahip aksesuarlarının üretimi • Koruyucu ekipmanların tasarımında iyileştirme • Ürün testi için farklı renk ve malzemelerden prototiplerin üretimi • Ürünlerin kişileştirilmesi ve kişiye özgü olarak yeniden üretilmesi	(Ramya ve Vanapalli, 2016)
Gıda	• Özelleştirilmiş gıda hazırlanması • Yiyecek israfında azalma	(Shahrubudin ve diğerleri, 2019)
Moda	• Ürünlerin kişileştirilmesi ve kişiye özgü olarak yeniden üretilmesi	(Bulut, 2019)
Ulaşım	• Üretimde kullanılan takım ve tertibatın üretimi • Yedek parça ve aksesuar üretimi • Karmaşık tasarıma sahip aksesuarlarının üretimi • Daha hafif parçaların üretimi • Malzeme tasarrufu sağlanması	(Ramya ve Vanapalli, 2016; Shahrubudin ve diğerleri, 2019)
Sağlık	• Ayarlanabilir ortopedik implant ve protezlerin geliştirilmesi • Tıbbi ürünlerin testinde kullanılmak üzere canlı doku üretimi	(Ramya ve Vanapalli, 2016)
Sanat	• Prototip ve kalıbının oluşturulması • Sanat eserlerinin bire bir aynısının yazdırılıp daha geniş kitlelere ulaşması	(Bulut, 2019)
Eğitim	• Objelerin daha anlaşılabilir hale getirilmesi • Öğrencilerin matematiksel modelleri ve grafikleri canlandırabilmelerinde kullanılan ekipmanların üretimi • Bilgisayar ortamında tasarlanan bir objeyi gerçeğe dönüştürme	(Oluwole, 2017)

İnşaat sektöründe, söz konusu dijital teknolojilerin kullanımı henüz çok yaygın olmasa da pek çok AR-GE çalışmasının sonuçları ile uygulamaların sayısı ve niteliği artmaktadır. Bileşenler dijital olarak üretildikten sonra, yerinde montajları dijital teknoloji ile sağlanabilmektedir. Dijital 3B modeller, her bir bileşenin konumunu belirlemek, her bir bileşeni yerine taşımak ve son olarak her bir bileşeni yerine sabitlemek için kullanılabilmektedir (Şekil 5). Elektronik ölçme ve lazer konumlandırma gibi kullanılan yeni teknolojiler, bina bileşenlerinin yerini kesin olarak belirlemek için dünya genelindeki inşaat sahalarında giderek daha fazla yaygınlaşmaktadır. Sayısal evrimin kaçınılmaz sonucu olarak tanımlanan dosyadan fabrikaya (*file to factory*) anlayışı ile kompleks tasarımların biçim arayışları, yapının üretimi ve yapı elemanlarının özelleşmiş seri üretimleri, mimarlıkta CAD/CAM kullanımı dahilinde 3BB teknolojisi için bir dönüm noktasıdır (Craveiro ve diğerleri, 2019).



Şekil 5. Eklemeli imalat teknolojisiyle fiziksel bir nesne üretmek için ana adımlar (Craveiro ve diğerleri, 2019)

İnşaat sektörü, hızla değişen bir dünyaya cevap vermek için teknolojik yenilikleri benimsemektedir. Dijital dönüşüm ve kalifiye eleman sıkıntısı, 3BB teknolojisinin dönüşümünü hızlandıran iki kritik konudur. IoT, BIM ve diğer dijital sistemler gibi gelişmiş teknolojilerin hızla genişlemesi, inşaat verimliliğini, kalitesini, maliyetini ve kaynak verimliliğini artırmayı hedefleyen Yapı 4.0 adı verilen yeni bir dijital inşaat endüstrisini güçlendirmektedir. Yapı 4.0; dördüncü sanayi devrimi sürecinde, otomatik üretimden daha büyük bir dijitalleşme seviyesine, sanal ve gerçek binayı birbirine bağlayan BIM sistemi aracılığıyla dönüşümünün gerçekleşmesini ele almaktadır. Bu dönüşümün inşaat şirketlerinin verimliliği artırmasına, proje gecikmelerini ve maliyet aşımalarını azaltmasına, karmaşıklığı yönetmesine ve güvenliği, kaynak verimliliğini ve kaliteyi artırmasına olanak tanıyacaktır (Zhang ve Hu, 2011). Gelişen 3BB yazılımları ve ekipmanları sayesinde birçok yapı inşa edilmiştir (Şekil 6). Bu yapılarda enerji ve maliyet açısından da geleneksel inşa yöntemine kıyasla iyileştirmeler görülmektedir. Örneğin 2016'da Dubai'de inşa edilen Geleceğin Ofisi (*Office of the Future*) ismi verilen yapı, elektrik, su, telekomünikasyon ve klima sistemleri içeren tamamen işlevsel bir binadır. Projenin sonucunda işçilik maliyetlerinden %50-%80, inşaat atıklarından ise %30-%60 oranında tasarruf edilmiştir (Sakin ve Kiroğlu, 2017).



Şekil 6. 3BB teknolojisiyle inşa edilen yapılar (Gebel ve diğerleri, 2024)

Uygulama Sınıflarında Etkili Olan Etmenler

3BB teknolojisi, bireysel müşteri gereksinimlerine göre özelleştirilmiş parça üretmek için akıllı bir üretim sistemi sunmaktadır. Çevre üzerinde geniş bir etki bırakmak için malzeme israflarını azaltmaya yönelik girişimler ve deneysel çalışmalar da bulunmaktadır. Eklemeli üretim teknolojisiyle Endüstri 4.0'da ürün imalatını tamamlamak için 3BB makineleri koordine bir şekilde çalışmak durumundadır. Dünya standartlarında sonuçlar sunmak için gerekli bir üretim tekniğidir. Envanterin dijital formda depolandığı ve gerektiğinde üretim görevlerini tamamladığı yenilikçi bir üretim süreci olan 3BB teknolojisi, ürün geliştirme sürecine esnek bir yaklaşımdır ve tüm üretim senaryosunu değiştirebilmektedir. Bu süreçte, üretim otomatik olarak yazılım yoluyla komutlarla ve insan çabasını azaltarak yapılmaktadır. Geleceğin akıllı fabrikaları için potansiyelleri yüksek olan ve geniş bir skalada üretim çeşitliliği sağlayabilen bir tekniktir. Tablo 6'da üretim çeşitliliğine bağlı olarak uygulama sınıflarında etkili olan etmenler ele alınmıştır.

**3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CITIES AND
URBAN LANDSCAPES**

December 13-14, 2024 / Kyrenia, TRNC

Tablo 6. 3BB teknolojisinin uygulamalarında öne çıkan bileşenler

Uygulama	Açıklama	Referans
Özelleştirme	-Farklı teknolojileri kullanarak kişiselleştirilmiş bir ürünü verimli bir şekilde üretme -Özelleştirilmiş parçaların daha kısa sürede ve daha az maliyetle sentezlenmesi -Bilgisayar destekli tasarım girdisiyle hızlı bir şekilde özelleştirme -Verimliliği ve ürün yaşam döngüsünü geliştirmek için inovasyona odaklanma -İşletmelerde büyüme fırsatlarını gerçekleştiren yeni bir akıllı üretim çağı sunma -İsteğe göre yeni müşteriye özel ürünler üreterek her müşterinin beklentilerini karşılama	(Lee ve diğerleri, 2014; Zawadzki ve Żywicki, 2016; Pereira ve diğerleri, 2017)
Tasarım ve Ürün Geliştirme	-Arz-talep durumuna göre hızlı ve etkin çözümler -Ürünün prototipine göre optimizasyonların yapılması -Piyasada yeni bir ürün, pazara sürmeden önce tüm potansiyel risklerin incelenmesi -Prototipin yanı sıra tüm ürünün tasarımı ve imalatı ile pazar ihtiyacının karşılanması	(Long ve diğerleri, 2016; Kamble ve diğerleri, 2018)
Prototipleme	-Farklı CAD yazılımları / 3B tarayıcı yardımıyla hazırlanan ve eklemeli imalat teknolojileri kullanılarak basılabilen prototip ürünler -Ürünleri pazara hızlı bir şekilde sürme becerisi -Seri üretime başlamadan önce kavramın veya sürecin kolayca test edilmesi	(Lifton ve diğerleri, 2014; Wilkesmann ve Wilkesmann, 2018)
Sanal Envanter	-Ürün envanterinin dijital olarak 3B model halinde dijital CAD biçiminde saklanabilmesi -Sanal envanter ile tedarik zinciri maliyetlerinin optimize edilebilmesi -Akıllı tedarik zinciri sisteminin oluşturulabilmesi	(Yoo ve diğerleri, 2016; Schumacher ve diğerleri, 2016)
Sürdürülebilirlik	-Girdi malzemelerinin geri dönüşümü nedeniyle minimum düzeyde malzeme israfı -Toz halinde işlenen malzemenin kolayca geri dönüştürülebilmesi -Daha az hammadde israfı nedeniyle, ürünün nihai maliyetinin azalması	(Sanders ve diğerleri, 2016; Lin ve diğerleri, 2018)
Hız	-İstenilen mukavemete göre özelleştirilmiş ürünlerin daha kısa sürede üretilmesi -Araştırma ve geliştirme sürecini hızlandırmak için kavramsal bir modelin kolayca üretimi	(Chong ve diğerleri, 2018)
Esneklik	-Ürünün tasarımı ve üretiminde esneklik sağlanması -Tasarım ve imalat entegrasyonunda süreçte esneklik payının bırakılabilmesi -Bazı eklemeli imalat teknolojilerinde malzemenin esnekliği ile üretim sisteminin genel performansının artması	(Wang, 2018)
Doğruluk / Geçerlilik	-Metal, organik ve biyo-uyumlu malzemelerin yüzey kalitesi ile geçerliliğin sağlanması -Girdi-sonuç ürün arasındaki ölçü tutarlılığının ölçülebilmesi -Tabaka kalınlığını azaltarak ürünün doğruluğu artırılabilir.	(Takva ve diğerleri, 2024)
Üretkenlik	-3BB teknolojisinin sınırları ile birlikte potansiyelleri çerçevesinde verimliliğin geliştirilebilmesi -Uygun yazılım ve donanımlar ile girdiyi gerekli çıktıya dönüştürerek üretkenliğin artırılması -Daha az malzeme, enerji ve iş gücü tüketimi ile verimliliğin sağlanması -Verimliliği artırmak için 3B yazıcıda farklı yazdırma başlıklarının kullanılabilmesi -Tasarım ve imalat sırasında daha az hata olasılığı -Karmaşık son ürünler üretebilme yeteneği	(Stock ve Seliger, 2016; Strange ve Zucchella, 2017)
Karlılık	-Üreticilere katma değerli faaliyetlerin sağlanması -Kuruluşların, tesislerin daha iyi kullanımı ile en iyi kâr marjının elde edilmesi -Ürün, araç ve cihazların maksimum performansı ile karlılığın artırılması -Üreticilerin seri üretime geçişte bilgi işlem gücünün optimizasyonu ile kar oranının yükselmesi	(Prinz ve diğerleri, 2016; Haleem ve Javaid, 2018)

Endüstri 4.0'ın omurgası temel teknolojilerin bütününe dayanmaktadır. Eklemeli imalat da bu omurganın bir parçasıdır. 3BB teknolojisinin hedeflerinden biri de özel bilgi sistemi, akıllı tedarik zinciri ve otomatik yaşam döngüsü yönetimi üstlenen bir üretim sistemi

3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CITIES AND URBAN LANDSCAPES

December 13-14, 2024 / Kyrenia, TRNC

oluşturmaktır (Chiu and Lin, 2016). 3BB teknolojisi, yeni üretim teknolojilerinin uygulanmasıyla, üretim verimliliğini ve performansını artırmak için oluşturulmuş bir üretim paradigmasıdır. Yenilikçi ürünler ve hizmetler sunarak endüstri pazarına esneklik sunmakta, çevikliği ve inşa hızını da artırmaktadır. Eklemeli üretim, hızlı prototiplemeden hızlı üretime doğru atılmış büyük bir adımdır. Diğer geleneksel üretim süreçleri tarafından mümkün olmayan karmaşık şekil parçalarını hızlı bir şekilde piyasaya sürmenin anahtarıdır. Endüstri 4.0'da yenilik yaratmak için, daha karmaşık tasarımların üretim özgürlüğünü ve dijital fabrikasyonunu desteklemektedir (Dilberoglu ve diğerleri, 2017). İnşaat sektöründe 3BB teknolojisinin güçlü ve zayıf yönleri, fırsatları ve tehditleri Tablo 7'de gösterilmiştir.

Sonuç ve Öneriler

Bilgi teknolojisinin ilerlemesi, yaklaşmakta olan sanayi çağına geçişi hızlandırmıştır. Sanayi devrimlerinden Endüstri 4.0'a geçilen süreçte, birbirleriyle iletişim kuran akıllı sistemlerin üretimi devralması, yapı çevrenin sensörler ile donatılması ve veri analizi yoluyla ihtiyaçların karşılanması; kalitenin artırılmasını, daha ucuz ve hızlı üretimin sağlanmasını ve daha az atık oluşmasını mümkün kılmıştır. Endüstri 4.0'ın alt teknolojilerinden olan 3BB tekniği ile dijital-fiziksel iş birliği oluşturularak, yüksek kaliteli ve verimli akıllı prototipler ve özelleştirilmiş ürünler üretilebilmektedir. 3BB teknolojisinin birçok faaliyet alanı olduğu düşünüldüğünde, potansiyel gelişme sahası oldukça geniş bir boyuttadır. Çalışmada, 3BB teknolojisinin geçmişten günümüze tarihsel gelişimi ve kullanım alanlarına odaklanarak sürdürülebilirlik perspektifinde avantajları ve dezavantajları sorgulanmıştır. Bu noktada, teknolojinin endüstriyel sektörlerdeki etkinliği araştırılarak sınıflandırmalar yapılmıştır.

Tablo 7. SWOT Analizi

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler/ Sorunlar
-Ürün geliştirmenin hızlanması -Tasarımdan imalata dönüşüm süresinin azalması -Karmaşık parçaların kolay imal edilmesi -Ürün tasarımlarına olan talebin artması -Eğitim kurumlarının öğrenme ve anlamayı hızlandırmak üzere 3B yazıcılar kullanması -Yaratma/imalat gücünün demokratikleşmesi -Geleneksel seri imalatın maliyetleri ve asgari üretim miktarlarını azaltmanın yollarını bularak tehdide yanıt vermesi -Bir dizi nesneyi basmak için kullanılabilir açık kaynak planlarının artması -Ulaşım ihtiyaçlarının azalmasıyla çevresel yararlar sağlanabilmesi	-Malzemeye göre atık miktarının ve çevre üzerindeki yüklerin artabilmesi -Tabaka sürecinde izotropik olmayan, yani sağlamlıkları bütün yönlerde aynı olmayan parçaların üretiminde işlevselliğin kısıtlanması -Üretimde insan gücünün azalmasıyla güvenilirlik durumu -Üretkenlikte değer kaynağı olarak fikri mülkiyetin öne çıkması (bireysellik) -Korsanlık -Marka ve ürün kalitesinin düzeyi -Yüksek bakım maliyeti -Yüksek yatırım maliyeti -Sınırlı ürün büyüklükleri, ölçekli üretime tam olarak olanak vermemesi
Fırsatlar	Tehditler
-Sektörde yeni girişim faaliyetlerinin ortaya çıkması -Baskı malzemeleri tedarik eden yeni bir sektörün doğması -Hızlı üretimle birlikte iş imkânlarının artması -Yerel faaliyetlere katkıda bulunması	-Herhangi bir inovasyonun anında kopyalanma potansiyeli -Kötüye kullanılma olasılığı olan ürünlerin 3BB teknolojisiyle üretilme fırsatının ortaya çıkması -Makineleşmenin artmasına bağlı olarak güvenilirliğin sorgulanması

3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CITIES AND URBAN LANDSCAPES

December 13-14, 2024 / Kyrenia, TRNC

Literatür incelemesi sonucunda Endüstri 4.0'ın uygulanmasında kullanılan farklı katmanlı üretim bileşenlerinin olduğu görülmüştür. Endüstri 4.0'da eklemeli imalat teknolojisinin önemli uygulamaları da literatür taraması süreci ile tespit edilmiştir. Eklemeli imalat teknolojisi, Endüstri 4.0'ın özelleştirme, verimlilik, hızlı teslimat, atık azaltma gibi farklı gereksinimlerini karşılamaktadır. Bu teknoloji, tıp, mimarlık, mühendislik, havacılık, otomotiv, gıda endüstrisi vb. alanlarda hali hazırda kullanılmaktadır. Eklemeli imalat teknolojisi, özelleştirilmiş parçaları üretmek için yazılımlar ve ekipmanlar dahilinde bir kapasiteye sahiptir ve plastik, seramik, toz, metaller gibi farklı giriş malzemelerine sahip farklı teknoloji içeriği bulunmaktadır. Esnek ve uygun maliyetli olması ile seri üretim için uygun koşulları barındırmaktadır.

3BB teknolojisi, inşaat sektörü için bir dönüşüm teknolojisi olarak gelişerek mimarların ve mühendislerin daha karmaşık geometriler tasarımlarına izin vermektedir. İlk olarak, araştırmacılar mevcut sistemleri beton veya polimerik yapı elemanlarını basmak için uyarlamışlardır. Çoğu durumda, bu elemanlar saha dışında üretilmiş ve şantiyede monte edilmişlerdir. Gelişen araçlar ile daha çok yerinde uygulamalara odaklanan orta ve büyük ölçekli sistemler oluşturulmuştur. İnşaat sektöründe 3B yazıcıların kullanılabilmesinin en büyük avantajı hızlı üretimdir. Özellikle konut sıkıntısı çekilen ülkelerde afet sonrasında barınma ihtiyacı için, geleneksel yöntemlerle üretilmeyecek geometriye sahip binaların üretiminde ve hatta dünya dışında yaşam formu oluşturabilmek için 3B yazıcılar geliştirilmektedir. 3BB teknolojisinin, farklı alanlarda kullanımı ve sonuç ürünlerin gün geçtikçe artan uygulamaları ile ileri düzeyde aplikasyon olasılığı mümkündür. 3B yazıcılarla basılabilecek ürünler hayal gücünün dijital fabrikasyonu ile sınırlıdır. Sonuç olarak, 3BB teknolojisinin tüm sektörlerde tasarım ve üretime odaklı yaklaşımı, mimarlık disiplini de zenginliğe ve çeşitliliğe yol açarak yeni keşiflere ve uygulamalara zemin hazırlamaktadır. Yakın gelecekte dünyanın birçok ülkesinde 3BB teknolojisinin büyük ölçekli ürünler sentezleyeceği öngörülmektedir.

Kaynakça

- Akipek, F. Ö., & İnceoğlu, N. (2007). Bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojilerinin mimarlıktaki kullanımları. *MEGARON/Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi E-Dergisi*, 2(4), 237-253.
- Al-Qutaifi, S., Nazari, A., & Bagheri, A. (2018). Mechanical properties of layered geopolymer structures applicable in concrete 3D-printing. *Construction and Building Materials*, 176, 690-699.
- Almada-Lobo, F. (2015). The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of innovation management*, 3(4), 16-21.
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business horizons*, 60(5), 677-688.
- Bulut, F.E. (2019). 3B Yazıcı Teknolojilerinin Mimarlık Alanındaki Potansiyelleri ve Geleceği Üzerine Bir Değerlendirme: Sosyal Ekonomik ve Çevresel bir Perspektif. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Chiu, M. C., & Lin, Y. H. (2016). Simulation based method considering design for additive manufacturing and supply chain: An empirical study of lamp industry. *Industrial Management & Data Systems*, 116(2), 322-348.
- Chong, S., Pan, G. T., Chin, J., Show, P. L., Yang, T. C. K., & Huang, C. M. (2018). Integration of 3D printing and Industry 4.0 into engineering teaching. *Sustainability*, 10(11), 3960.
- Craveiro, F., Duarte, J. P., Bartolo, H., & Bartolo, P. J. (2019). Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0. *Automation in construction*, 103, 251-267.
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of production economics*, 204, 383-394.
- Dankar, I., Pujolà, M., El Omar, F., Sepulcre, F., & Haddarah, A. (2018). Impact of mechanical and microstructural properties of potato puree-food additive complexes on extrusion-based 3D printing. *Food and bioprocess technology*, 11, 2021-2031.
- De Soto, B. G., Agustí-Juan, I., Hunhevicz, J., Joss, S., Graser, K., Habert, G., & Adey, B. T. (2018). Productivity of digital fabrication in construction: Cost and time analysis of a robotically built wall. *Automation in construction*, 92, 297-311.
- Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U., & Dolen, M. (2017). The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0. *Procedia manufacturing*, 11, 545-554.

**3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CITIES AND
URBAN LANDSCAPES**

December 13-14, 2024 / Kyrenia, TRNC

- Gebel, Ş., Top, S., Takva, Ç., Gökgöz, B., İlerisoy, Z., & Şahmaran, M. (2024). Exploring the role of 3D concrete printing in AEC: Construction, design, and performance. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation (Online)*, 7(3), 229-246.
- Genç, E., & Tunalı, İ. (2022). Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0 Kapsamında Akıllı Depo Sistemleri. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 9(4), 194-215.
- Gunasekaran, A., Subramanian, N., & Ngai, W. T. E. (2019). Quality management in the 21st century enterprises: Research pathway towards Industry 4.0. *International journal of production economics*, 207, 125-129.
- Haleem, A., & Javaid, M. (2018). Role of CT and MRI in the design and development of orthopaedic model using additive manufacturing. *Journal of clinical Orthopaedics and Trauma*, 9(3), 213-217.
- Holzmann, P., Breitenecker, R. J., Soomro, A. A., & Schwarz, E. J. (2017). User entrepreneur business models in 3D printing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(1), 75-94.
- Hsu, T. J., & Lai, W. H. (2010). Manufacturing parts optimization in the three-dimensional printing process by the Taguchi method. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 33(1), 121-130.
- Hull, C. W. (2015). The birth of 3D printing. *Research-Technology Management*, 58(6), 25-30.
- Joshi, S. C., & Sheikh, A. A. (2015). 3D printing in aerospace and its long-term sustainability. *Virtual and physical prototyping*, 10(4), 175-185.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2018). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, 101, 107-119.
- Khajavi, S. H., Partanen, J., & Holmström, J. (2014). Additive manufacturing in the spare parts supply chain. *Computers in industry*, 65(1), 50-63.
- Khan, M. S., Sanchez, F., & Zhou, H. (2020). 3-D printing of concrete: Beyond horizons. *Cement and Concrete Research*, 133, 106070.
- Kolarevic, B. (2003). Information master builders. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*, 59.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & information systems engineering*, 6, 239-242.
- Lee, J., Kao, H. A., & Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. *Procedia cirp*, 16, 3-8.

**3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CITIES AND
URBAN LANDSCAPES**

December 13-14, 2024 / Kyrenia, TRNC

- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing letters*, 3, 18-23.
- Lee, J., Kim, H. C., Choi, J. W., & Lee, I. H. (2017). A review on 3D printed smart devices for 4D printing. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 4, 373-383.
- Lifton, V., Lifton, G., & Simon, S. (2014). Options for additive rapid prototyping methods (3D printing) in MEMS technology. *Rapid Prototyping Journal*, 20(5), 403-412.
- Lin, D., Lee, C. K., Lau, H., & Yang, Y. (2018). Strategic response to Industry 4.0: an empirical investigation on the Chinese automotive industry. *Industrial Management & Data Systems*, 118(3), 589-605.
- Long, F., Zeiler, P., & Bertsche, B. (2016). Modelling the production systems in industry 4.0 and their availability with high-level Petri nets. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 145-150.
- Maghnani, R. (2015). An exploratory study: the impact of additive manufacturing on the automobile industry. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(5), 1-4.
- Mitchell, W. J. (2005). Constructing an authentic architecture of the digital era. In *Disappearing Architecture: From Real to Virtual to Quantum* (pp. 80-89). De Gruyter.
- Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., & Lazarova-Molnar, S. (2019). Industry 4.0: Opportunities for enhancing energy efficiency in smart factories. In *2019 IEEE International Systems Conference (SysCon)* (pp. 1-7). IEEE.
- Montes, J. O. (2016). Impacts of 3D printing on the development of new business models. In *2016 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS)* (pp. 1-9). IEEE.
- Montjoy, V. (2023). 3B yazıcıların dönüşümü, <https://www.archdaily.com/1005043/infographic-the-evolution-of-3d-printing-in-architecture-since-1939>, Son Erişim Tarihi: 10.12.2024.
- Mosterman, P. J., & Zander, J. (2016). Industry 4.0 as a cyber-physical system study. *Software & Systems Modeling*, 15, 17-29.
- Oluwole, R. (2017). 3D printing technology–applications, benefits and areas of opportunity in Nigeria. *International Journal of Advanced Academic Research*, 3(3), 21-30.
- Özsoy, K., & Duman, B. (2017). Eklemeli İmalat (3 Boyutlu Baskı) Teknolojilerinin Eğitimde Kullanılabilirliği. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 1(1), 36-48.

**3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CITIES AND
URBAN LANDSCAPES**

December 13-14, 2024 / Kyrenia, TRNC

- Park, S., & Jun, S. (2017). Statistical technology analysis for competitive sustainability of three dimensional printing. *Sustainability*, 9(7), 1142.
- Peng, Q., Tang, Z., Liu, O., & Peng, Z. (2015). Rapid prototyping-assisted maxillofacial reconstruction. *Annals of medicine*, 47(3), 186-208.
- Pereira, T., Barreto, L., & Amaral, A. (2017). Network and information security challenges within Industry 4.0 paradigm. *Procedia manufacturing*, 13, 1253-1260.
- Pîrjan, A., & Petroşanu, D. M. (2013). The impact of 3D printing technology on the society and economy. *J. Inf. Syst. Oper. Manag*, 7(2), 360-370.
- Pfohl, H. C., Yahsi, B., & Kurnaz, T. (2017). Concept and diffusion-factors of industry 4.0 in the supply chain. In *Dynamics in Logistics: Proceedings of the 5th International Conference LDIC, 2016 Bremen, Germany* (pp. 381-390). Springer International Publishing.
- Prashar, G., Vasudev, H., & Bhuddhi, D. (2023). Additive manufacturing: expanding 3D printing horizon in industry 4.0. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 17(5), 2221-2235.
- Prinz, C., Morlock, F., Freith, S., Kreggenfeld, N., Kreimeier, D., & Kuhlenkötter, B. (2016). Learning factory modules for smart factories in industrie 4.0. *Procedia Cirp*, 54, 113-118.
- Radu, C. M. (2014). How Will 3d Printing Affect Architecture As We Know It Today. VIA University College.
- Ramya, A., & Vanapalli, S. L. (2016). 3D printing technologies in various applications. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 7(3), 396-409.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston consulting group*, 9(1), 54-89.
- Sahib, M., & Tirkeş, G. (2022). Suggestion of a Dlp Based Stereolithography 3D Printer. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 6(2), 238-243.
- 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.
- Salmi, M. (2021). Additive manufacturing processes in medical applications. *Materials*, 14(1), 191.

**3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CITIES AND
URBAN LANDSCAPES**

December 13-14, 2024 / Kyrenia, TRNC

- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of industrial engineering and management*, 9(3), 811-833.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia cirp*, 52, 161-166.
- Seelow, A. M. (2017). Models as a Medium in Architecture.
- Segerman, H. (2012). 3D printing for mathematical visualisation. *The Mathematical Intelligencer*, 34(4), 56-62.
- Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. J. P. M. (2019). An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. *Procedia manufacturing*, 35, 1286-1296.
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia cirp*, 40, 536-541.
- Strange, R., & Zucchella, A. (2017). Industry 4.0, global value chains and international business. *Multinational Business Review*, 25(3), 174-184.
- Stratasys Direct Manufacturing. (2016). Eklemeli imalatta birlikte çalışabilirlik, <https://www.stratasys.com/en/stratasysdirect/>, Son Erişim Tarihi: 10.12.2024.
- Şahin, K., & Turan, B. O. (2018). Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Analizi. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 97-116.
- Takva, Ç., Top, S. M., Gökgöz, B. İ., Gebel, Ş., İlerisoy, Z. Y., İlcan, H., & Şahmaran, M. (2024). Applicability of 3D concrete printing technology in building construction with different architectural design decisions in housing. *Journal of Building Engineering*, 111257.
- Vanderploeg, A., Lee, S. E., & Mamp, M. (2017). The application of 3D printing technology in the fashion industry. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 10(2), 170-179.
- Voulgarelis, H., & Morkel, J. (2010). The importance of physically built working models in design teaching of undergraduate architectural students. In *2nd International Conference on Design Education, University of New South Wales, Sydney, Australia*.
- Wang, B. (2018). The future of manufacturing: A new perspective. *Engineering*, 4(5), 722-728.
- Wang, K. C., Jones, A., Kambhampati, S., Gilotra, M. N., Liacouras, P. C., Stuelke, S., ... & Siegel, E. L. (2019). CT-based 3D printing of the glenoid prior to shoulder arthroplasty: bony morphology and model evaluation. *Journal of Digital Imaging*, 32, 816-826.

**3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE CITIES AND
URBAN LANDSCAPES**

December 13-14, 2024 / Kyrenia, TRNC

- Wang, Y., Zhong, R. Y., & Xu, X. (2018). A decision support system for additive manufacturing process selection using a hybrid multiple criteria decision-making method. *Rapid Prototyping Journal*, 24(9), 1544-1553.
- Wilkesmann, M., & Wilkesmann, U. (2018). Industry 4.0—organizing routines or innovations?. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, 48(2), 238-254.
- Wittbrodt, B. T., Glover, A. G., Laureto, J., Anzalone, G. C., Oppliger, D., Irwin, J. L., & Pearce, J. M. (2013). Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers. *Mechatronics*, 23(6), 713-726.
- Yoo, B., Ko, H., & Chun, S. (2016). Prosumption perspectives on additive manufacturing: Reconfiguration of consumer products with 3D printing. *Rapid Prototyping Journal*, 22(4), 691-705.
- Zawadzki, P., & Żywicki, K. (2016). Smart product design and production control for effective mass customization in the Industry 4.0 concept. *Management and production engineering review*, 7(3), 105-112.
- Zhang, J. P., & Hu, Z. Z. (2011). BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies. *Automation in construction*, 20(2), 155-166.