

# SÜRDÜRÜLEBİLİR KENT MOBİLYASI ÜRETİMİNDE ROBOTİK 3D BASKI: ŞEHRİNİ YAZDIR PROJESİ ÖRNEĞİ

ROBOTIC 3D PRINTING IN SUSTAINABLE URBAN FURNITURE PRODUCTION: PRINT YOUR CITY PROJECT EXAMPLE

Hakan İMERT\*

## ÖZET

Günümüz dünyasında endüstriyel robotlar sayesinde bilgisayar destekli tasarım ve sürdürülebilir üretimde mevcut uygulamalar ile ulaşılan sınırları genişletme potansiyeli ortaya çıkmıştır. Özellikle, gelişen teknoloji ile robotik üretim modellerinin hepsi bu doğrultuda kullanılacak nitelikte araçlara dönüşmüştür. Robotik 3D baskı ve eklemeli üretim bahsi edilen süreçlerin anahtarı haline gelmiştir. Bu sayede, bilgisayar destekli tasarım ve robotik üretimin birleşik yöntemleri mobilya ölçeğinde de faydalı çıktılar ortaya koymaktadır. Ancak, söz konusu çıktıların sürdürülebilir üretime olan katkılarının değerlendirilmesi sürecin iyileştirilmesi için önem taşımaktadır. Bu makale, robotik 3D baskı yöntemi ile üretilmiş kent mobilyası çıktısının ekolojik ve sürdürülebilir ayak izi süreci temelinde çevre korunumuna katkılarını araştırmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, araştırma materyali olarak Şehrini Yazdır projesi seçilmiştir. Bu projenin seçilmesinin en önemli sebebi, sürdürülebilir kent mobilyası üretiminin plastik atıklar kullanılarak çevrimiçi kullanıcı deneyimi ile üretime geçirilmesi yönüyle örnek teşkil etmesidir. Çalışma içerisinde Şehrini Yazdır projesinin çevrenin korunması ile ekolojik ve sürdürülebilir ayak izi sürecinin alt parametrelerine uygunluğu açısından katkıları ve kısıtları analiz edilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** 3D baskı, Robotik, Eklemeli üretim, Sürdürülebilirlik, Kent mobilyası

## ABSTRACT

The potential to expand the boundaries reached by the existing applications in computer-aided design and sustainable production with industrial robots has emerged in today's world. Especially, all of the robotic manufacturing models have turned into tools that can be used with the development of technology. Robotic 3D printing and additive manufacturing have become the key to the processes mentioned above. In this direction, the combined computer-aided design and robotic manufacturing methods reveal useful outputs in furniture design. However, the evaluation of the contribution of these outputs to sustainable production is important for the improvement of the process. This article aims to investigate the ecological and sustainable footprint process of an urban furniture sample produced by a robotic 3D printing method and its contribution to environmental protection. In this direction, The Print Your City project is chosen as the research material. The most important reason for choosing this project is that it sets an example for producing sustainable urban furniture with an online user experience using plastic waste. In the study, the contributions and constraints of the Print Your City project in terms of environmental protection and compliance with the sub-parameters of the ecological and sustainable footprint process are analyzed.

**Keywords:** 3D printing, Robotic, Additive manufacturing, Sustainability, Urban furniture

Geliş Tarihi/Received: 21 Kasım 2022  
Kabul Tarihi/Accepted: 2 Şubat 2023

Araştırma Makalesi/Research Article

\*  
İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü  
İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi,  
İstanbul / Türkiye

Department of Interior Architecture And  
Environmental Design  
İstanbul Sabahattin Zaim University,  
İstanbul / Türkiye

ORCID: 0000-0001-9216-8596

hakan.imert@izu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Sürdürülebilirlik için tasarım, sürdürülebilir kalkınma tanımlarının ilk ortaya çıktığı 1980'li yılların sonundan itibaren üzerine önemle çalışılan bir araştırma konusudur (Bhamra ve Hernandez, 2021; Ceschin ve Gaziulusoy, 2016). 18. Yüzyılda ortaya çıkan ilk endüstrileşme hamlelerinden sonra meydana gelen yenilikler (Rao, 2011), 2000 ile 2010 yılları arasındaki geçiş periyodunda bilgisayarlarla oluşturulan ürün tasarımları ve üç boyutlu baskı vb. gelişmeler ile dördüncü sanayi devriminin gerçekleşmesine vesile olmuş (Xu, David ve Kim, 2018), sürdürülebilir tasarım açısından üretim metotları da bu doğrultuda çeşitlenmeye başlamıştır (Ogbemhe, Mpofo ve Tlale, 2017).

Bu süreçte, günümüz dünyasında küresel ısınmanın meydana getirdiği sorunlara ek olarak, 2019 yılı sonlarında Covid-19 salgınının dünyayı hızla etkisi altına alması dijital dönüşüme zorunlu bir ivme kazandırırken, robotların kullanımını hastaneler, havalimanları, ulaşım,

turizm vb. birçok alanda karşımıza çıkarmaktadır (Agustí-Juan, Müller, Hack, Wangler ve Habert, 2017; Wang ve Wang, 2021). Aynı zamanda, mekân üretiminde ortaya çıkan mevcut ihtiyaçlar verimliliği arttırmak, maliyetleri düşürmek ve performansı yüksek üretimler gerçekleştirmek adına otomasyona dayalı robotik üretimi önemli kılmaktadır (Ogbemhe ve diğerleri, 2017). Küresel Endüstriyel Robot Market 2021 raporuna göre; 2025 yılına kadar endüstriyel robot pazarının 75,84 milyar \$'a yükseleceği, bileşik yıllık büyüme oranının (CAGR) ise %9'luk bir artış göstereceği öngörülmektedir (The Business Research Company, 2021).

Robotlar, kinematik ve öngörülemeyen "insansı" hareketleriyle mimarları, sanatçıları ve tasarımcıları her zaman büyülemiştir. Endüstriyel robotlar ise nispeten düşük maliyetleri, geniş çalışma alanları ve işlevsellikte sunduğu imkanların boyutu sebebiyle tasarım ve üretim için ideal araçlar olarak kabul görmektedir. Özellikle son dönemlerde robotların mimari tasarım ve üretim içerisinde varlığını arttırmasının ana nedeninin kontrol (eylem) ve hareket (tepki) arasında algılanan belirsiz ancak esnek çalışmaya imkan sağlayan süreçler olduğu düşünülmektedir (Braumann ve Brell-Cokcan, 2012). Bu süreçte mimar ve iç mimarlar, endüstriyel robotların tuğla istifleme, kaynaklama veya frezeleme için kinematik makinelerden çok daha fazlası olduğunu keşfetmektedir (Braumann ve Brell-Cokcan, 2011).

Günümüzde açık kaynaklı program ekosisteminin geliştirilmesi ve KUKA, FANUC, YASKAWA, ABB vb. (Sektör Değerlendirme Raporu, 2015) programlanabilir robotik makinelerin sayıca artması ile tasarımcıların yer aldığı giderek artan sayıda dijital fabrikasyon projesi yürütülmektedir (Zhang, Meina, Lin, Zhang ve Xu, 2021). Bu çalışmada, özellikle plastik atıklardan elde edilen malzemelerle sürdürülebilir kent mobilyası oluşturulması bağlamında robotların günümüz dünyasında sahip olduğu roller araştırılmıştır. Tasarım ve önemlilik olasılıkları üzerine odaklanan bu çalışmanın dışında kalan robotiğin teknik hususları başka bir araştırmanın konusu olacaktır. Bu amaçla, araştırma içerisinde The New Raw Sıfır Atık Laboratuvarı'nın Şehrini Yazdır projesi örneğinde üç boyutlu yazıcılar ile entegre çalışan robotların atık malzeme kullanılarak sürdürülebilir kent mobilyalarının üretimindeki katkıları analiz edilmiştir.

## 2. ROBOTİK TEKNOLOJİSİ: 3D BASKI İLE EKLEMELİ ÜRETİM SÜRECİ

Robotlar, TS ISO 8373 standardında da yer aldığı şekliyle sabit ya da hareketli olabilen, programlanabilir eksene sahip, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir çok amaçlı manipülatörler olarak tanımlanmıştır (TSE, 2021). Robotik teknolojileri; başta makine, elektronik ve bilgisayar mühendisliği olmak üzere çok sayıda bilim dalının bir bileşimi olan disiplinler arası bir alandır. Buradan hareketle, robotik teknolojilere olan yaklaşımların daha geniş bir perspektifte ele alınması gerekmektedir (Sektör Değerlendirme Raporu, 2015). Kuşkusuz bu geniş yelpaze günümüzde mimarlık, iç mekân üretimi ve mobilya gibi konuları da kapsamaktadır. Bu kapsam içerisinde ortaya koyulan çıktılar ise bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) süreçlerinin bir ürünü olmaktadır (Shukla ve Deshmukh, 2016).

CAD ortamında tasarlanan modeller genellikle STEP, IGES ya da DXF formatında CAM yazılımına aktarılmaktadır. Bahsi edilen modeller üretim kısıtlamalarını otomatik olarak içermemektedir. İçerilen modeller önce tutarsızlıklar, örtüşen yüzey ekleri veya yüzey süreksizlikleri açısından kontrol edilmektedir. Son aşamada ise tasarım, kinematik endüstriyel robot ile üretim sürecinin tamamlanması için takım yolları hesaplanarak robot kodlarına dönüştürülmesi işlemine sokulmaktadır. Bu sayede, son işlemci içerisinde uygulanması istenen yöntemin simülasyonu yapıldıktan sonra bir robot dili dosyası yazılabilmektedir (Brell-cokcan ve Braumann, 2010).

Diğer dijital üretim makinelerine kıyasla, mimari ve iç mimari tasarımda robotik üretimin kullanımı bazı temel avantajlar ve potansiyeller sunmaktadır. Robotların en önemli avantajlarından biri, çok çeşitli görevler için en uygun olan özel uç efektörleriyle çalışma imkanlarını mümkün kılmasıdır. Bu efektörler tek bir görev için optimize edilmemişlerdir ancak geniş bir uygulama yelpazesi içinde kullanılabilirler. Günümüzde önceden tanımlanmış özel bir makinenin parametre sınırları içinde çalışmak yerine robotların ihtiyaçlarımız doğrultusundaki becerilerini tasarlamak imkanlarına sahip olmaktadır (Gramazio ve Kohler, 2008; Weissenböck, 2015). Robotlar ayrıca boyut ve ölçek açısından

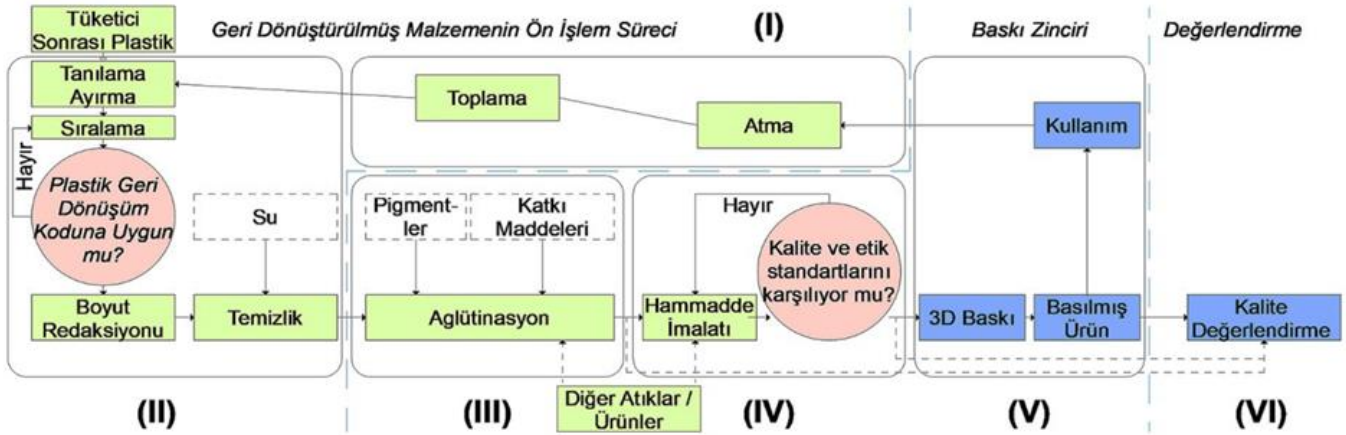
da çok esnekler. Bir robotun uzamsal esnekliğinin aksine, üç boyutlu yazıcılar veya frezeleme gibi diğer imalat makinelerinin daha önceden tanımlanmış maksimum iş hacimleri bulunmaktadır. Robotik üretimde daha geniş çalışma alanı ve hareket kabiliyeti nedeniyle robotlar çalışma nesnesi üzerinde çok daha geniş faydalar sağlayabilmektedir (McGee ve Ponce de Leon, 2014; Weissenböck, 2015). Bununla birlikte, robotik montaj süreçleri daha karmaşık kısıtlamaları içermektedir. Yol planlama bilgisini tasarım sürecine entegre etmek için yapılan çalışmalar hesaplama açısından pahalı algoritmalara ve çok sayıda yinelemeye dayanmaktadır. Bu hususun çözümü doğrultusunda bir strateji olarak robotun sezgisel olmayan hareket alanı üzerinde kontrol kazanmak için tasarımlardaki geometrinin basitleştirilmesi bir çözüm olabilmektedir (Parascho ve diğerleri, 2020). Örneğin; bölücü duvar oluşturmak için tuğlaların yerleştirilmesi şeklinde gerçekleştirilecek bir montaj uygulamasında (Bonwetsch, Kobel, Gramazio ve Kohler, 2006; Parascho ve diğerleri, 2020; Vomhof ve diğerleri, 2014) veya ahşapların birleştirilmesinde (Leder, Weber, Wood, Bucklin ve Menges, 2019; Oesterle, 2009) parçaların erişilebilir olması ve çarpışma olmaması sağlanabilmektedir (Parascho ve diğerleri, 2020).

Eklemeli üretim ise döküm, kalıplama, serigrafi ve 3D baskı gibi ardışık malzeme katmanlarının eklenmesi yoluyla üç boyutlu (3D) nesnelere oluşturulması sürecini tanımlamaktadır (Wallin, Pikul ve Shepherd, 2018). Eklemeli üretim içerisinde 3D baskı, CAD ortamındaki veriler kullanılarak malzemenin katmanlar halinde minimum kayıpla ve hızlıca uygulanması yöntemini içermektedir (Hossain, Zhumabekova, Paul ve Kim, 2020; Yap, Sing ve Yeong, 2020). Bu doğrultuda, gelişen teknoloji ile 3D baskı için son kullanım parçalarının geliştirilmesi önem kazanmış, uygun malzeme seçimi yapılarak optimizasyonu sağlanmış robotların 3D baskı yapmak imkanları ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, birçok eklemeli üretim için kullanılan malzeme yeterince güçlü veya dayanıklı olmadığı için kolayca yazdırılabilir değildir ve yapısal uygulamalarda benimsenme kapsamını sınırlamaktadır (Yap ve diğerleri, 2020).

Eklemeli üretim sürecinde kullanılan malzemeler içerisinde plastik ise kolay kalıplanabilme, ucuz, hafif ve dayanıklı olma özellikleri sebebiyle ön plana çıkmaktadır (Andrady ve Neal, 2009; Hopewell, Dvorak ve Kosior, 2009; Thompson, Swan, Moore ve vom Saal, 2009). Ancak, plastik malzemeler atık kirliliği oluşturmaları nedeniyle ekolojik çevre üzerinde büyük bir tehdit oluşturmaktadır (Hopewell ve diğerleri, 2009). Özellikle denizlerdeki plastik döküntüler 1970'li yıllardan beri çevresel bir sorun olarak kabul edilmektedir (Carpenter, Anderson, Harvey, Miklas ve Peck, 1972; Carpenter ve Smith, 1972). Tarihsel süreç göz önüne alındığında, 1950 ile 2015 yılları arasında yıllık plastik üretimi %9,4'lük bir bileşik büyüme oranı yakaladığı görülmektedir (Geyer, Jambeck ve Law, 2017; Ryberg, Hauschild, Wang, Averous-Monnelly ve Laurent, 2019). 2060 senesine kadar küresel plastik atık geri dönüşüm oranının %40'lara yükselmesi beklenmektedir. Plastik hurda talebini ve geri dönüştürülmüş plastik arzını arttıran politikalar paralelinde ikincil plastiklerin pazar payının ise %12'lerden %29'lara yükseldiği görülmektedir (OECD, 2022). Tüm bu sebeplerden ötürü atık plastik ambalajların geri dönüştürülerek üretime kazandırılması hususu sürdürülebilir ve ekolojik üretim açısından büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda, plastik atıkların çevresel bazda ortaya koyduğu problemlerin çözümü için kapalı bir döngüyü içeren Katmanlı Üretim Yoluyla Dağıtılmış Geri Dönüşüm (DRAM-Distributed Recycling via Additive Manufacturing) sürecine başvurulmaktadır (Dertinger ve diğerleri, 2020). Bu süreç, ambalajdan kırılan oyuncaklara kadar çok çeşitli atık plastiklerin tedarik edilmesi ile başlamaktadır (Mohammed ve diğerleri, 2022). Bu plastikler parçacıklar halinde endüstriyel açık kaynaklı atık plastik taneleyici aracılığıyla öğütülmektedir. Bu işlemden sonra ise iki farklı seçenek uygulanabilmektedir. Bunlardan ilki, bir geri dönüşüm robotu (atık plastik ekstrüzyonu) kullanarak parçacıkları 3D baskı filamentine dönüştürmektir. Bu sayede geri dönüşüm için kullanılan endüstriyel robotlar, bileşenlerinin birçoğunu atık plastikten 3D olarak yazdırabilmektedir. Bahsi edilen filament daha sonra erimiş filament üretimi (FFF) kullanılarak çok çeşitli düşük maliyetli 3D yazıcılarda kullanılabilir (Cruz Sanchez, Boudaoud, Camargo ve Pearce, 2020).

İkinci seçenekte ise, filament yapma adımı atlanarak atık plastiği ürünlere doğrudan 3D olarak yazdırmak için kaynaşmış parçacık imalatı (FGF) kullanılmaktadır. Fransa'daki Lorraine Üniversitesi'ndeki araştırmacılar, geri dönüştürülmüş parçalanmış plastiği oldukça ucuza basabilen açık kaynaklı bir masaüstü tarzı FGF sistemi geliştirmişlerdir (Alexandre,

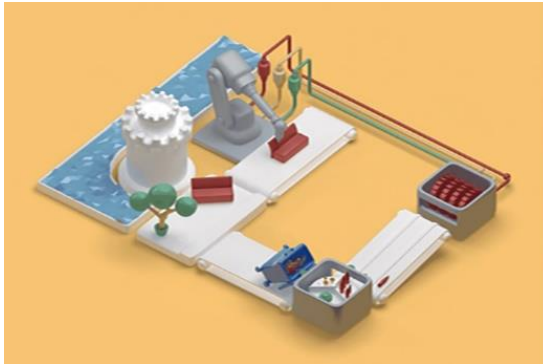
Cruz Sanchez, Boudaoud, Camargo ve Pearce, 2020). Aşağıda eklemeli üretimde DRAM süreci şeması verilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Eklemeli üretimde DRAM Süreci. (I) Kurtarma, (II) Hazırlık, (III) Bileşik, (IV) Hammadde, (V) 3D Baskı, (VI) Kalite (Cruz Sanchez ve diğerlerinden derlenmiştir, 2020)

DRAM süreci altı aşamada gerçekleşmektedir:

- 1.Kurtarma (I): Kurtarma aşamasının odak noktası plastik atıkların toplanmasına yönelik faaliyetler ve lojistiklerdir.
- 2.Hazırlık (II): Hazırlık aşaması geri dönüştürülmüş maddelerin hammadde olarak kullanılabilmesi için gerekli olan tanımlama, sıralama, boyut küçültme ve temizlik ile ilgili süreçleri içermektedir. Bu süreçte geri dönüşüm kodlarına uygunluk aşamaları kontrol edilerek kalite için en ilk gereksinimler sağlanmaktadır.
- 3.Bileşik (III): Bu aşama içerisinde farklı pigment ve katkı maddeleri etkileşiminde tekil ya da kompozit malzemelerin uygun şekilde kümelenmesi sağlanmaktadır. Bu kümelenmeye diğer atıklar dahil edilebilecektir.
- 4.Hammadde (IV): Bu aşamanın temel amacı yeteri miktarda geri dönüştürülmüş malzeme elde etmektir. Bu süreçte kalite ve etik standartları anlık kontrol edilmektedir.
- 5.3D Baskı (V): FFF ya da FGF temelli olarak plastik atıkların geri dönüştürülebilirliğinin kanıtlandığı final sürecini işaretlemektedir.
- 6.Kalite (VI): Atıktan ürüne geçişte üç farklı aşamada kalite süreçleri incelenmektedir. Bunlar sırasıyla; ham malzeme, üç boyutlu baskı için besleme stoku ve basılı parçadır (Cruz Sanchez ve diğerleri, 2020).



Şekil 2. Şehrini Yazdır projesi çıktıları: Dram süreci (sol), hammadde imalatı (orta), robotik 3D baskı (sağ) (The New Raw, 2022)



DRAM süreci, çevresel sorunlar göz önüne alındığında polimer tabanlı, bir robotik 3D yazıcı ile oluşturulmuş üretimin günümüzde yavaş yavaş ana akım haline geldiğini göstermektedir. Bu doğrultuda, FFF temelli 3D yazıcıların da artık oldukça sık kullanıldığına şahit olmaktadır. DRAM süreci ile tüketicilerin plastik ürünlerin üretilmesinde güçlü bir ekonomik teşviki sağlayabileceği düşünülmekte ve döngüsel ekonomiye giden bir yol olması için tüm bu araçlar, küçük yerel işletmeler, fabrikalar ve hatta okullar gibi yerel düzeyde işletmelerde barındırılabilir (Cruz Sanchez ve diğerleri, 2020).

Bu noktada, çalışmanın odaklandığı The New Raw Sıfır Atık Laboratuvarı'nın Şehrini Yazdır projesi aynı zamanda DRAM sürecinin bir çıktısı olarak ele alınmaktadır (Şekil 2). The New

Raw, 2015 yılında mimar Panos Sakkas ile Foteini Setaki tarafından kurulan ve merkezi Rotterdam, Hollanda'da bulunan bir araştırma ve tasarım stüdyosudur. The New Raw, malzeme araştırmasına, dijital tasarıma ve üretime dayalı açık ve ölçeksiz bir yaklaşım kullanarak malzemeyi kapalı bir döngü içerisinde kullanmaya ve yerel üretimi güçlendirmeye çalışmaktadır. The New Raw, kurulduğu ilk günden beri endüstriyel robot kollu 3D baskı sistemlerini kullanarak plastik atıkların geri dönüştürülmesine odaklanmaktadır. Söz konusu girişimin çalışmaları, deniz ve şehir plastik kirliliği araştırmalarından dögüsel ekonomi süreçlerine kadar üretim bazlı olarak şekillenmektedir (The New Raw, 2022). Bu çalışma içerisinde ise, The New Raw Sıfır Atık Laboratuvarı'nın Şehrini Yazdır projesine odaklanılmıştır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı, robotik üretimin sağlayabileceği ekolojik ve sürdürülebilir faydaları kent mobilyası ölçeğinde incelemektir. Çalışmanın materyali olarak Şehrini Yazdır projesinin seçilmesinin sebebi, sürdürülebilir kent mobilyası üretiminin atık plastik malzemeler kullanılarak çevrimiçi kullanıcı deneyimi ile tamamlanması yönüyle örnek teşkil etmesidir. Çalışma materyaline ilişkin tüm veriler açık erişimli ve internet tabanlı olarak The New Raw tarafından hazırlanmış çevrimiçi özelleştirme platformu üzerinden elde edilmiş ve çalışmanın gerekli görülen yerlerinde paylaşılmıştır. Araştırmanın odak noktası, bir çevrimiçi uygulama aracılığıyla kullanıcı deneyimi paralelinde oluşturulmuş kent mobilyası örneğini sürdürülebilir tasarım kriterlerinin alt parametreleri üzerinden analiz etmektir. Alt parametrelerin oluşturulması doğrultusunda ekolojik ve sürdürülebilir ayak izi kombinasyon matrisi kullanılmıştır (Şekil 3). Buna göre, mobilya ölçeğinde gerçekleştirilecek biçimsel ve işlevsel inovasyon ile teknik tasarım optimizasyonu süreçlerine ait alt parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

Çalışmaya ait optimum çıktının elde edilebilmesi için ise, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Basit Toplamlı Ağırlıklandırma (SAW-Simple Additive Weighting) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin tercih edilmesinin en önemli sebebi, literatürde sık kullanılan ve birçok parametresi olan performans ölçümlerinde en objektif sonuçları veren bir yaklaşım olmasından kaynaklanmaktadır (Arsyah, Jalinus, Arsyah ve Pratiwi, 2021). Bu doğrultuda, üretilen mobilya prototipi ile çevrimiçi olarak sürdürülebilirlik ve ekolojik tasarım için en uygun olduğu düşünülen eklentilerle oluşturulmuş kent mobilyasında robotik üretimin katkılarının ve kısıtlarının incelenmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 3. Ekolojik ve sürdürülebilir ayak izi kombinasyon matrisi (İmert, 2021)

### 4. ŞEHRİNİ YAZDIR PROJESİ

Şehrini Yazdır projesi için Yunanistan'ın Selanik şehri pilot bölge olarak seçilmiştir. Bu proje plastik atıkların bölge halkı tarafından mavi çöp kutularında toplanıp, endüstriyel robotlar ile FFF temelli 3D baskı yapılarak şehir için faydalı kent mobilyalarına dönüşmesi süreçlerini içermektedir. Dolayısı ile bölge insanının bu projenin malzemesinin sağlanması ve tasarımlarının oluşturulması noktasında ana unsuru oluşturması hedeflenmiştir. Bu

doğrultuda, 2018 senesinde projenin ilk çevrimiçi oylamaları gerçekleştirilmiştir. 2900 kişiden fazla katılımcı uygulamanın ilk alanını %48'lik oy ile HANTH meydanı olarak belirlemiştir. 11 Ocak 2019'da projenin ilk mobilyaları sahaya indirilmiş (Şekil 4) ve on farklı mobilya seçimi üretilerek 800 kilogram kadar plastik atık kent mobilyası üretimi için dönüştürülmüştür (The New Raw, 2022). Tasarımların belirlenmesi üç aşamadan oluşmaktadır ve bu aşamalar aşağıda verilmiştir.



Şekil 4. Şehrini Yazdır projesi için oluşturulmuş ilk prototipler. Bu tasarımlar sonuçları görmek için farklı eklentilerin üzerinde kurgulandığı ilk örnekleri oluşturmaktadır (The New Raw, 2022)

#### 4.1. Aşama I- Formu Belirlemek

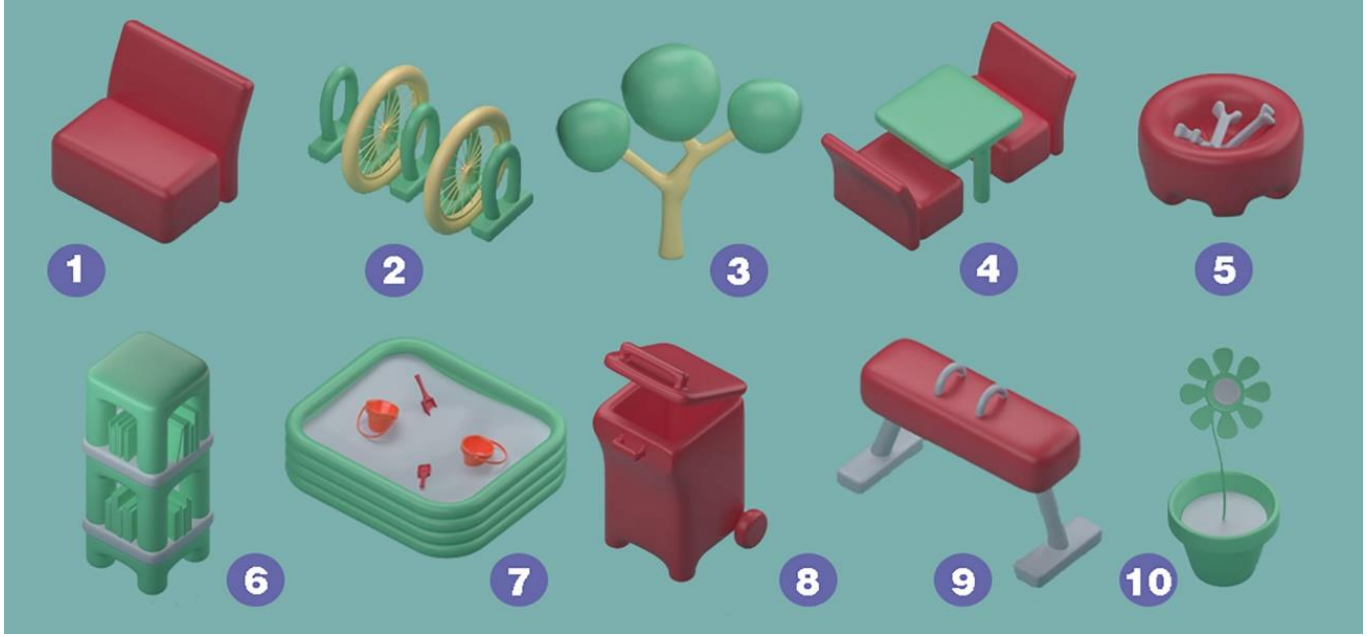
Projenin oluşturulmasında ilk olarak kullanıcılar tarafından bir adet tasarım formu seçilmesi beklenmektedir. Tasarım sürecinin ilk evresi için hazırlanmış bu modeller kullanıcılar tarafından seçilerek proje sürecinin ilk aşaması başlatılmaktadır. Yapılan oylamalarda %37 oranında organik ve %26 oranında eğri formlar kullanıcılar tarafından en fazla tercih edilen öğeler olmuştur (The New Raw, 2022). Aşağıda çevrimiçi uygulama tarafından kullanıcılara önerilen modeller verilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Form önerileri 1) Düz form, 2) Eğri form, 3) Organik form, 4) Üçgen form olarak verilmiştir (The New Raw, 2022)

#### 4.2. Aşama II- Eklentilerin Seçimi

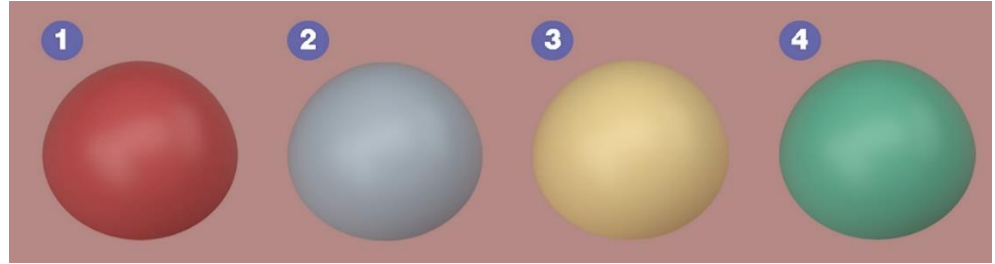
Tasarım formu seçildikten sonra tasarıma eklemlenmesi gereken üç adet unsurun kullanıcılar tarafından seçilmesi beklenmektedir. Seçimlerin yapılması için gerekli on adet bileşenden üç tanesi belirlenmelidir. Böylece kombinasyon hesabına göre; C (10,3): 120 adet farklı opsiyona ulaşılabilme imkanını ortaya koymaktadır. Yapılan oylamalarda %28 oranında bitki alanı için eklenti, %13 bisiklet için park alanı, %13 yemek için masa eklentisi, %12 geniş oturma alanı ve %7 hayvanlar için mama kapları kullanıcılar tarafından en fazla tercih edilen öğeler olmuştur (The New Raw, 2022). Aşağıda uygulama tarafından kullanıcılara önerilen bileşenler verilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Form önerileri 1) Geniş oturma alanı, 2) Bisiklet için park alanı, 3) Ağaç ile gölgelendirme, 4) Yemek masası, 5) Hayvan dostu tasarım, 6) Kütüphane eklentisi, 7) Oyun alanı eklentisi, 8) Çevre dostu atık depolama eklentisi, 9) Spor için eklenti, 10) Bitki eklentisi olarak verilmiştir (The New Raw, 2022)

#### 4.3. Aşama III- Renk Seçimi

Son aşamada kullanıcılardan mobilyaya ait rengin seçilmesi beklenmektedir. Burada çevrimiçi uygulamanın sunduğu renk adedi dört tanedir (The New Raw, 2022). Aşağıda uygulama tarafından kullanıcılara önerilen renkler verilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Renk opsiyonları 1) Koyu kırmızı, 2) Gri, 3) Sarı, 4) Yeşil olarak verilmiştir (The New Raw, 2022)

Projenin çıktılarını ortaya koymak adına HANTH meydanı üzerinde yerel halkın tercihleri doğrultusunda belirlenmiş, en çok oyu alan tasarım modeli referans alınmış (Tablo 1) ve sürdürülebilir tasarım kriterleri üzerinden incelenmiştir. Bu farkların incelenmesi noktasında ise, mobilya ölçeğinde ekolojik ve sürdürülebilir ayak izine ait parametreler göz önüne alınmıştır (Tablo 2).

Model Önerisi	Proje Künyesi	
	Proje için seçilen çalışma alanı	Hanth Meydanı, Selanik, Yunanistan
	Projede dönüştürülen plastik atık miktarı (kg)	96 kg
	Projede seçilen form	3 (Bkz. Şekil 1)
	Projede seçilen eklentiler	2, 3, 4 (Bkz. Şekil 2)
	Projede seçilen renk	4 (Bkz. Şekil 3)

Tablo 1. Yerel halk tarafından en çok oyu alarak seçilmiş kent mobilyası (The New Raw, 2022)

Süreç	Stratejiler	Alt Parametreler	Etkileşim	
			Var	Yok
Biyomimetik ve İşlevsel İnovasyon	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımlarından Faydalanmak	Form ve işlevi taklit etmek	•	Yok
		Biyomimetik tasarım sürecine uyumluluk		•
		Doğada oluşan sistemlere bakış		•
	Geleneksel Tasarım Yaklaşımlarından Faydalanmak	Yerel kültüre göre tasarım yapmak		•
		Yerel malzeme kullanımı	•	
		Tasarımda özel renk seçimi	•	
Teknik Tasarım Optimizasyonu	Sürdürülebilir ve Ekolojik Tasarım Yaklaşımlarından Faydalanmak	Çevre sorunlarına karşı çözüm üretmek	•	
		Enerji etkin tasarım		•
		Yenilenebilir enerji kullanımı		•
		Bölgesel iklime uygunluk	•	
		Doğal yaşamın korunması	•	
		Disiplinler arası ortak çalışma	•	
		Özel konstrüksiyon tasarımı	•	
		Kompakt form tasarımı	•	
		Gölgeleme elemanı kullanımı	•	
		Geri dönüşümlü malzeme kullanımı	•	
		Doğal malzeme kullanımı		•
		Yapay malzeme kullanımı	•	
		Atık dönüşümü	•	
		Yeşil tasarım	•	
		Enerji Etkin Yapı Sistemlerinden Faydalanmak	*Kent mobilyası ile ilişkilendirilememiştir.	

**Tablo 2.** Kent mobilyasının sürdürülebilir ve ekolojik ayak izi alt parametreleriyle etkileşimi

## 5. BULGULAR

**Tablo 2'**deki veriler referans alınarak, **Tablo 3'**te elde edilen ağırlık katsayıları alt parametreler için belirlenen kriter sayıları ile çarpılmış, bu kriterlere karşılık gelen değerler toplanarak toplam değer elde edilmiştir. SAW yöntemi ile her değer birbirinden bağımsız şekilde hesaplanmıştır (Tablo 3). Toplam değer için ortaya çıkan yüzdelik dilim, alt parametrelerin tümünün karşılık geldiği yüzdesel orana göre belirlenmiştir. Buna göre, 20 adet olan alt parametreden 14 tanesinin karşılandığı görülmektedir (Tablo 4). Bu sonuç ise, %70'lik toplam etkileşim oranını karşılamaktadır (Şekil 8).

Ekolojik ve sürdürülebilir ayak izi metodu paralelinde kent mobilyası modeli üzerinde ilk değerlendirme ölçütü olarak doğadan esinlenerek tasarım ortaya koyma noktasında bir inceleme yapılmıştır. Tasarım modeli bu açıdan değerlendirildiğinde, doğadan bazı benzeşecek formlar olabilmesi mümkün olmakla birlikte biyomimetik tasarım sürecine uyumluluk ve doğada olan sistemlerden faydalanmak noktasında düşük oranda bir etkileşimin olduğu açıkça görülmektedir. Kent mobilyası örneği bu aşamada üç kriterden bir tanesini karşılayarak (Tablo 4) %33'lük yüzdesel etkinlik sağlamaktadır (Şekil 8).

İkinci aşamadaki değerlendirme ölçütü içerisinde geleneksel mimarlık özelinde var olan ve uzun yıllar boyunca deneyimlenmiş uygulamaların kent mobilyası üzerindeki yansımaları incelenmektedir. Bu noktada bulunan yerel coğrafya temel alındığında, çevre ile mobilyanın kurduğu iletişimin az miktarda olduğu gözlemlenmektedir. Yerel malzeme kullanımı noktasında, doğal içerikli materyaller robotların son üretim parçalarındaki kısıtlar nedeniyle kullanılamamış olsa da yerel atıkların bahsi geçen etkileşimi sağladığı varsayılmaktadır. Plastik kullanımı sebebiyle yapay malzeme oranı yüksektir. Renklerin farklı opsiyonlarda sunulması mekân organizasyonunda gerekli görülen çevresel bağlamdan mobilyayı görsel olarak koparma veya öne çıkarma çabasının bir sonucudur. Bu sayede kullanıcılara hizmet etmesi için tasarlanan kent mobilyasının aynı zamanda kolay fark edilebilir bir obje olmasının hedeflendiği açıktır. Kent mobilyası örneği bu aşamada üç kriterden iki tanesini karşılayarak (Tablo 4) %66'lık yüzdesel etkinlik sağlamaktadır (Şekil 8).

Üçüncü aşamadaki değerlendirme ölçütü sürdürülebilir ve ekolojik tasarım süreçlerinin alt parametrelerine odaklanmaktadır. Mobilyanın tasarım kurgusundan son kullanıcı ile buluşmasına kadar geçen tüm süreç çevresel sorunlara karşı yerelde çözüm üretmek amacı taşımaktadır. Buna rağmen, kent mobilyasının birçok örnekte rastlanılan ve insanların gün içerisinde kullandıkları elektronik cihazları şarj edebilecekleri güneş paneli sistemi gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile entegre edilmediği görülmektedir. Kullanılan malzemelerin bölgesel iklime olan uygunluğunun yanı sıra doğal yaşamın korunması noktasında özel bir



konstrüksiyon tekniğiyle kompakt bir formda tasarlanabildiği anlaşılmaktadır. Tüm bu süreçte geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı ile katı atık dönüşümü sağlanmıştır. Ayrıca, yeşil tasarım unsurunun eklendiği mobilyada aynı zamanda gölgelendirme ile ilgili opsiyonun da çözüldüğü anlaşılmaktadır.

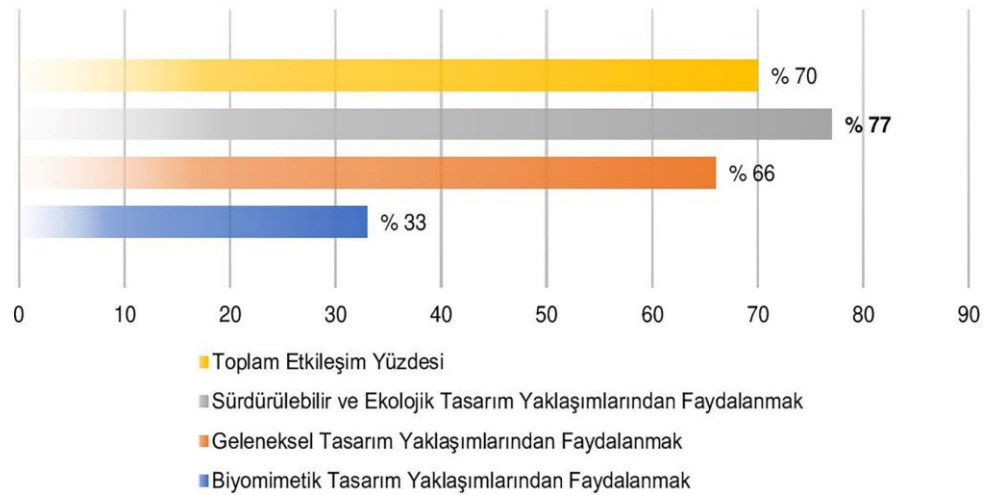
Mobilya üretim sürecinde ise, endüstriyel robotların kullanılması sebebiyle disiplinler arası ortak çalışmayı öngören bir sürecin varlığından söz edilebilmektedir. Kent mobilyası örneği bu aşamada on dört kriterden on bir tanesini karşılayarak (Tablo 4) %77'lik yüzdesel etkinlik sağlamaktadır (Şekil 8). Bununla birlikte, enerji etkin yapı sistemlerinden faydalanmak noktasında kent mobilyasıyla bir ilişki kurulamadığından bu parametre ölçüm dışında tutulmuştur (Tablo 3-4).

**Tablo 3.** Stratejiler ve onlara bağlı alt parametrelerin SAW yöntemine göre ağırlıkları

Sürdürülebilir Tasarım Kriterleri	Stratejiler	Strateji Katsayısı	Alt Parametre Sayısı	Alt Parametre Katsayısı	Toplam Ağırlık
Biyomimetik ve İşlevsel İnovasyon	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımlarından Faydalanmak	1	3	0,33	3
	Geleneksel Tasarım Yaklaşımlarından Faydalanmak	1	3	0,33	
Teknik Tasarım Optimizasyonu	Sürdürülebilir ve Ekolojik Tasarım Yaklaşımlarından Faydalanmak	1	14	0,07	
	Enerji Etkin Yapı Sistemlerinden Faydalanmak	*Kent mobilyası ile ilişkilendirilememiştir.			

**Tablo 4.** Stratejiler ve onlara bağlı alt parametrelerin SAW yöntemine göre sayısal karşılıkları

Basit Toplam Ağırlıklandırma Yöntemi (SAW)	Biyomimetik ve İşlevsel İnovasyon		Teknik Tasarım Optimizasyonu		Toplam
	Biyomimetik Tasarım Yaklaşımlarından Faydalanmak	Geleneksel Tasarım Yaklaşımlarından Faydalanmak	Sürdürülebilir ve Ekolojik Tasarım Yaklaşımlarından Faydalanmak	Enerji Etkin Yapı Sistemlerinden Faydalanmak	
Alt Parametreler	3	3	14		20
Sayısal Karşılıklar	0,33	0,33	0,07		3
Karşılanan Alt Parametreler	1	2	11		14
Sayısal Karşılıklar	0,33	0,66	0,77	*Kent mobilyası ile ilişkilendirilememiştir.	0,70



**Şekil 8.** Stratejiler ve onlara bağlı alt parametrelerin SAW yöntemine göre yüzdesel karşılıkları

## 6. TARTIŞMA

Tasarım ve üretim süreçleri çerçevesinde mimarlar, iç mimarlar ve tasarımcılar projelerinin yapım, imalat ve makine üretim süreçlerini görmek istemektedirler. Ancak, her ne kadar açık kaynaklı program ekosisteminde artış olsa da parametrik tasarımların sonuç ürününün ortaya çıkacağı noktada uygun bir yazılıma sahip olunmaması çeşitli problemlerin oluşmasına sebep olmaktadır (Braumann & Brell-Cokcan, 2011). Bechthold'a (2010) göre, otomatik programlama stratejilerinin geliştirilmesi, robotların "kişilere özel yapım" da kullanılması için önem arz etmektedir. Bu hususta çevrimiçi uygulamanın ortaya koyduğu

basitleştirilmiş parametrik ara yüz ve endüstriyel robotların ortaya çıkaracağı neredeyse sorunsuz üretimler söz konusu durumun çözümü için etkin bir süreci işler kılmaktadır. Tasarım sürecinin basitleştirilmiş hali ve eklentilerle zenginleştirilmesi son kullanıcı dahil olmakla birlikte tasarım sürecinin basitçe sonuçlandırılmasına olanak sağlamaktadır.

Sürdürülebilir kent mobilyası tasarımında tüm olası kısıtlamaların uygulamanın ortaya koyduğu seçenekler ile daha az karmaşık bir probleme dönüşmesi, çevrimiçi tasarım sürecinde bir oyunsallığın ortaya çıkartılması ile mümkün olabilmektedir. Tasarımların oluşturulma süresi ve malzeme maliyetlerinde önemli tasarruflar, üç boyutlu CAD dosyasını atölyeye yönlendirmek yerine imalat için tasarımları optimize etmek olanaklarını doğurmuştur. Dolayısıyla tasarımdan üretime kadar akıcı bir iş akışı sağlanabilmektedir.

Araştırmaya konu olan Şehrini Yazdır projesi, endüstriyel robotlarla tasarım ve üretim için daha açık ve uyarlanabilir bir sisteme doğru atılan bir küçük adımı temsil etmektedir. Çevrimiçi uygulama, mimarların veya iç mimarların ileride robotik üretim öncesi tasarım süreçlerini kontrol etmek ve optimizasyonunu sağlamak için kendi dijital tasarım araçlarını geliştirmelerinin mümkün olabileceği izlenimini vermektedir. Proje özelinde malzeme kullanımı noktasında tasarım aşamasını tek bir materyale odaklanarak kısıtlayan süreç ise, gelişen teknoloji ile ortaya çıkan yeni üretim parçalarının robotlara entegre edilmesiyle çeşitlenebilecektir.

Şehrini Yazdır projesi üretim için çevrimiçi bir tasarım ortamı, son kullanıcı tarafından objelerin özelleştirilebilmesi ve malzeme bilgili üretim gibi konuları ele alan somut bir çıktı olarak değerlendirilmektedir. Ancak, eklentilerin sayısının ve kombinasyon ile oluşturulacak tasarım adedinin de bir sınırının olduğu açıktır. Tasarım için sadece kullanılacak entegre eklentiler ve renk seçenekleri esnek üretim imkanlarını bu doğrultuda belirli bir seviyede karşılayabilmektedir. Bu durumun en önemli sebebi, sürdürülebilir tasarım süreçleri konusunda uzman olmayan yerel halkın talepleri doğrultusunda belirlenmiş tasarımların kontrol edilebilir bir alanda sınırlandırılması ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, çevrimiçi tasarım ortamında son kullanıcı tarafından belirlenen modeller ile ortaya çıkarılan ürün çıktısı arasında bazı farklılıklar olduğu da göz çarpmıştır. Örneğin; oturma kısımlarında kullanıcılar için sırtlık gibi ergonomik öğelerin modellerde gözlemlenemediği (Şekil 2), eklenti yapılan öğelerin ise farklı materyaller aracılığıyla adaptasyonun sağlandığı görülmektedir. Bu dramatik farklar aslında oluşturulan model ve çıktı arasında bazı kompozisyon farklılıklarının oluşması dışında herhangi bir probleme sebep olmadığı çok açıktır.

Oluşan tüm bu farklılıkların, basitleştirilmiş tasarım ara yüzündeki kısıtlar ve üretim süreçlerindeki mecburiyetler sebebiyle oluştuğu düşünülmektedir. Dolayısıyla bu noktada üretim aşamasının DRAM sürecine ne kadar uygun olarak yönetildiği ve sürdürülebilirlik kriterlerini ne oranda taşıdığı hususu ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, ortaya çıkan ürünlerin somut olarak daha estetik oldukları da tartışmasız bir gerçeklik olarak karşımızda durmaktadır. Tasarımsal süreçler içerisindeki oyunsallaştırma mantığı her ne kadar bu durum özelinde beklentilerin seviyesini belirlemiş olsa da model ve ürün arasındaki farklar genel olarak sürecin kısıtları arasında düşünülmesi gereken bir konu olduğu değerlendirilmektedir.

## 7. SONUÇ

Çevrenin korunması için sürdürülebilir tasarım ve üretim anlayışının topluma yerleştirilmesinde Şehrini Yazdır projesinin son kullanıcıya çevrimiçi ulaşabilme noktasında büyük bir fayda sağladığı anlaşılmaktadır. Ürünün tasarımından üretimine kadar ortaya çıkacak katı atık dönüşümünün anlık bildirim ve üretimden sonra proje künyesinin metal bir plakaya işlenerek etiketlenmesi, çevre bilincinin gelişmesinde farkındalık yaratacak bir sonuca ulaşılmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, endüstriyel robot destekli bu tip projelerin arttırılması ile mevcut projenin geliştirilerek daha fazla alana yayılması, sürdürülebilir ve ekolojik tabanlı tasarımların çevremizde gözle görülür biçimde artmasına olanak sağlayacağı düşünülmektedir. Ancak bu süreçte doğadan ilham alarak tasarım ve geleneksel dokuya uyum noktasında projeler geliştirilerek desteklenmelidir.

Proje içerisinde çevrimiçi uygulamanın tasarım verisine göre programlanmış ve daha sonra tekrar edebilecekleri bir süreç boyunca fiziksel olarak yönlendirebilen işbirlikçi robotlar ile etkin bir üretim sürecinin oluşturulduğu gözlemlenmiştir. Bu yaklaşım sayesinde, karmaşık robotik algoritma süreçlerinin mobilya eklentilerinde farklı tasarım seçenekleri için en baştan çözümlenerek kullanıcı seçimine göre çalıştırılması, montaj safhasında üretim sürecinin daha kolay ve hızlı hale getirilerek optimizasyonun artırılmasını sağlamaktadır. Böylelikle, kent mobilyasının üretiminde robotik ve otomasyon teknolojilerinin varlığının özellikle sürdürülebilir üretim noktasında verimlilik, üretkenlik ve daha ilerleyen süreçlerde ürünlerin kalitesinde iyileştirmelerin hızlıca yapılmasına olanak sağlayacağı anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma içerisinde incelenen Şehrini Yazdır projesi bağlamında oluşturulmuş olan endüstriyel robot ile üretilmiş tasarım modelinin sürdürülebilir ve ekolojik ayak izi süreçlerinin alt parametrelerinin toplam etkileşim yüzdesi göz önüne alındığında yeterli oranda karşıladığı görülmüştür. Tasarım sürecindeki basitleştirilmiş çevreci yaklaşımlar ve üretimdeki endüstriyel robot temelli kompakt üretimler sayesinde atık yönetimi sağlayan ve yerelde çevre sorunlarına çözmeyi hedefleyen bir kent mobilyasının oluşturulduğu anlaşılmıştır.

#### KAYNAKLAR

- Agustí-Juan, I., Müller, F., Hack, N., Wangler, T. ve Habert, G. (2017). Potential benefits of digital fabrication for complex structures: Environmental assessment of a robotically fabricated concrete wall. *Journal of Cleaner Production*, 154, 330–340. doi:10.1016/j.jclepro.2017.04.002
- Alexandre, A., Cruz Sanchez, F. A., Boudaoud, H., Camargo, M. ve Pearce, J. M. (2020). Mechanical Properties of Direct Waste Printing of Polylactic Acid with Universal Pellets Extruder: Comparison to Fused Filament Fabrication on Open-Source Desktop Three-Dimensional Printers. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 7(5), 237–247. doi:10.1089/3dp.2019.0195
- Andrady, A. L. ve Neal, M. A. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1977–1984. doi:10.1098/rstb.2008.0304
- Arsyah, U. I., Jalinus, N., Arsyah, H. ve Pratiwi, M. (2021). Analysis of the Simple Additive Weighting Method in Educational Aid Decision Making. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(14), 2389–2396.
- Bechthold, M. (2010). The return of the future: A second go at robotic construction. *Architectural Design*. doi:10.1002/ad.1115
- Bhamra, T. ve Hernandez, R. J. (2021). Thirty years of design for sustainability: an evolution of research, policy and practice. *Design Science*, 7, e2. doi:10.1017/dsj.2021.2
- Bonwetsch, T., Kobel, D., Gramazio, F. ve Kohler, M. (2006). The informed wall: Applying additive digital fabrication techniques on architecture. *Synthetic Landscapes - ACADIA 2006 International Conference*, 489–495. doi:10.52842/conf.acadia.2006.489
- Braumann, J. ve Brell-Cokcan, S. (2011). Parametric robot control: Integrated CAD/CAM for architectural design. *Integration Through Computation - Proceedings of the 31st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, ACADIA 2011*, 242–251.
- Braumann, J. ve Brell-Cokcan, S. (2012). Real-Time Robot Simulation and Control for Architectural Design. *Digital Physicality Proceedings of the 30th eCAADe Conference*, 2, 479–486.
- Brell-cokcan, S. ve Braumann, J. (2010). A New Parametric Design Tool for Robot Milling. *ACADIA 2010 içinde* (ss. 357–363).
- Carpenter, E. J., Anderson, S. J., Harvey, G. R., Miklas, H. P. ve Peck, B. B. (1972). Polystyrene Spherules in Coastal Waters. *Science*, 178(4062), 749–750. doi:10.1126/science.178.4062.749
- Carpenter, E. J. ve Smith, K. L. (1972). Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Science*, 175(4027), 1240–1241. doi:10.1126/science.175.4027.1240
- Ceschin, F. ve Gaziulusoy, I. (2016). Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. *Design Studies*, 47, 118–163. doi:10.1016/j.destud.2016.09.002

- Cruz Sanchez, F. A., Boudaoud, H., Camargo, M. ve Pearce, J. M. (2020). Plastic recycling in additive manufacturing: A systematic literature review and opportunities for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121602. doi:10.1016/j.jclepro.2020.121602
- Dertinger, S. C., Gallup, N., Tanikella, N. G., Grasso, M., Vahid, S., Foot, P. J. S. ve Pearce, J. M. (2020). Technical pathways for distributed recycling of polymer composites for distributed manufacturing: Windshield wiper blades. *Resources, Conservation and Recycling*, 157, 104810. doi:10.1016/j.resconrec.2020.104810
- Geyer, R., Jambeck, J. R. ve Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7). doi:10.1126/sciadv.1700782
- Gramazio, F. ve Kohler, G. (2008). *Digital Materiality in Architecture*. Prestel Pub. <https://books.google.com.tr/books?id=LIXWGAAACAAJ> adresinden erişildi.
- Hopewell, J., Dvorak, R. ve Kosior, E. (2009). Plastics recycling: Challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115–2126. doi:10.1098/rstb.2008.0311
- Hossain, M. A., Zhumabekova, A., Paul, S. C. ve Kim, J. R. (2020). A review of 3D printing in construction and its impact on the labor market. *Sustainability (Switzerland)*, 12(20), 1–21. doi:10.3390/su12208492
- Leder, S., Weber, R., Wood, D., Bucklin, O. ve Menges, A. (2019). Distributed Robotic Timber Construction. *Ubiquity and Autonomy - Paper Proceedings of the 39th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, ACADIA 2019*, 510–519.
- McGee, W. ve Ponce de Leon, M. (2014). *Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2014*. Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2014. Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-04663-1
- Mohammed, M., Wilson, D., Gomez-Kervin, E., Petsiuk, A., Dick, R. ve Pearce, J. M. (2022). Sustainability and feasibility assessment of distributed E-waste recycling using additive manufacturing in a Bi-continental context. *Additive Manufacturing*, 50(November 2021), 102548. doi:10.1016/j.addma.2021.102548
- OECD. (2022). *Global Plastics Outlook*. Global Plastics Outlook. OECD. doi:10.1787/aa1edf33-en
- Oesterle, S. (2009). Performance As A Design Driver in Robotic Timber Construction. 2009 TAIWAN CAADRIA: Between Man and Machine - Integration, Intuition, Intelligence - Proceedings of the 14th Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia içinde (ss. 663–671). doi:10.52842/conf.caadria.2009.663
- Ogbemhe, J., Mpofu, K. ve Tlale, N. S. (2017). Achieving Sustainability in Manufacturing Using Robotic Methodologies. *Procedia Manufacturing*, 8(October 2016), 440–446. doi:10.1016/j.promfg.2017.02.056
- Parascho, S., Han, I. X., Beghini, A., Miki, M., Walker, S., Bruun, E. P. G., ... Adriaenssens, S. (2020). LightVault: A Design and Robotic Fabrication Method for Complex Masonry Structures. *Advances in Architectural Geometry*, 350–375.
- Rao, J. S. (2011). Industrial Revolution. *History of Rotating Machinery Dynamics* içinde (C. 20, ss. 31–34). doi:10.1007/978-94-007-1165-5\_7
- Ryberg, M. W., Hauschild, M. Z., Wang, F., Averous-Monnery, S. ve Laurent, A. (2019). Global environmental losses of plastics across their value chains. *Resources, Conservation and Recycling*, 151. doi:10.1016/j.resconrec.2019.104459
- Sektör Değerlendirme Raporu. (2015). Robotik, Otomasyon ve Yapay Zekâ. [https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1608887821\\_stm-sektor-raporu-robotik-otomasyon-yapay-zeka.pdf?](https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1608887821_stm-sektor-raporu-robotik-otomasyon-yapay-zeka.pdf?) adresinden erişildi.
- Shukla, R. K. ve Deshmukh, D. B. (2016). A Review on Role of CAD / CAM in Designing for Skill Development. *International Journal of Research in Engineering Science and Technologies (IJRESTs)*, 1(June 2015), 4–7.
- The Business Research Company. (2021). *Industrial Robots Global Market Report 2021: COVID-19 Growth and Change to 2030*. <https://www.researchandmarkets.com> adresinden erişildi.
- The New Raw. (2022). *Print Your City*. <http://printyourcity.thenewraw.org/> adresinden erişildi.

Thompson, R. C., Swan, S. H., Moore, C. J. ve vom Saal, F. S. (2009). Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1973–1976. doi:10.1098/rstb.2009.0054

TSE. (2021). TS ISO 8373 Robotik Sözlük. Ankara. <https://intweb.tse.org.tr/> adresinden erişildi.

Vomhof, M., Vasey, L., Gramazio, F., Kohler, M., Bräuer, S., Eggenschwiler, K. ve Strauss, J. (2014). RObotic fabrication of acoustic brick walls. *ACADIA 2014 - Design Agency: Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, 2014-October*(Figure 1), 555–564.

Wallin, T. J., Pikul, J. ve Shepherd, R. F. (2018). 3D printing of soft robotic systems. *Nature Reviews Materials*, 3(6), 84–100. doi:10.1038/s41578-018-0002-2

Wang, X. V. ve Wang, L. (2021). A literature survey of the robotic technologies during the COVID-19 pandemic. *Journal of Manufacturing Systems*, 60(December 2020), 823–836. doi:10.1016/j.jmsy.2021.02.005

Weissenböck, R. (2015). Robotic Design-Fabrication - Exploring Robotic Fabrication as a Dynamic Design Process. *Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe içinde* (C. 2, ss. 309–318). doi:10.52842/conf.eacaade.2015.2.309

Xu, M., David, J. M. ve Kim, S. H. (2018). The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges. *International Journal of Financial Research*, 9(2), 90–95. doi:10.5430/ijfr.v9n2p90

Yap, Y. L., Sing, S. L. ve Yeong, W. Y. (2020). A review of 3D printing processes and materials for soft robotics. *Rapid Prototyping Journal*, 26(8), 1345–1361. doi:10.1108/RPJ-11-2019-0302

Zhang, Y., Meina, A., Lin, X., Zhang, K. ve Xu, Z. (2021). Digital Twin in Computational Design and Robotic Construction of Wooden Architecture. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1–14. doi:10.1155/2021/8898997