



Received:  
06.12.2025

Yakın Mimarlık Dergisi

ISSN  
2547-8729

Accepted:  
19.02.2026

**Çevresel sürdürülebilirlik bağlamında mobilya ve iç mekân tasarımı;  
geri dönüştürülmüş atık plastiklerin robotik 3d baskı yöntemiyle  
kullanımı\***

**Furniture and interior design in the context of environmental sustainability; the use of  
recycled waste plastics through robotic 3D printing\***

Seda SUBAŞI 

**ÖZET**

*Sürdürülebilirliğin kökeni çok eskiye dayanmakla birlikte, kavram olarak 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren literatürde yer bulmuştur; çevrenin korunması, doğal kaynakların etkin kullanılması ve toplumun ihtiyaçlarının kuşak farkı gözetmeksizin karşılanması önemle vurgulanmıştır. Plastik kullanımı, nüfus artışıyla birlikte ambalajdan inşaata birçok alanda artmış ve çevre kirliliği ile katı atık yönetimi sorunlarını ortaya çıkarmıştır. İnşaat sektöründe plastiğin yaygın kullanımı, iç mimarlıkta doğru malzeme seçimi ve mevcut atığın değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu çalışmanın amacı, mobilya ağırlıklı iç mekân tasarımında geri dönüştürülmüş plastiğin robotik 3D baskı yöntemiyle üretilen çıktılarının çevre üzerindeki potansiyel etkisini araştırmaktır. Araştırma, ürün çıktılarının ham madde kullanımı, üretim, dağıtım-kullanım ve yeniden kullanım süreçlerinde sürdürülebilir tasarımlara yanıt aramaktadır. Atık plastiğin kullanımını disiplinler arası iş birliğiyle araştıran dört farklı ofisin, teknoloji ve sanat ilişkisini güçlendiren tasarımları materyal olarak seçilmiştir. Nitel araştırma kapsamında, çıktılar güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler (GZFT) analiziyle incelenmiştir. Bulgular, güçlü yönlerin işlevsellik, yerel ham madde kullanımı, düşük malzeme kayıplarıyla hafif yapı oluşturma ve sürdürülebilirlik olduğunu göstermiştir. Zayıf yönler ise kolay stoklama sorunları, üretimde olası kusurlar ve katmanlı üretimden kaynaklanan yavaşlık olarak belirlenmiştir; ancak kusurlar özgünlük değeri ve yaratıcı üretim fırsatı sunmaktadır. Ortak tehditler yazılım-donanım uyumsuzluğu ve mekanik arızalardır. Sonuç olarak, atık plastiğin mekânsal*

<sup>1</sup> İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye. [sedasubasi93@gmail.com](mailto:sedasubasi93@gmail.com)  
ORCID: 0009-0001-9336-6858

\*Bu makale, İç Mimarlıkta Güncel Konular (2024) Sempozyumu'nda sözlü olarak sunulan ancak tam metni yayımlanmayan "Geri Dönüştürülmüş Atık Plastiklerin Robotik 3D Baskı Yöntemiyle İç Mimaride Kullanımlarının İncelenmesi" adlı tebliğin içeriği geliştirilerek ve kısmen değiştirilerek üretilmiş hâlidir.

sınırlama olmadan robotik 3D baskı ile kullanılması, çevresel sorunların çözümünde önemli rol oynayacak, hafif, estetik, işlevsel ve sürdürülebilir çözümler sunacaktır

**Anahtar Kelimeler:** 3d baskı, Geri dönüşüm, İç mekân tasarımı, Plastik, Robotik.

## **ABSTRACT**

Although the concept of sustainability has ancient roots, it has gained prominence in the literature since the second half of the twentieth century, emphasizing environmental protection, efficient use of natural resources, and meeting societal needs across generations. With population growth, plastic use has expanded from packaging to the construction sector, leading to environmental pollution and solid waste management problems. The widespread use of plastic in construction has necessitated appropriate material selection and the evaluation of existing waste within interior design practices. This study aims to investigate the potential environmental impacts of recycled plastic outputs produced through robotic 3D printing within a furniture-oriented interior design context. The research examines how these outputs respond to sustainable design processes across raw material use, production, distribution–use, and reuse stages. Four interdisciplinary design studios exploring recycled plastic through the integration of technology and art were selected as case materials. Within a qualitative research framework, the outputs were analyzed using SWOT analysis. Findings reveal strengths such as functionality, local raw material use, low material loss, lightweight structural production, and sustainability. Weaknesses include storage difficulties, potential production defects, and the relatively slow nature of layer-based manufacturing; however, such defects may contribute to design originality and creative production potential. Common threats include software–hardware incompatibilities and mechanical failures. Consequently, the use of recycled plastic through robotic 3D printing without spatial limitations presents significant potential for addressing environmental problems by offering lightweight, aesthetic, functional, and sustainable solutions.

**Keywords:** 3d printing, Recycling, Interior design, Plastic, Robotic.

## **1. GİRİŞ**

20. yüzyılın ikinci yarısında “sustainability” olarak literatüre geçen sürdürülebilirlik, temelde doğal kaynak tüketimini ve gelecek nesilleri dert edinen bir disiplin olarak günümüze dek varlığını devam ettirmiştir. İlhan Tekeli “sürdürülebilirlik” kavramının ilk kez 1977 yılında Dennis Pirages’in “Sürdürülebilir Toplum” adlı kitabında gündeme geldiğini söylese de (Taşcı, 2013), bu kavram 1713 yılında ilk kez ormancılık alanı için kullanılmıştır (Germain, 2010). 21. yüzyıldan öncesine kadar sürdürülebilirlik çevresel parametrelerle açıklanırken, bugün artık multidisipliner çalışmaların konusu olmuş: sosyal, mimari, ekonomik, kültürel, yönetim gibi parametrelerle ele alınmıştır. Ancak 1960’tan bu yana sürdürülebilirliğin gündeme geldiği konferanslarda ekolojik tahribatın giderilmesi, doğal kaynakların bilinçli tüketimi ve diğer çevre meselelerinin çözümünün elzem olduğu sonucuna varılmıştır (Subaşı, 2022).

Çevre tahribatı ve doğal kaynak tüketimi meselesinin büyük bölümünü inşaat faaliyetleri oluşturmaktadır. Dünyadaki doğal kaynakların tüketiminin %75'inden inşaat endüstrisi sorumludur (Ekoyapı, 2019). Yapının yaşam sürecinin çevreye olan etkisinin %10'unu yapı malzemeleri oluşturmaktadır (Sev ve Görgülü, 2012). Bu nedenle doğru malzeme seçimi ekolojik ve yapısal sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Taş, kum, demir, çelik gibi sınırlı kaynaklar inşaat sektöründe yüksek oranda kullanılmaktadır. Aynı zamanda katı atıklar arasında yapı malzemeleri büyük yer kaplamakta, bu da ekolojik kirlilik açısından ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Avrupa Birliği'nde inşaat atıkları, tüm atıkların %25'i ile %30'unu oluşturmaktadır (European-Commission, 2017; Sormunen ve Kärki 2019). Kirlilik oranlarının bu kadar fazla olması, atık malzeme miktarını en aza indirme veya mevcut atığı yeniden kullanmanın gerekliliğini düşündürmektedir.

Sürdürülebilir mimari için sürdürülemez üretim ve tüketim faaliyetlerini terk etmek gerekmektedir (Subaşı, 2024). Doğal kaynakların kullanımını sınırlandırmak ve gelecek nesillere bu kaynakları ulaştırmak için ekolojik ve sürdürülebilir mimari tasarım ilkeleriyle üretim yapmak şart olmuştur. Sürdürülebilir tasarım ilkelerinden biri de yeniden kullanılabilir veya geri dönüştürülmüş malzemelerle yapı inşa etmektir. Mimaride yeniden kullanım/geri dönüşüm hem bütünleşik ve sürdürülebilir katı atık yönetimini (Ardi ve Arda Büyüktaşkın, 2019) başarılı kılmada hem de doğal kaynak kullanımını sınırlandırmada etkin rol oynamaktadır. Plastik yaygın kullanımı, katı atık yönetiminde bu malzemenin geri dönüşümü veya yeniden kullanımı üzerinde durmayı gerektirmektedir.

## **2. ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE SÜRDÜRÜLEBİLİR İÇ MİMARİ**

Sürdürülebilirlik kavramı, literatürde yer almadan önce de çevrenin korunması, doğal kaynakların bilinçli kullanımı ve ekolojik tahribatın önlenmesi düşüncesiyle ilişkilendirilmiştir. Antik dönemde Plato, Strabo ve Columella gibi düşünürler çevresel bozulmanın nedenlerini tartışmış; Mısır, Mezopotamya, Yunan ve Roma uygarlıklarında ormansızlaşma, toprak verimliliğinin azalması ve tuzlanma gibi ekolojik sorunlar erken sürdürülebilirlik kaygılarının göstergesi olmuştur. Bu kavram uluslararası düzeyde ilk kez 1972 Stockholm Birleşmiş Milletler Konferansı'nda gündeme gelmiş ve çevre sorunlarının ekonomik ve sosyal kalkınma ile birlikte ele alınması gerektiği vurgulanmıştır. Brundtland Raporu (*Our Common Future*), sürdürülebilir kalkınmayı gelecek nesillerin ihtiyaçlarını gözetken bir yaklaşım olarak tanımlamıştır (1991). 1992 Rio Konferansı ve Gündem 21 ile iklim değişikliği ve doğal kaynak yönetimi küresel politika alanına taşınmış, 1996 Habitat II Zirvesi'nde sürdürülemez üretim ve tüketim biçimlerinin dönüştürülmesi gereği öne çıkmıştır (UN, 1996).

2010 BM Yüksek Düzey Paneli sürdürülebilir kalkınmayı ekonomik, sosyal ve çevresel dengeler üzerinden tanımlamış; Rio+20 (2012) ve 2015 Gündem 2030 ile doğa koruma, iklim eylemi ve kaynak sürdürülebilirliği küresel hedefler hâline gelmiştir (Subaşı, 2022).

Sürdürülebilir mimari, yapıları çevrenin kaynak tüketimi ve çevresel etkileriyle doğrudan ilişkili olup yapıların tasarım, yapım, kullanım ve yaşam sonu süreçlerinin bütüncül biçimde ele alınmasını gerektirir. Doğal kaynak kullanımının azaltılması, enerji ve su verimliliği, atık yönetimi ve çevresel etkin tasarım ilkeleri sürdürülebilir mimarlığın temelini oluşturur. Mies van der Rohe'un "az çoktur" yaklaşımı doğrultusunda, tasarım süreçlerinde malzeme ve enerji etkinliği ile ekolojik etkilerin tasarımın tüm aşamalarında değerlendirilmesi önem taşımaktadır (Çiğın & Yamaçlı, 2020).

Sürdürülebilir iç mimari ise mekânı oluşturan tüm bileşenlerin ham madde temininden kullanım ömrü sonuna kadar çevresel, ekonomik, işlevsel ve estetik ölçütler doğrultusunda ele alınmasını ifade eder. Bu kapsamda sürdürülebilirlik; ham maddenin elde edilmesi ve işlenmesi, üretim süreci, dağıtım ve kullanım aşaması ile ürünün yeniden kullanım veya geri dönüşüm süreçlerini kapsayan yaşam döngüsü yaklaşımı üzerinden değerlendirilmektedir (Demirarslan & Demirarslan, 2017; Demirarslan & Güneş, 2020).

### **3. İÇ MİMARİDE GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PLASTİK KULLANIMININ ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİKLE İLİŞKİSİ**

1860 yılında Alexander Parkes tarafından keşfedilen plastik bugün geniş bir alanda kullanılmaktadır. Dünya plastik tüketiminde inşaat sanayii %24'lük dilimle ikinci sıradadır. Ondan önce %29'luk oran ile ambalaj sanayii yer almaktadır (MEGEP, 2006). Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD) raporuna göre plastik üretimi 2000 yılında dünya genelinde 234 milyon ton iken 2019'da 460 milyon tona ulaşmıştır. Aynı raporda, 2000 yılında 156 milyon ton olan plastik atık miktarının da 2019'da 353 milyon tona çıktığı bildirilmiştir (OECD, 2022).

Günelik yaşam içerisinde çok kullanılan ambalaj atıklarının ve uzun vadede ciddi birikim yapan inşaat atıklarının doğada kapladığı yer düşünülünce plastiğin geri dönüşümü için yöntemler düşünmek elzem olmuştur. Plastiklerin çoğu geri kazanılabilir ancak toplama, ayrıştırma, temizleme, kurutma gibi süreçlerde kolaylık gözetildiğinde günümüzde 3 tür plastiğin geri dönüşümü mümkündür. Bunlar; PET, HDPE ve PVC'dir. Dünya çapında kullanılan plastiklerin %90-95'ini PET, HDPE ve PVC'ler oluşturmaktadır. Geri dönüştürülebilen atıklar arasında süt şişeleri, meyve suyu şişeleri, plastik yağ şişeleri, margarin tüpleri, peynir kapları, metal sapsız krem tüpleri ve kutuları gibi malzemeler yer almaktadır (MEGEP, 2006).

Görüldüğü gibi plastikler hafif, dayanıklı, esnek ve yalıtkan olmaları sebebiyle pek çok sektörde kullanılan malzemelerdir. Kullanım alanı geniş olan bu malzemeler üretimi esnasında yüksek enerjiye gereksinim duymakta ve aynı zamanda atık oluşturduğunda havayı, suyu ve toprağı kirletmektedir. Plastik, doğada kaybolmayan bir malzeme olarak değerlendirilmiş, 1970 sonrası bu malzemenin mobilya üretiminde kullanımının zararları konuşulmuştur (Güneş ve Demirarslan, 2020). Ancak ekolojik tasarım girdilerinden olan doğal malzeme kullanımı veya çelik gibi yüksek enerjili üretim potansiyeline sahip (Robinson, 2008) malzemenin sürekli üretimi bizi bir taraftan sınırlı olan kaynağı tüketmeye, diğer taraftan biriken plastik yığını görmezden gelmeye itmektedir.

Plastiğin geri dönüşüm yollarının aranıp sürdürülebilirlik için en doğru adımlarla - mobilyadan iç mekâna- üretim sürecine dahil edilmesi hem çevre kirliliğine bir çözüm sunacak hem de kaynak tüketimini sınırlandıracaktır. Bu sebeple plastik atık yönetimini geri dönüşüm ve yeniden kullanım bağlamında düşünmek elzemdir. Atık yönetiminde ilk adım plastik üretimini ve kullanımını azaltmaktır. Ancak bir sonraki aşamada plastik atıkların değerlendirilmesi şarttır. 2015 yılında 300 milyon ton olan küresel plastik üretiminin 2050 yılında 1800 milyon ton olması beklenmektedir (Ryan, 2015). Plastiğin bu kadar yoğun üretilmesi ve tüketilmesi hem doğal kaynak tüketimi hem de çevre kirliliği bağlamında büyük bir problem haline gelmektedir. Bunun sonucunda malzemenin geri dönüşümü veya yeniden kullanımı için teknolojiler geliştirilmiştir. Çeşitli işlemler sonucunda plastik, geri dönüştürülerek veya yeniden kullanılarak mimaride sürdürülebilir yapı malzemesi olarak yerini almıştır.

Plastiklerin yeniden kullanımında veya geri dönüşümünde plastik tipinin belirlenmesi ve ayrıştırılması önemlidir. Çünkü plastikler geri dönüşüm kolaylığına göre termoset plastikler ve termoplastik reçineler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Termosetlerin yapısı yeniden kullanıma uygun değildir. Ancak termoplastik reçineler tekrar tekrar kullanılmaya elverişlidir (PE, LDPE, HDPE, PVC, PET, PP, PS, vb.). Her üretilen plastik ürünün genellikle alt veya taban kısımlarında semboller vardır. Bu sembol plastiğin türünü ve geri dönüşüm özelliğini belirtir (MEGEP, 2006). Plastiğin geri dönüşümü mekanik ve kimyasal yollarla olmaktadır. Mekanik geri dönüşümde plastikler cinslerine göre ayrıştırılır. Yıkama işleminden geçtikten sonra kırma makinelerinde parçalanarak küçültülür ve kurutulur. Kurutulan plastikler ekstrüzyon makinesinde ısıtılarak eritilir ve makinenin uç kısmına göre şekillendirilir. Makineden yarı akışkan çıkan bu malzeme soğutulur ve istenilen ebatlarda kullanılır. Kimyasal yöntemler ise saflaştırma, depolimerizasyon ve hammadde geri dönüşüm yöntemidir. Hammadde geri dönüşümünde ise piroliz, gazlaştırma ya da hidrotermal gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin her birinde plastik yüksek sıcaklığa maruz bırakılır (Okatan, 2022).

Geri dönüşüm işlemlerinde elde edilen sonuçlardan bazıları şunlardır:

- Atık pet şişelerin harç malzemesine dönüşümü ve kaldırım yapımında, kanalizasyonda kullanılması,
- Atık pet şişelerden mobilya üretilmesi,
- Atık plastiklerin betonda ve yol yapımında kullanılması,
- Atık plastiğin diğer atıklarla kompozit malzeme oluşturması ve kentsel alanda kullanılması,
- Sulardaki plastik atıkların ileri dönüşümü ve 3D baskı yoluyla yekpare mobilyalar elde edilmesi,
- Kullanılmış ambalaj ve araba lastiklerinden ekstrüzyon işlemiyle tuğla elde edilmesi,
- Geri dönüştürülmüş plastiğin 3D baskı yoluyla iç mekân tasarımında kullanılması,
- Plastik malzemelerin binalarda cephe malzemesi olarak yeniden kullanılmasıdır (Bulhaz, 2020; Güneş ve Demirarslan, 2020).

İç mimaride sürdürülebilirliğin yollarından biri ham madde kullanımında yerelliği dikkate almak ve üretim esnasında çevre tahribatını en aza indirmektir. Ancak salt yerel malzemenin kullanımı bir yandan sınırlı kaynakların tüketimini artırmakta diğer yandan durdurulamayan plastik kullanımına çözüm sürecini gündemsiz bırakmaktadır. Yerel malzemenin iç mimaride kullanımı bu sürece destek verdiği gibi atıkların geri dönüşümü ile üretim de sürdürülebilirlik için iyi bir fikir olmaktadır. Böylece kaynakların kullanımında denge gözetilecek, çevre kirliliği ve atık depolama alanı sorunu çözülecektir.

## **4. PLASTİK GERİ DÖNÜŞÜM SÜREÇLERİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ**

### **4.1. Ham Madde Üretimini Sağlayan Makineler**

Plastik geri dönüşüm makineleri, sanayi atıklarından veya evsel atıklardan plastik esaslı olanların (pet şişe, polietilen şişe, PVC, ambalajlar gibi) ayrıştırılıp temizlenerek öğütülmesi sonucu piyasaya tekrar hammadde olarak kazandırılmasını sağlayan makinelerdir. Bu makineler ekstrüzyon denilen sistemle çalışmaktadır

Plastik geri dönüşümünde hammadde elde edilmesi için 3 aşama gereklidir:

- Atık plastiğin toplanıp depolanması,
- Plastiğin ayrıştırılması, temizlenmesi ve ekstrüzyona hazır hale getirilmesi ve
- Ekstrüzyon işleminde granül hammaddenin elde edilmesi (İmert, 2023c).

Atık plastiklerin ekstrüzyon işleminde kesim sistemleri farklı olan ancak aynı granülü veren iki ayrı makine tipi bulunmaktadır. Biri soğuk kesim granül makinesi (pelletizing), diğeri ise sıcak kesim makinedir. Soğuk kesim makinede ekstrüder kafasında kullanılan filtreden geçen plastik tel şeklinde akar ve su havuzunda soğutulur.

Sıcak kesim makinede ise filtreden geçen plastik kafada bıçaklar yardımıyla kesilip havuza atılmakta veya hava yardımı ile soğutma işlemi yapılmaktadır. Daha sonra havuzdaki plastikler toplanır ve kurutma işlemi ile kurutulmaktadır (MEGEP, 2006).

#### **4.2. 3d Baskı Yoluyla Üretim Gerçekleştiren Makineler**

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 çıktılarının sürdürülebilir üretime olan katkılarının değerlendirilmesi sürecin iyileştirilmesi için önem taşımaktadır.

18. yüzyılda ortaya çıkan endüstrileşme hareketi 2000-2010 yılları arasında bilgisayar destekli tasarım ve üç boyutlu baskı ile dördüncü sanayi devriminin gerçekleşmesine aracı olmuş (Xu, David ve Kim, 2018), böylelikle üretim metodları da çeşitlenmiştir. Endüstriyel robotlar işlevsel ve düşük maliyetli olmaları sebebiyle üretim faaliyetleri için ideal araçlar olmuşlardır. Her ne kadar robotlar organik hareketlerle kontrol ve tepkiyi zorlaştırırsa da esnek çalışma fırsatı sunduğundan mimari tasarım ve üretim sürecine dahil edilmiştir (İmert, 2023a).

Robotik 3d baskıya hazır ürün tasarımı iki aşamadan meydana gelmektedir. İlki, ürünün üç boyutlu görselinin oluşturulduğu bilgisayar destekli tasarım (CAD) aşaması; ikincisi ise bilgisayar destekli üretim (CAM) aşamasıdır. CAD ortamında tasarlanan modeller CAM ortamına aktarılmakta, sonrasında üretim sürecine hazır hale gelmesi için takım yolları hesaplanarak robot kodlarına dönüştürülmekte ve böylece son işlemcide ürünün simülasyonu elde edilip baskıya hazır hale gelmektedir (Brell-Cokcan ve Braumann, 2010; İmert, 2023b).

Çevresel sürdürülebilirliğin gerekliliğini anlamak için ana kriterler alt başlıklarla açıklanarak üretim süreci ekolojik bağlamda daha iyi değerlendirilebilir. Sözelimi ham maddenin elde edilmesi ve işlenmesi sürecine bakacak olursak; yerel ham madde kullanımı, ham madde işlenmesinde enerji ve su etkin yöntemlerin belirlenmesi, ham maddenin kendini yenileyebilecek potansiyelde olması özellikleri ilk maddenin alt başlıkları arasında sayılabilmektedir. Üretim esnasında çevresel sürdürülebilirlik, hava ve su kirliliğinin önlenmesi, sıfır atık sistemi, ekolojik ayak izinin düşürülmesi veya minimuma indirgenmesi, üretim yerlerinin mevcut potansiyellerinin sürdürülebilir olması, enerji etkin üretim süreci, minimum atık oluşturma potansiyeli ve gürültünün önlenmesi faktörlerine bağlı olmaktadır. Dağıtım ve kullanım esnasında çevresel sürdürülebilirlik ise ürünün kullanım ömrünün uzun olması, ergonomik olması, estetik olması, kullanıldığı an çevreye zarar vermemesi, işlevsel olması hatta farklı işlevlere aynı anda cevap verebilmesi (esnek tasarım), kolay taşınabilmesi ve depolanabilmesi ile mümkün olmaktadır. Ömrü tükenmiş ürüne ne olacağı da çevresel sürdürülebilirliğin problematiğidir.

Ürün ömrünü tamamladıktan sonra parçalarının yeniden kullanılmaya elverişli olması, yıkımı esnasında çevre kirliliğine yol açmaması, varsa birleşim detaylarının da yeniden kullanılabilmesi son aşamanın alt başlıkları arasında sayılabilmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada araştırma materyali olarak 3D baskı teknolojisini kullanmayı hedefleyen firmalar kullanılmıştır. Atık plastiğin 3D baskı yoluyla iç mekânda kullanımlarının çevresel sürdürülebilirlik bağlamında güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler (GZFT) analizi yapılmış, ürünlerin ekolojik ve sürdürülebilir verimlilikleri değerlendirilmiştir.

Araştırmanın temel soruları aşağıdaki gibidir:

- 1) Robotik 3D baskı ile üretilen geri dönüştürülmüş plastik mobilyaların, ham madde kullanımı ve malzeme kayıpları açısından geleneksel üretim yöntemlerine göre avantajları nelerdir?
- 2) Bu üretim yöntemiyle elde edilen tasarımların işlevsellik, estetik ve strüktürel hafiflik bağlamındaki güçlü ve zayıf yönleri nelerdir?
- 3) Atık plastiğin iç mekân mobilyalarında kullanımında, üretim sürecinden kaynaklanan teknik sınırlamalar (katmanlı üretim, yazılım-donanım uyumu, mekanik arızalar) sürdürülebilirlik hedeflerini nasıl etkilemektedir?
- 4) Disiplinler arası yaklaşımla geliştirilen robotik 3D baskı mobilya tasarımları, sürdürülebilir iç mimarlık uygulamalarına nasıl bir katkı sağlamaktadır?

## 5. MATERYAL

Dünyanın farklı ülkelerinde atık plastiğin mimaride kullanımını araştıran ve uygulama süreçlerine devam eden dört farklı şirketin birbirinden farklı ürünleri örneklem olarak seçilmiştir. Materyal olarak seçilen örneklerin ortak noktası teknolojiyi sanatla birleştiren ve bu nedenle tasarımcılarla iş birliği yapan; sürdürülebilir, işlevsel ve estetik ürünler ortaya koymayı amaçlayan şirketler olmalarıdır. Bu şirketler karbon ayak izini düşüren, atık yönetiminde etkin, işlevsel, estetik, yeniden kullanılabilir ürünler sunmayı hedeflemektedirler. Aynı zamanda yerel yönetimlerle veya büyük firmalarla iş birlikleri gerçekleştirerek kendini yenileyen, devamlılık arz eden ve güçlü yönleri artırmayı hedefleyen süreçler gözetmektedirler. Güncel ve yenilikçi ürünler ortaya koymaları da materyallerin seçilme nedenlerinden biridir.

### 5.1. HagenHinderdael

Her ikisi de mimari tasarımcı olan Sofia Hagen ve Lisa Hinderdael tarafından 2020 yılında kurulan bu şirket zanaatkarlığı ve teknolojiyi bir araya getirerek atık plastiklerden bir modül tasarlamışlardır. 3D baskılı koltuk ve bank modülü TWINE, eski hastane tepsilerinden geri dönüştürülmüş rPETG filamentinin ham madde olarak kullanılmasıyla elde edilmiştir.

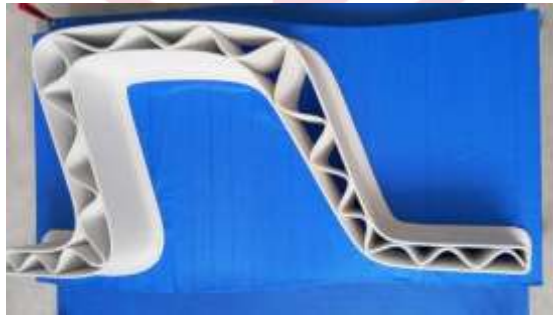
Mobilya üretimine yeni bir soluk getiren bu ikili “Hedefimiz, köklü zanaatkarlığı kutlamak ve her zaman enstalasyonların yaşam döngüsünü düşünmek” diye belirtmişlerdir.

Her bir modül 1,06 metre uzunluğunda ve 50 santimetre yüksekliğinde olup genişlikleri 30 veya 45 santimetre olarak değişmektedir (Şekil 1). Modül aynı zamanda kahve sehпасı (coffee table) veya ufak bir kitaplık olarak da kullanılabilir. Yazılımda Ai Build’i, baskıda KUKA robotları tercih eden tasarımcılar, farklı branşlarda istihdamın desteklenmesine de olanak sağlamışlardır.



Şekil 1. TWINE modülleri (URL-1).

Sipariş ve ürünün elde edilmesi arasında 2 haftalık bir zamana ihtiyaç duyulmuştur. 3d baskılı karışımın soğuması için çift kavisli bir yatak-kalıp yapılmış (Şekil 2), katmanlı imalat yöntemiyle modüller üretilmiştir. Sıcak malzeme bu yatak üzerine akarak sertleşmiş ve dayanıklı bir form haline gelmiştir. Katmanlı üretimde her katman farklı çalıştığı için sarkma gibi sonuçlarla karşılaşmamak için belirli zaman aralıkları gözetilmiştir. Böylece iyi bir hazırlık süreci ve robotların titiz çalışması sonucunda ekolojik, estetik, dayanıklı mobilyalar üretilmiştir.



Şekil 2. TWINE modülü ve yatak-kalıp (URL-1).

Ergonomik açıdan tartışmaya açık bu ürünler daya konforlu tasarımlar için emsal olabilmekte; mobilyanın birden çok işleve aynı anda karşılık verebilmesi ise onu hem ekolojik, hem ekonomik hem de estetik olarak sürdürülebilir kılmaktadır.

## 5.2. The New Raw

Tasarımı ve teknolojiyi bir araya getirmeyi hedefleyen The New Raw ekibi 2015 yılında Panos Sakkas ve Foteini Setaki adlı iki mimar tarafından Rotterdam'da kurulmuştur. The New Raw şirketi robot kolunun tekniği, işçilik ve tasarım girdilerini kullanarak atık plastikten mobilyalar üretmektedir. Robotik tekniğin olasılıklarını tasarımın çeşitliliğiyle birleştirerek farklı dokularda ve ebatlarda mobilyalar üreten stüdyo, yerel yönetimlerle de iş birliği yapmaktadır. Avrupa'yı dolaşan şirketin üretim esnasında en büyük kolaylıklarından biri ekstruderlere bağlı robotların aynı zamanda "gezici üniteler" olarak da çalışıyor olmasıdır.

Üretilen mobilyalar yekpare, doğadan ilham alan, kıvrılmış, dairesel formda veya çizgide ilerleyen mobilyalar olmuştur. Resepsiyon bankosundan sehpa, sandalyeden oyun alanına kent mobilyalarından şezlonglara çok çeşitli üretim potansiyeline sahip bu şirket, ürün meydana getirirken ciddi miktarda atığın değerlendirilmesine de olanak tanımıştır. Sözelimi stüdyonun bu zamana kadarki en büyük monolitik parçası olan Stratum (Katman) adlı mobilya 880 kg plastik atıktan üretilmiştir ve 18 m uzunluğundadır. Tepeden bakıldığında jeolojik tabakayı, yan yana geldiğinde yekpare bir kayayı andıran tasarım doğadaki tabakalaşmayı simüle etmektedir. Yekpare olarak üretilmiştir, organik formdadır ve aynı anda ofis elemanı için çalışma alanı, ziyaretçi için dinlenme alanı ve iç mekânda peyzajı destekleme gibi işlevlere cevap vermektedir (Şekil 3).



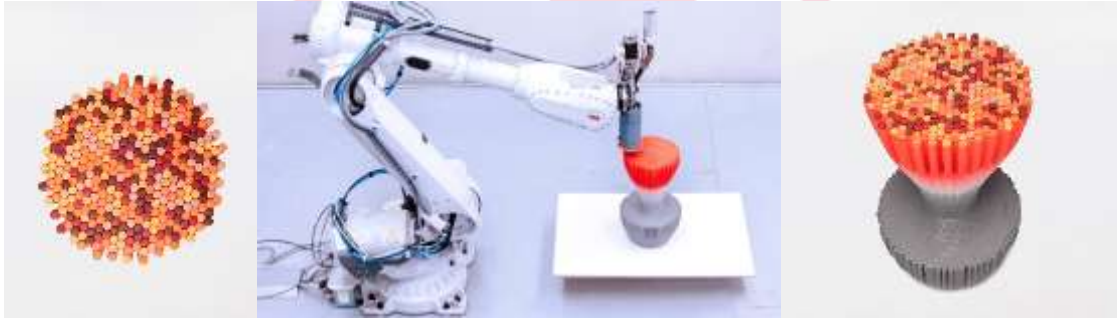
Şekil 3. Aynı anda birden çok işleve cevap veren yekpare modül (URL-2).

Yeterli menzile düşük enerjili çalışan robotlarla üretim yaptıklarını dile getiren ekip, tasarıma bağlı olarak bir mobilyanın üretim süresinin üç ile on iki saat arasında değişebileceğini söylemişlerdir. Üretim esnasında meydana gelebilecek hatalar kusurlu üretime sebep olmaktadır. Örneğin malzemenin nem alması veya mekanik basıncın düşmesi mobilyada boşluklar veya kusurlar meydana getirebilmektedir. Ancak bu kusurlar ürünü biricik ve benzersiz kıldığından otantiklik ve güzellik değerini yükselteceğini vurgulamışlardır.

### 5.3. Nagami

2016 yılında Manuel Jiménez García, Miguel Ángel Jimenez García ve Ignacio Viguera Ochoa tarafından kurulan ofis, geri dönüştürülmüş plastikle mobilya, heykel ve iç mekân elemanları tasarlamaktadır. Orta ve büyük ölçekte projelerin fikir, tasarım, geliştirme ve üretim süreçlerinde yer alan şirket teknoloji, robotik ve sürdürülebilirlik alanlarında uzmanlaşmış tasarımcılarla çalışmaktadır.

Tasarımda esnek (flexible) bir tavrın ortaya konduğu bazı ürünler birden çok işlevle kullanılabilir. Sözelimi Robotica adlı ürün tabure, televizyon altlığı, kahve sehpası veya dekoratif eleman olarak kullanıma elverişlidir. Botanik bilimi ve robot teknolojisinin harmanlanmasıyla ortaya çıkan bu ürün doğanın estetiğinin teknoloji aracılığıyla taklit edildiği ekolojik, sürdürülebilir bir ürün olmaktadır (Şekil 4). İtalyan mobilyalarının biraz üstünde bir fiyata sahiptir ancak tasarım ürünlerle karşılaştırılınca daha düşük bir fiyata satılmaktadır. Ayrıca bu mobilya dış mekân kullanımına uygundur ancak güneş ışığına fazla maruz kaldığında renk solukluğu oluşabileceği belirtilmiştir.



Şekil 4. Esnek tasarıma sahip Robotica adlı ürün (URL-3).

Ofisin diğer iş birliği Zaha Hadid Architects'in yöneticisi Patrick Schumacher ile tasarlanan ve üretilen Rise y Bow adlı mobilyadır. Doğadan ilham alınan formu en gelişmiş üretim teknolojisiyle kullanıcıya sunarken toksik olmayan malzemeden yararlanılmış ve sürdürülebilirlik bir üst basamağa taşınmıştır. Üretimde filaman yerine plastik parçacıklar kullanan bir ekstrüder kullanılmıştır. Seçilen plastik, hafiflik ve stabilite sağlayan, mısır nişastası gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen, toksik olmayan ve biyolojik olarak parçalanabilen bir malzeme olan PLA'dır. Renk geçişi ve formuyla estetik bir biçime sahip bu mobilya 72x68x96 cm ebatlarında bir sandalye olmakta ve dış mekânda kullanımı önerilmemektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Zaha Hadid Architects iş birliğinde üretilen mobilya (URL-3).

Nagami'nin bugüne kadarki en kapsamlı projesi Ecoalf olmuştur. Küresel ısınmanın etkisiyle kutupların erimesi sonucu oluşan buzul erimesinin ruhunu yakalamaya çalışan tasarımcılar, 90 m<sup>2</sup>'lik alana sahip bir mağazanın tüm ihtiyaçlarını (raflar, kapılar, koltuklar, vitrinler ve tezgah) tek bir kaplama katmanında birleştirmişlerdir (Şekil 6). İç mekân tasarımı için toplamda 3,3 ton atık plastik kullanılmıştır ve projenin tamamı %100 geri dönüştürülmüş plastikten üretilmiştir. 100 km'den daha kısa bir mesafede üretilip alana taşınan bu projede nötr karbon ayak izi hedeflenmiştir. Mekânda kullanılan tüm malzemeler demonte edilebilir; kolayca sökülüp yeniden kullanılabilir. Her yeniden kullanımda %1 kadar strüktürel kayba uğradığından Nagami tarafından “sonsuz sürdürülebilir” olarak nitelendirilmektedir.



Şekil 6. Tek katmanda birleşen mağaza iç mekânı (URL-3).

#### 5.4. Komut

Çevreye duyarlı %100 dögüsel tüketime elverişli üretim yöntemleri araştıran ekip, kaynak ve ham madde arayışında yeni bakış açıları önermektedir. Geri dönüştürülmüş plastiklerle çevreye uyumlu, sürdürülebilir, estetik, esnek (flexible) ve etik ürünler meydana getirmeyi amaçlamaktadır. Mobilyalardan aydınlatma elemanlarına, paravandan saksıya kadar geniş yelpazede ürün sunan bu şirketin de vazgeçilmez tasarım kriterlerinden biri estetik olmuştur. Plastiğe ikinci bir hayat vererek israf kavramının unutulmaya yüz tutmuş bir anı haline gelmesini misyon edinmişlerdir. Tüm ürünler Fransa'da ve nötr karbon ayak iziyle üretilmiştir.

A4 Koleksiyonu'nda her üretilen mobilya için kaç adet A4 kağıdı üretiminin karbon ayak izinin silindiği bilgisi verilmektedir. Yekpare olarak üretilen mobilyalar farklı renklerde, yumuşak köşeli ve ergonomik tasarımla ön plana çıkmaktadır. Tasarımcılar bu yumuşaklığın insanları bir araya getirdiğini öne sürmektedir. Üretilen her mobilyanın doku ve rengi birbirinden dönüştürülmüş malzemenin önceki ömrüne göre farklılık göstermektedir. Bu da her ürünü benzersiz ve güzel kılmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. A4 Koleksiyonu ürün yelpazesi (URL-4).

Gidiş Koleksiyonu'nda (Şekil 8) ise geri dönüştürülmüş plastikten üretilen her mobilya için hangi menzilde kaç tren yolculuğundan tasarruf edilen karbon eşdeğerinin bilgisi verilmektedir. Seyahatin devingenliğini metafor olarak kullanıp tren vagonlarındaki hafif ve hareketli perdelerden ilham alan bu seri yan sehpa, alçak tabure ve çocuk koltuğundan meydana gelmektedir. Yekpare olarak üretilen her mobilya ömrünün sonunda yeniden kullanılmak üzere dönüştürülebilmektedir.



Şekil 8. Gidiş Koleksiyonu ürün yelpazesi (URL-4).

Bir diğerk koleksiyon olan Kilometre’de ise tek sıra geri dönüştürülmüş malzemenin bir araya gelmesiyle oluşan yekpare mobilyanın uzunluğu hakkında bilgi verilmektedir. Örneğin uzun sandalye için toplamda 1,7 km uzunlukta geri dönüştürülmüş spiral malzeme kullanılmıştır. Bu koleksiyonda da zarif, kıvrımlı, estetik hatlar benimsenmiştir (şekil 9). Üretilen tüm ürünler konutlarda ve halka açık alanlarda kullanım için uygun görölmektedir.



şekil 9. Kilometre Koleksiyonu ürün yelpazesi (URL-4)

## 6. YÖNTEM

Bu çalışmada, atık plastiğin estetik, işlevsel ve sürdürülebilir yöntemlerle mobilya ve iç mekân elemanlarına dönüştürülmesini **robotik 3D baskı teknolojisini** aracılığıyla pratiğe döken ve bu üretimi sürdüren **dört farklı ofis/şirket** incelenmiştir. İncelenen ofisler, yalnızca ürün tasarımı değil; **malzeme döngüsü, üretim teknolojisi ve çevresel sürdürülebilirlik yaklaşımını birlikte ele alan uygulamalar** geliştirmeleri nedeniyle seçilmiştir. İncelenen dört ofisin seçilme nedenleri: geri dönüştürülmüş plastiği ana ham madde olarak kullanmaları, robotik veya büyük ölçekli 3D baskı teknolojisini üretim sürecine entegre etmeleri, ürünlerinin mobilya ve/veya iç mekân ölçeğinde uygulanabilir olması, çevresel sürdürülebilirliği tasarım yaklaşımının merkezine almaları ve disiplinler arası iş birlikleri (sanat, teknoloji, yerel yönetimler veya endüstri) geliştirmeleridir. Çalışma kapsamı, **coğrafi bir sınırlama** gözetmeksizin, farklı ülkelerde faaliyet gösteren ofisleri içerecek biçimde oluşturulmuştur. Böylece sürdürülebilir tasarım yaklaşımlarının **farklı bağlamlarda nasıl çözümler ürettiğinin** karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Belirtilen ölçütleri karşılamayan; yalnızca kavramsal düzeyde kalan ya da seri üretim ve geri dönüşüm süreçlerini bütüncül olarak ele almayan örnekler çalışma dışında bırakılmıştır.

Çalışmanın başlangıç tarihi 2024 yılının Kasım ayına dayanmaktadır. Bu nedenle, materyal olarak seçilen ofislerin ürün çıktıları, çalışmanın başlangıç tarihine kadar **kamusal olarak erişilebilir ve belgelenmiş üretimleri** üzerinden değerlendirilmiştir. Araştırmada kullanılan veriler, nitel araştırma yaklaşımı doğrultusunda **ikincil veri kaynaklarından** elde edilmiştir. Bu kapsamda firmaların resmi web siteleri, yayınladıkları proje tanıtım metinleri, çevrimiçi röportajlar, akademik yayınlar, sergi katalogları ve sürdürülebilirlik raporları incelenmiştir. Bu kaynaklar, firmaların üretim süreçleri ve tasarım yaklaşımlarına doğrudan erişim sağlaması açısından güvenilir kabul edilmekle birlikte; verilerin büyük ölçüde **kurumların kendi sunumlarına dayanması**, çalışmanın sınırlılıkları arasında yer almaktadır. Bu nedenle analiz sürecinde, farklı kaynaklardan elde edilen bilgiler **karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş** ve tekil beyanlara dayalı çıkarımlardan kaçınılmıştır.

GZFT analizi, belirlenen ana ve alt kriterler doğrultusunda nitel kodlama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Her bir ürün çıktısı, çevresel sürdürülebilirliğin temel parametreleri çerçevesinde ayrı ayrı değerlendirilmiş; ardından ortak ve ayrışan yönler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Kodlama süreci tek araştırmacı tarafından yürütülmüş olup, olası öznellik sorunlarını azaltmak amacıyla değerlendirmeler **açık tanımlanmış kriterlere** dayandırılmıştır. Bulgular, doğrudan gözlemlenebilir üretim özellikleri ve belgelenmiş veriler üzerinden yorumlanmıştır.

Araştırmada kullanılan materyallerin çıktıları çevresel sürdürülebilirlik bağlamında GZFT analiziyle incelenmiştir. Güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler, çalışmanın yöntem bölümünde tanımlanan çevresel sürdürülebilirlik kriter setleri temel alınarak belirlenmiştir. Bu ölçütler; iç mimari üretim sürecinin yaşam döngüsü yaklaşımıyla ele alınan ham madde, üretim, dağıtım–kullanım ve yeniden kullanım aşamalarına dayanmaktadır.

Bu kapsamda:

- Güçlü yönler, ürün ve üretim süreçlerinin çevresel sürdürülebilirliği destekleyen özellikleri doğrultusunda; yerel ve geri dönüştürülmüş ham madde kullanımı, düşük malzeme kaybı, yerinde üretim olanakları, uzun ömürlü ve çok işlevli tasarım gibi kriterler üzerinden tanımlanmıştır.
- Zayıf yönler, sürdürülebilirlik hedeflerini sınırlayan veya risk oluşturan unsurlar dikkate alınarak; katmanlı üretimden kaynaklanan zaman ve enerji gereksinimi, ergonomik sınırlılıklar, stoklama ve kırılganlık sorunları gibi ölçütler çerçevesinde değerlendirilmiştir.

- Fırsatlar, robotik 3D baskı teknolojisinin sunduğu potansiyeller üzerinden; mekânsal sınırlama olmaksızın üretim, tasarımsal özgünlük, kişiselleştirme olanakları, disiplinler arası iş birlikleri ve kamusal farkındalık yaratma kapasitesi gibi kriterler doğrultusunda belirlenmiştir.
- Tehditler ise üretim sürecinin teknik ve çevresel riskleri göz önünde bulundurularak; yazılım–donanım uyumsuzlukları, mekanik arızalar, enerji tüketimi, bakım gereksinimleri ve üretim sürekliliğini etkileyebilecek altyapı sorunları üzerinden tanımlanmıştır.

Nitel analize dayalı araştırmanın yöntemi ürün çıktıları çevresel sürdürülebilirliğin parametreleri çerçevesinde güçlü yönleriyle, zayıf yönleriyle, oluşturduğu fırsatlar ve tehditleriyle incelemiştir. İç mimari üretiminin dört ana aşaması olan ham madde, üretim, dağıtım ve kullanım ve yeniden kullanım aşamalarının her biri alt kriterlerle genişletilmiştir. Materyal olarak kullanılan dört şirketin ürün çıktıları bu ana ve alt kriterlerle değerlendirilmiş, GZFT analiziyle çevresel sürdürülebilirliğine dayalı tablo elde edilmiştir. GZFT tablosundan elde edilen veriler, nitel analiz yöntemiyle tartışılmış; özellikle ortak güçlü yönler, paylaşılan riskler ve sürdürülebilir tasarım potansiyelleri metin içerisinde vurgulanarak ele alınmıştır.

Yöntemde kullanılan ana ve alt kriterler aşağıdaki gibi olmuştur:

#### 1) Ham madde

- Yerel ham madde
- Ham madde elde ediminde çevreye duyarlılık
- Ham madde işlenmesi sürecinde çevreye duyarlılık

#### 2) Üretim

- Çevreye duyarlı üretim
- Sıfır atık üretim
- Minimum ekolojik ayak izi
- Çevreye duyarlı üretim merkezi
- Su ve enerji etkin üretim
- Düşük ses
- Çeşitli iş olanaklarına elverişli üretim

#### 3) Dağıtım ve kullanım

- Yerinde üretim fırsatı
- Kolay taşınabilme ve depolanabilme
- Ergonomi
- Estetik
- İşlevsellik ve esnek tasarım

- Kullanım aşamasında çevreye duyarlılık
- Uzun ömürlülük

#### 4) Yeniden kullanım

- Yeniden kullanılabilir parçalar ve birleşim elemanları
- Yıkım veya parçalanma sürecinde çevreye duyarlılık

## 7. BULGULAR

GZFT analizi sonuçları (Şekil 10), incelenen dört şirketin geri dönüştürülmüş plastiği robotik 3D baskı yöntemiyle kullanma biçimlerinin **benzer çevresel hedeflere yönelmekle birlikte, farklı üretim ölçekleri ve ürün dilleri üzerinden ayrıştığını** göstermektedir. Analiz edilen kriterler çerçevesinde firmalar özellikle “**üretim ölçeği**”, “**ürün dili (basit–kompleks / modüler–yekpare)**” ve “**yerinde üretim olanakları**” ana başlıklarında birbirinden ayrışmaktadır:

Materyal olarak kullanılan dört şirketin ürünleri ve çalışma koşulları çevresel sürdürülebilirlik bağlamında GZFT analiziyle incelenmiştir (Şekil 10). HagenHinderdael adlı şirketin TWINE adlı tek ürünü değerlendirmeye alınmıştır. TWINE adlı ürün yalnızca iki renkte ve sırsız bank modülü olarak üretilmektedir. Aynı zamanda katmanlı üretim aşamasından geçmekte, bu da her katmanın soğuması için bekleme payı gerektirmektedir. Ürünün basit formda olması kolay ve seri üretimi desteklemekte, ölçüleri de kolay stoklanabilmeye olanak tanımaktadır. Aynı zamanda şirket, bulunduğu bölgeden atık plastik tedarik etmektedir; bu da ham maddede yerelliği sağlamaktadır. Ürünün katmanlı üretimle oluşturulması bekleme süresi gerektirse de basit formu yine de hızlı üretimi sağlayabilmektedir. Yüzeylerin açık olması olası bir hatanın kolay fark edilmesine neden olmaktadır. Ürünün sırsız bir oturma elemanı olarak tasarlanması ergonomik açıdan sıkıntılıdır ancak işlevsel formu başka fonksiyonlara da cevap verebilmektedir (sözelimi kahve sehpa veya kitaplık olarak bile kullanılabilir). Robotik kol ile üretimde, yazılımdaki sanal ürünle bitmiş ürünün uyuşmazlığı olabilmektedir. Robotik kolda meydana gelen bir arıza, elektriğin kesilmesi, yazılımı sağlayan cihazdaki teknik arızalar olası tehditler arasındadır. Ancak üründe meydana gelen ufak hatalar özgünlük değeri olarak savunulabilmektedir.

The New Raw adlı şirketin iç mekândan kamusal alana pek çok ürünü bulunmaktadır. Şirket, yerel yönetimlerle ve büyük firmalarla iş birlikleri içerisindedir. Çalışmada, şirketin yalnızca iç mekânda kullanılabilecek ürünleri değerlendirilmiştir. Basit formlarla üretim yapan The New Raw, uzun menzilli robotlarla çalıştığından büyük ölçüde yekpare üretimler de yapabilmektedir (Stratum adlı ürün). Bulgular değerlendirildiğinde birinci materyalden farklı olarak yerinde üretim kolaylığı, ürün çeşitliliği ve iş birliklerinin olduğu görülmüştür.

Büyük ölçülü yekpare üretim kolay stoklanamama gibi bir problem üretse de yerinde üretim taşıma ve depolama sorununu ortadan kaldırmıştır. Bu açıdan üretimde mekânsal sınırlamaların olmayışı iyi bir fırsat olarak görülmektedir. Üretilen ürünler açık alanda ve kamusal alanda kullanılmaya elverişli olsa da kırılabilirlik ve hassaslık değeri hasar riskini yükseltmektedir.

Üçüncü materyal olan Nagami şirketi özellikle dünya çapında ünlü mimarlar ve endüstriyel tasarımcılar gibi pek çok sanatçıyla iş birliği içinde olmaktadır. Bu da ürünlerdeki estetik değerin ve çeşitliliğin artmasını sağlamıştır. Çeşitliliğin artması üretimde motivasyon sağlamakta, esnek tasarım ise ürünün satın alınmasındaki talebi artırmaktadır. Böylece üretimin sürdürülebilirliği sağlanabilmektedir. Sınırlı sayıda üretim ve özgünlük de talebi artıran diğer faktörler arasında sayılmaktadır. Üretimde mekânsal sınırlamaların olmayışı (robotun taşınabilir olması ve yerel üretim kolaylığı) taşıma esnasında meydana gelen çevre kirliliğini önlemekte böylece karbon ayak izi düşürülmektedir. Nagami, plastik atıkların etkin kullanımına iyi bir örnek olarak materyaller arasında yer almaktadır. Tek bir iç mekân tasarımında 3,3 ton atık plastik kullanımının çevreyi iyileştirici potansiyelinin epey yüksek olduğu görülebilmektedir.

Komut adlı son materyal renk ve ürün çeşitliliğiyle talebi artırmakta, sıfır atık ve kapalı üretimle (bu sayede hiç su kullanmadan üretim yapılabilir) çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir. Mobilyaların formları basit olduğundan üretim aşamasındaki kusurlar yüzeyde görünürlüğü artabilmektedir ancak tasarımcılar her ürünün biricik olduğunu, kusurların özgünlüğü artırdığını savunmaktadır. Böylece kusurlu üretim dahi kişiye özel hissiyatı vermekle yeniden üretimi gerektirmeyecektir. Mekânsal sınırlamaların olmayışı her yerde üretim yapabilme kolaylığı sağlamakta, karbon ayak izi düşürülerek çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir.

	GUÇLU YÖNLER	ZAYIF YÖNLER	FIRSATLAR	TEHDİTLER
PROJELENDİRME	Hızlı üretim, kolay stoklanabilirlik, yerel fabrika, işçilerin yerel olarak bulunması	Küçük ölçekli, yüksek üretim, tutarlı kalite, farklılıklar, çeşitlilik, yenilikçi	Yerinde üretim ortamı, hava temizliği, yerel üretim, ucuz, uygunluk	Yerel üretim ortamı, hava temizliği, yerel üretim, ucuz, uygunluk
THE FIBER FIBER	Hızlı üretim, yerel üretim, işçilerin yerel olarak bulunması, yerel fabrika, işçilerin yerel olarak bulunması	Hızlı üretim, yerel üretim, işçilerin yerel olarak bulunması, yerel fabrika, işçilerin yerel olarak bulunması	Yerinde üretim ortamı, hava temizliği, yerel üretim, ucuz, uygunluk	Yerel üretim ortamı, hava temizliği, yerel üretim, ucuz, uygunluk
NEÇİM	Hızlı üretim, yerel üretim, işçilerin yerel olarak bulunması, yerel fabrika, işçilerin yerel olarak bulunması	Hızlı üretim, yerel üretim, işçilerin yerel olarak bulunması, yerel fabrika, işçilerin yerel olarak bulunması	Yerinde üretim ortamı, hava temizliği, yerel üretim, ucuz, uygunluk	Yerel üretim ortamı, hava temizliği, yerel üretim, ucuz, uygunluk
KOMUT	Hızlı üretim, yerel üretim, işçilerin yerel olarak bulunması, yerel fabrika, işçilerin yerel olarak bulunması	Hızlı üretim, yerel üretim, işçilerin yerel olarak bulunması, yerel fabrika, işçilerin yerel olarak bulunması	Yerinde üretim ortamı, hava temizliği, yerel üretim, ucuz, uygunluk	Yerel üretim ortamı, hava temizliği, yerel üretim, ucuz, uygunluk

Şekil 10. Mobilya ve iç mekân tasarımında çevresel sürdürülebilirliğin GZFT analiziyle incelenmesi

Karşılaştırmalı bir bulgu analizi yapılmak istendiğinde HagenHinderdael ve Komut gibi **basit formulu ve sınırlı ürün çeşitliliğine sahip** firmalarda, üretim sürecinin daha kontrollü olduğu; stoklama, kalite takibi ve malzeme yönetiminin görece daha kolay sağlandığı görülmektedir. Bu durum, çevresel sürdürülebilirlik açısından **düşük hata oranı ve minimum malzeme kaybı** gibi avantajlar sunmaktadır. Ancak bu yaklaşım, **ergonomi ve kullanıcı konforu** gibi kriterlerde sınırlılıklar yaratabilmektedir.

Buna karşılık The New Raw ve Nagami gibi **büyük ölçekli, yekpare veya estetik açıdan daha karmaşık ürünler** üreten firmalar; tasarımsal çeşitlilik, estetik değer ve kamusal etki açısından daha güçlü bir potansiyel ortaya koymaktadır. Özellikle Nagami örneğinde görüldüğü üzere, tekil projelerde yüksek miktarda atık plastiğin kullanılması çevresel etkiyi görünür kılmakta ve farkındalık yaratmaktadır. Bununla birlikte bu ölçek ve ürün dili, **stoklama güçlüğü, kırılabilirlik ve üretim süresinin uzaması** gibi dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Bu bulgular, çevresel sürdürülebilirlik açısından **tek bir “ideal” üretim modeli olmadığını**; aksine, bağlama ve kullanım senaryosuna göre farklı ölçek ve ürün dillerinin avantaj ve dezavantajlar barındırdığını göstermektedir.

Bulgular genel olarak robotik 3D baskının olumlu yönlerine işaret etmekle birlikte, bu üretim yönteminin kendine özgü ekolojik maliyetleri de göz ardı edilmemelidir. Robotik sistemlerin yüksek enerji tüketimi, makine üretiminde kullanılan endüstriyel malzemeler, yazılım–donanım entegrasyonu ve bakım gereksinimleri, yöntemin çevresel ayak izini artırabilecek unsurlar arasında yer almaktadır.

Özellikle uzun süreli katmanlı üretim süreçlerinde enerji tüketiminin arttığı; üretim sırasında oluşan teknik arızaların zaman ve enerji kaybına yol açabildiği görülmektedir. Bu durum, robotik 3D baskının çevresel sürdürülebilirliğinin yalnızca malzeme geri dönüşümü üzerinden değil, tüm üretim ekosistemi dikkate alınarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, yerinde üretim olanakları sayesinde taşıma ve depolama süreçlerinin ortadan kalkması; uzun vadede bu ekolojik maliyetlerin bir kısmını dengeleyebilecek potansiyel avantajlar sunmaktadır.

## 8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Plastik kullanımının her geçen yıl arttığı dünyada atık yönetimi temel problematiklerden biri haline gelmiştir. İnşaat sektöründe plastiğin yaygın kullanımı bu alanda çalışanları atıkların değerlendirilmesi konusunda sorumlu kılmaktadır. Geri dönüştürülebilir plastikler tüm plastiklerin % 90-95’ini oluşturmakta, bu oran yeniden değerlendirmeyi kolaylaştırmaktadır.

Plastik, estetik olmayan bir ham madde gibi bilirse de bu çalışmada hem işlevsel, hem sağlıklı hem de sanat/zanaat değeri yüksek çıktılar elde edildiği görülmüştür. Mimar, endüstriyel tasarımcı veya diğer sanatçılar/zanaatkarlarla iş birliği yapıldığında estetik ve özgünlük değeri artırılmış ürünler elde edilmiştir. Ham maddenin renk skalasının genişliği de ürünlerin çeşitliliğini artırmıştır. Çalışmada, robotik 3d baskı yöntemiyle atık plastiklerin iç mimaride ve mobilya üretiminde kullanımının çevresel sürdürülebilirliği olumlu yönde desteklediği görülmüştür. Bununla birlikte üretimin atıkları geri dönüştürmede etkin rol oynadığı sayısal verilerle desteklenmiştir. Sözelimi Nagami adlı şirket yalnızca bir iş için 3,3 ton plastik kullanmış, The New Raw bir mobilyasında 880 kg atık plastikten faydalanmıştır.

Atık plastiğin iç mimaride ve/veya mobilya üretiminde kullanımı bir yandan doğal kaynak kullanımını dengeleyecektir. Böylece sınırlı kaynak olan ahşap, taş gibi malzemelerin kullanımı sınırlandırılırken çelik gibi geri dönüştürülebilir ancak üretim aşamasında çok su tüketilen malzemelerin zorunluluğu/gerekliliği yeniden düşünülecektir.

Çalışmanın en önemli problemlerinden biri 3d robotik kol ile üretim yapmanın ve ömrü biten ürünün yeniden dönüştürülmesinin çevresel sürdürülebilirliği olmuştur. Bulgulardan elde edilen verilere göre atık plastiklerden ürün elde etme aşamasında sıfır atık yöntemi mümkün olabilmektedir. Hatta şirketlerden biri kapalı üretim yoluyla hiç su tüketmeden mobilya üretmişlerdir. Aynı zamanda tüm şirketler elde edilen ürünlerin yeniden dönüştürülebilir olduğunu belirtmişlerdir. Bir diğer sorun ürünlerin stoklanma ve ulaştırılması sorunudur. Robotların taşınabilir olması yerinde üretim yapmayı mümkün kılmış, böylece taşıma esnasında ortaya çıkan çevre tahribatı ortadan kalkmıştır. Aynı zamanda ürünlerin formu ve hafifliği stoklanabilme kolaylığını beraberinde getirmiştir.

İç mekân ve mobilya üretiminde işlevsel, esnek ve estetik tasarımın tüm şirketlerce temel hedef olması da çevresel sürdürülebilirliği desteklemiştir. Ürün çeşitliliği, estetik ve işlevsel olmaları iş birliklerini artırmıştır. Böylece üretimde ve satışta sürdürülebilirlik sağlanmış ve farkındalık yayılmıştır.

Tüm şirketler için ortak güçlü yönlerin işlevsellik, yerel ham madde kullanımı, yeniden dönüşüm ve karbon ayak izini düşürme olduğu görülmüştür. Ortak zayıf yönler katmanlı veya komplike tasarımda üretim hızının düşmesi olabilmektedir. Basit tasarımlarda ise hatanın yüzeyde kolay görünür olması zayıf yönler arasında sayılmaktadır. Ancak şirketler kusuru özgünlük olarak savunup bunu fırsata çevirmişlerdir. Ortak fırsatlar arasında çevresel sürdürülebilirliği destekleyen en güçlü madde mekânsal sınırlamaların olmayışıdır demek hatalı sayılmaz. Yerinde üretim taşımacılıkla meydana gelen çevre tahribatını önemli ölçüde önleyecektir.

Ortak tehditler ise yazılım-donanım uyumsuzlukları ve mekanik arızalar olmuştur. Yazılım ortamında tasarlanmış ürün ile robotik koldan çıkmış ürün zaman zaman birbirini tutmayabilir. Ancak özgünlük değeri atfedilerek tehditler fırsata çevrilebilmektedir. Müşterinin, kendi için üretilmiş biriciklik değeri yüksek olan (kusurlu da olsa) ürünü satın alması bu yolla mümkün olabilmektedir. Olası bir elektrik kesintisi de üretimi durduracak ve uzun vadede süreyi uzatmış olacaktır. Ergonomik olmayan formlarla oturma işlevi için tasarlanan mobilyalar da sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Bu da TWINE modülü için bir tehdit unsuru olarak görülmüştür. Çalışmada, atık plastiğin 3d robotik kol ile iç mimaride veya mobilya üretiminde kullanımının çevresel sürdürülebilirlik bağlamında büyük oranda destekleyici sonuçları olduğu görülmüştür. Ancak çevre tahribatını önleyen, doğal kaynak kullanımını destekleyen bu yöntemin de açıkları olabileceği sonucuna varılmıştır. Öneriler bölümünde, çevresel sürdürülebilirliği tüm parametreleriyle desteklemek adına, seçilen materyaller ve bundan sonra üretime katılacak tüm ofisler için tavsiyeler yazılmıştır.

### **8.1. Öneriler**

Ürünlerin işlevsel olması kadar ergonomik olması da çevresel sürdürülebilirlik açısından önemlidir. İnsan sağlığını olumsuz etkileyecek tasarımlar, çevrenin başat aktörlerinden olan insanın varlığını, böylece ekolojik zincirdeki diğer unsurları da olumsuz yönde etkileyecektir. Bu nedenle oturma işlevine yönelik mobilyalar tasarlanırken ergonomi faktörü unutulmamalıdır. Ham madde kullanımında yerellik faktörü önemlidir. Farklı bölgelerden atıkların uzak yerlerde toplanması o bölgede plastiğin dönüşümüne katkı sağlamış olsa da ulaşımda artan karbon ayak izi sürdürülebilirliği olumsuz yönde etkileyecektir. Bu nedenle yerinde üretim ve yerel ham madde kullanımı desteklenmelidir.

Ürün çeşitliliği ve özgün tasarımın yaygınlaşması için tasarımcılarla olan iş birlikleri artırılmalıdır. İş birlikleri pazarlamanın sürdürülebilirliğini de destekleyecektir. Hatta belki üniversitelerin endüstriyel tasarım, iç mimari ve çevre tasarımı gibi bölümünde okuyan öğrenciler ve danışmanlarıyla bu çalışmalar desteklenebilir. Ham madde olarak üniversitelerde birikmiş atık plastikler kullanılabilir.

Stoklama ve ulaştırma sorunlarına çözüm olarak, belli merkezlerde 3d robotik kol satın alımı ekonomik olarak desteklenmelidir. Böylece yerel merkezlerden dağıtım daha az maliyetli ve ekolojik olacaktır. İlerleyen zamanlarda üretim yapan robotların da çevresel sürdürülebilirliği tartışılabilir. 3d robotik kolların ve diğer baskı robotlarının yeniden kullanılabilir ve çevreye duyarlı modelleri piyasada bulunmaktadır. Bu robotların kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte tüm öneriler dikkate alındığında çevresel sürdürülebilirlik yüzde yüze yakın oranda desteklenecektir.

## KAYNAKÇA

- Ardi, S. M., Arda Büyüktaşkın, H. A. (2019). *Katı Atıkların Değerlendirilerek Yapı Malzemeleri Üretiminde Kullanılma Olanakları Üzerine Bir İnceleme*, 10. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi (UKAY'2019), Çanakkale, Türkiye.
- Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (1991), *Ortak Geleceğimiz (Çev. Belkıs Çirakçı)*, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, Ankara.
- Brell-Cokcan, S., Braumann, J. (2010). *A New Parametric Design Tool for Robot Milling*, ACADIA 2010 içinde, 357-363.
- Bulhaz, Ç. (2020). Sürdürülebilirlik Kavramının İç Mimarlık Açısından Değerlendirilmesi, *Online Journal of Art and Design*, 8(3).
- Çiğın, A., Yamaçlı, R. (2020). Doğal Enerji, Sürdürülebilir Kalkınma ve Mimarlık Politikaları, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1): 554-571.  
doi: 10.29130/dubited.603746
- Demirarslan D., Demirarslan K. O. (2017). Çevre Koruma Bilinci Bağlamında İç Mekânın Tasarımında Disiplinler Arası Bir Yaklaşım: İç Mimarlık ve Çevre Mühendisliği İlişkisi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 3(2): 112-128
- Demirarslan, D., Güneş, S. (2020). Sürdürülebilirlik ve Mobilya Tasarımında Çevreci Yaklaşımlar, *Uluslararası İnsan ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 5(6): 81-99.
- Ekoyapı (2019). Erişim (11.02.2025): <https://www.ekoyapidergisi.org/geri-donusturulmesi-en-kolay-olan-malzemeler-nelerdir>
- European Commission. (2020). Erişim (11.02.2025): <https://ec.europa.eu>
- Germain, A. (2010). The Social Sustainability of Multicultural Cities: A Neighbourhood Affair?, *Belgian Journal of Geography*, 4 (2002): 377-386.
- İmert, H (2023a). Deneysel Mimarlık Üretiminde İnsansız Hava Araçlarının Rollerini, *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 6(1): 51-61
- İmert, H (2023b). Robotik İmalat Sürecinde Bir Eşik: ICD/ITKE Biyomimetik Araştırma Pavyonları, *Ege Mimarlık Dergisi*, 2023/3 (119), (68-73).
- İmert, H. (2023c). Sürdürülebilir Kent Mobilyası Üretiminde Robotik 3D Baskı: Şehrini Yazdır Projesi Örneği. *Tasarım Mimarlık Ve Mühendislik Dergisi*, 3(1), 22-34.  
<https://doi.org/10.59732/dae.1208276>
- MEGEP (2006). *Plastik Teknolojisi Geri Dönüşüm Makinelerinde Üretim-I*, Erişim adresi: <https://www.megep.meb.gov.tr>
- OECD (2022). *OECD Work on Plastics*, Erişim adresi: <https://www.oecd.org/environment/plastics/>

- Okatan, A. (2022). Erişim (11.02.2025): <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/plastikler-nasil-geri-donusturulur>
- Robinson, R. (2008). Studies Low Temperature Self Reduction of By-products from Integrated from and Steel Making, *Doktora Tezi*, Lulea Teknoloji Üniversitesi Kimya Mühendisliği ve Yerbilimleri Bölümü, İsveç.
- Ryan, P.G. (2015). A brief history of marine litter research. In: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham, 1–25.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_1).
- Sev, A., Görgülü, C. (2012). Malzemede Yeşil Alęı ve Beton Örneği, *Mimarlıkta Malzeme Dergisi*, 21: 40-48.
- Sormunen, P., Kärki, T. (2019). Recycled Construction and Demolition Waste as a Possible Source of Materials For Composite Manufacturing. *Journal of Building Engineering*, 24.
- Subaşı, S. (2022), Sürdürülebilir Kentsel Korumanın Mimarlık Pratikleri Perspektifinden Değerlendirilmesi: Rami Kışlası Örneği, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Subaşı, S. (2024). Başakşehir Millet Bahçesi'nin Sürdürülebilir Peyzaj Tasarımı Kriterleri Bağlamında Değerlendirilmesi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29(3): 985-997.
- Taşçı, H. (2012). Toplumsal Sürdürülebilirlik Bağlamında Kentsel Ayrışma, Kapalı Konut Siteleri veya Sivil Lojmanlar Sorunu. F. Yıldız, ve Ü. G. (Ed.) içinde, *1. Türkiye Lisansüstü Çalışmalar Kongresi Bildiriler Kitabı* (s. 7-22), Konya.
- The United Nations (1996), Conference on Human Settlements (Habitat II), *Habitat Agenda: Goals and Principles: 29*, Istanbul.
- 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
- URL-1: HagenHinderdael. (2021). Erişim Tarihi: (11.02.2025) <https://www.hagenhinderdael.com>
- URL-2: The New Raw. (2022). Erişim Tarihi: (11.02.2025) <https://www.thenewraw.org>
- URL-3: Nagami. (2018). Erişim Tarihi: (11.02.2025) <https://www.nagami.design>
- URL-4: Komut. (2022). Erişim Tarihi: (11.02.2025) <https://www.komut.studio>