



# Üç Boyutlu (3D) Yazıcılarda Sürdürülebilir Malzeme Olarak Ahşap ve Proses Atıklarının Kullanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Özgür Cengiz<sup>1\*</sup>, Şükriye Aktepe<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-8075-7470), ocengiz1@gmail.com

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sanat ve Tasarım Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3967-446X), sukriyeaktepe@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 18 Nisan 2022 ve Kabul Tarihi 29 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1105071)

**ATIF/REFERENCE:** Cengiz, Ö. & Aktepe, Ş. (2022). Üç Boyutlu (3D) Yazıcılarda Sürdürülebilir Malzeme Olarak Ahşap ve Proses Atıklarının Kullanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 143-150.

## Öz

Üç boyutlu (3B) yazıcı teknolojisi gün geçtikçe gelişmektedir. Yazıcılardaki teknolojinin ya da başka bir deyişle eklemeli üretim teknolojisinin son yıllarda hızlı büyümesi ile birlikte yazıcılarda kullanılan malzemeler için alternatif çalışmalar yapılmaktadır. Bununla birlikte, farklı malzemeler ile 3 boyutlu yazıcılarda, farklı kullanım alanları için üretimler yapılabilmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan malzemeler, sürdürülebilirlik potansiyeli ve yüksek maliyetleri bakımından değerlendirildiklerinde, alternatif ve yardımcı malzeme kullanım olanaklarına dönük çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Yaygın olarak kullanılan bu malzemelere alternatif olarak, atık malzemelerin kullanılabilirliği ve kullanılan bu malzemeler ile hem döngüsel ekonomiye hem de üretimdeki maliyetin düşmesine katkı sağlanabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada, 3 boyutlu yazıcılarda katkı maddesi ya da filament olarak kullanılabilir; endüstriyel kullanımı yaygın olan bir malzeme olarak ahşap ve üretim atık malzemesi olarak talaş değerlendirilmiştir. Sürdürülebilir bir malzeme olması bakımından avantajlı olan talaş, aynı zamanda yazıcılarda katkı maddesi olarak da kullanım potansiyeline sahiptir. İncelenen araştırmalarda görüldüğü üzere, talaş malzemesi ile farklı kullanım alanları için yaratıcı tasarımlar yapılmıştır ve denemeler değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre kullanım alanları yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda, alternatif bir malzeme olarak ahşap ve talaş malzemelerinin üç boyutlu yazıcılarda tasarım denemeleri ve üretilen objelerin nihai kullanım olanakları tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilirlik, Ahşap, Ahşap işleme, Ahşap tozu, Talaş, 3 Boyutlu (3D) Yazıcı, Filament.

## Evaluation of the Potentiality of Wood and Processing Dust as Sustainable Raw Materials for 3 Dimensional (3D) Printers

### Abstract

Three-Dimensional (3D) printing technology is constantly evolving. Recently, several alternative studies are being conducted for the materials used in 3D printers with the growth of technology in additive manufacturing. On the other hand, different materials for different applications could be produced by means of 3D printers. While focusing the materials that are widely used today are evaluated in terms of their potential of sustainability and high costs, several studies addressing the possibilities of alternative and additive material utilization possibilities are being carried out. As an alternative to the mentioned materials which are commonly used, it is thought that several waste materials can be used and that the utilization of these materials provides a contribution to the circular economy as well as the cost-effective production. In this study, two materials which have widespread industrial scale were evaluated for 3D printing applications; wood material that can be used as an additive or a filament in 3D printers and sawdust as a waste material obtained from production processes. Sawdust, which is advantageous in terms of being a sustainable material, also has the potential to be used as an additive in printers. It was observed that several creative designs for different areas of use have been made using sawdust material and the experiments have been evaluated. According to the results of the evaluated studies, the utilization areas of the materials were assessed. As a result of this study, design experiments of wood and sawdust as alternative materials in 3D printing applications and the utilization possibilities of the manufactured objects were discussed.

**Keywords:** Sustainability, Wood, Wood processing, Wood dust, Sawdust, 3D printer, Filament

\* Sorumlu Yazar: Ö.Cengiz, [ocengiz1@gmail.com](mailto:ocengiz1@gmail.com); [ocengiz@aku.edu.tr](mailto:ocengiz@aku.edu.tr)

## 1. Giriş

Üç boyutlu yazıcı (3D printer) teknolojileri günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır (Wimmer ve ark., 2015). Bilgisayar ortamında tasarlanan farklı ihtiyaçlara cevap veren objeler üç boyutlu yazıcılar ile basılabilmektedir. Baskı kolaylığı, özgün tasarım ve ekonomik açıdan değerlendirildiğinde üç boyutlu yazıcılara ilgi giderek artmaktadır (Conner ve ark. 2014). Üç boyutlu (3D) yazıcılarda basılacak objenin işlevine göre farklı malzeme alternatifleri bulunmaktadır. En yaygın kullanılan malzemeler ise Akrilonitril bütadien stiren (ABS, Acrylonitrile Butadiene Styrene) ve Polilaktik Asit (PLA, Polylactic Acid) malzemelerdir (Bulanda ve ark., 2020). Kullanılan malzemele rin üretilmesi sırasında doğaya zarar vermesi, yazıcıda baskı alınırken oluşan atıklar göz önüne alındığında farklı malzemeler veya farklı ek malzemeler kullanılması gündeme gelmektedir. Yenilenebilir malzemeler üzerinde çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda ahşap; doğada bulunan ve yenilenebilir bir malzemedir. 3D yazıcılarda ahşap ve talaş kullanılarak çeşitli özgün tasarımlar ve bazı deneyler yapılmış ve yapılmaya da devam edilmektedir. 3D yazıcılarda ahşap ve talaşın kullanımıyla çevre dostu tasarımlar gerçekleştirilmektedir. Plastik ve biyopolimer malzemelerin kombinasyonları üç boyutlu yazıcılarda üretilen objelerin maliyeti yüksekti ve daha malzeme üretimi aşamasında doğaya zarar vermeye başlamaktadır (Kariz ve ark., 2015). Ahşap ve talaşı üç boyutlu yazıcıda malzeme olarak kullanmak için öğütme işlemi yapılmakta ve ahşap veya talaş ince bir toz haline gelmektedir. Ardından bir toz haline getirilen malzeme bir bağlayıcı malzeme ile karıştırılmaktadır. Kullanılan bağlayıcı malzemeler yapıştırıcılar, plastikler, alçı, selüloz, çimento ve sodyum silikat olarak belirlenmiştir. Farklı filament malzemelerin kullanımı ile de yine farklı formlarda objeler tasarlanıp yazıcılarla basılabilmektedir. Ahşap ve talaşın üç boyutlu yazıcılarda malzeme olarak kullanılması Şekil 1 de gösterilmektedir (Das ve ark., 2021). 3D yazıcı teknolojisi son çeyrek asırda hızla ilerleme göstermektedir. Farklı kullanım alanlarına olanak tanınması nedeni ile malzeme seçimi aşamasında ahşap bazı malzemelerin ve üretim atıklarının değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Küresel iklim ve çevre kirliliği sorunları değerlendirildiğinde, hammadde temini ile başlayan üretim sürecinde ilk aşama olarak malzeme seçiminde, sürdürülebilir ve temiz üretim hedeflenmelidir. Bu amaç doğrultusunda için çevresel faktörler de göz önünde bulundurulularak malzeme seçimi yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, üç boyutlu (3D) yazıcılarda katkı maddesi olarak veya filament olarak kullanılabilir; endüstriyel kullanımı yaygın olan bir malzeme olarak ahşap ve üretim atık malzemesi olarak talaş değerlendirilmiştir. Sürdürülebilir bir malzeme olması bakımından avantajlı olan talaş, aynı zamanda yazıcılarda katkı maddesi olarak da kullanım potansiyeline sahiptir. İncelenen araştırmalarda görüldüğü üzere, talaş malzemesi ile farklı kullanım alanları için yaratıcı tasarımlar yapılmıştır ve denemeler değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre kullanım alanları yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda, alternatif bir malzeme olarak ahşap ve talaş malzemelerinin üç boyutlu (3D) yazıcılarda tasarım denemeleri ve üretilen objelerin nihai kullanım olanakları tartışılmıştır.

## 2. Sürdürülebilir Malzemeler

### 2.1. Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik kavramı; beşeri, sosyal ve küresel düzeyde 21. yüzyılın en önemli fikirlerinden birini oluşturmaktadır. Demokrasi ve küreselleşme gibi yaygın, tartışmaya açık ve vazgeçilmez bir kavram olan sürdürülebilirliğin, sürekli genişleyen bir alana sahip olması tanımlamasını güçleştirmektedir. Türkçede 'sürdürmek, devam ettirmek, desteklemek, çekmek' anlamlarına gelen 'sustain' kelimesinin kökeni, Latince 'sub-aşağıdan, alttan' ve 'tenere-sahip olmak, tutmak' kelimelerinin birleşiminden meydana gelen 'sustinere-aşağıdan desteklemek' kelimesine dayanmaktadır. Oxford sözlüğünde; 'belirli bir oranın veya düzeyin devam ettirilebilme becerisi' ve 'ekolojik dengenin sürdürülmesi için doğal kaynak tüketiminden kaçınılması' şeklinde sürdürülebilirliğin kelime anlamına yer verilmiştir (Akpulat, 2019). Tam olarak kabul edilmiş ve kesin olarak ifade edilmiş bir tanım olmamakla birlikte 'sürdürülebilirlik'; "Ekonomik refah, sosyal gelişim ve çevresel koruma faktörlerinin entegrasyonu yolu ile günümüz ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarının karşılanması anlamına gelir" (GoVA'dan aktaran Van-Berkel, 2006).

Malzeme bilimleri ve teknolojilerine uygulandığında iki kapsayıcı sürdürülebilir malzeme hedefi değerlendirilmektedir;

- I. Detoksifikasyon: Terim, toksikolojiden türemekte ve ürünlerde ve süreçlerde kullanılan malzemelerin toksik özelliklerin azaltılmasını açıklamaktadır. Bu, bir proseste veya üretimde kullanılan toksik maddelerin hacminin azaltılmasıyla gerçekleştirilebilir. Bunun için toksik yerine daha az sağlığa zararlı malzemeler kullanmak, kimyasallar veya malzemelerin toksisitesini değiştirmek, toksik özelliklerin kimyasal değişiklikler yolu ile azaltılması veya ortadan kaldırılması gerekmektedir.
- II. Kaydileştirme (Dematerialisation): Bu kavram, yakın geçmişten günümüze toplumdaki kaynak akışını inceleyen endüstriyel ekolojide meydana gelen gelişmelerden türemiştir. Kullanılan malzemenin her bir üniteden elde edilen hizmet yoğunluğunun artırılması anlamına gelmektedir. Malzemelerin geri dönüşümü (recycling), yeniden kullanılması (reusing) veya kullanılan ürünlerin yeniden tasarlanması ile elde edilebilir. Bu şekilde yeniden tasarımda daha az malzeme kullanımı mümkün olabilir veya malzeme yoğun ürünlerde malzeme dışı ikameler ile hizmet sağlanabilmektedir (Van-Berkel, 2006).

#### 2.1.1. Sürdürülebilir Malzeme olarak Ahşap ve Kullanım Alanları

Malzeme ve ham madde seçimi en önemli kriterlerdir. Zaten sınırlı olan doğal kaynakların varlığının krize girmesi malzemelerin yeniden kullanımı sayesinde engellenebilecektir. Bu daha fazla bir maddi külfet getirebilir ama önemli olan gelecekte bu rezervlere ihtiyacımız olduğu ve ayrıca değerlendirilmeyen bu malzemenin atık durumuna düşeceği ve bunun da çevre kirliliğine yol açacağıdır. Malzeme belirlerken önemli olan malzeme hakkında gerekli bilgiyi edinip tasarım yapılması ve maliyet kaybı ile çevre ve insan sağlığına olan etkilerini göz ardı etmeksizin seçim yapılabilmesidir. Sağlık ve kirlilik açısından yapı endüstrisinde oluşan riskler şu şekilde

belirtilebilir (Pearson'dan aktaran Çakmaklı ve Demirebilek, 1999:3);

- i. İnşa sırasında özellikle zehirli ve tehlikeli malzemelerin kullanımı,
- ii. Yok edilme sırasında atık malzemelerin yakılması ve tehlikeli gazların açığa çıkması,
- iii. Bina yaşayanları için kötü iç mekan kalitesi,
- iv. Yer altı ve yer üstü suları kirlenmesi

Ahşap malzemeler, çelik ve çimento bazlı yapı malzemelerine göre daha az enerji tüketimi sağlamaktadır (Çankal ve Şakar, 2021). Ayrıca ahşap; doğal ve yenilebilir bir kaynaktan elde edilebilen, üretim sürecinde düşük karbon emisyonu olan ve az enerji gerektiren sürdürülebilir bir yapı malzemesidir. Sürdürülebilirliğinin devam ettirilebilmesi için, alternatif odun kaynaklarının kullanılması, kompozit ahşap üretiminde atıkların değerlendirilmesi, bilinçli ağaç kesimi ve doğru ağaçlandırma çalışmaları önemlidir (Bingeli'den aktaran Çankal ve Şakar, 2021). Bu kapsamda, çevresel etki değerleri dikkate alındığında, ahşap malzemelerin, tasarımda yaygın olarak kullanılabilirliği söz konusudur. Ancak, ahşap proses atıklarının veya üretim atıkları olan ahşap tozu veya ahşap talaşının da doğru orantılı olarak artmakta olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu doğrultuda, sürdürülebilir bir tasarım sürecini yönetebilmek, malzeme kullanımının azaltılması yanında, atıklarının da yeniden kullanılabilir olarak üretime dahil edilmesi gerekliliği güncelliğini korumaktadır.

### 2.1.1. Ahşap Proses Atıklarının Kullanımı

Tehlikeli atık sınıflandırmasına göre ağaç işlemeden ve sunta ve mobilya imalatından kaynaklı atıklar, muhtemel tehlikeli atık sınıfında değerlendirilmektedir (ÇŞB, 2012). Bu kapsamda, ahşap atıkların toksik özelliklerinin bertarafı amacı ile dönüştürülerek farklı tasarımlar için hammadde olarak kullanım olanaklarının çalışılması ve yorumlanması gerekmektedir.

Ahşap atık malzemelerin katı içerik dönüştürme katsayısı 0,4-0,65 aralığındadır (ÇŞB, 2012). Buna göre, ahşap üretim atığı malzemelerin dönüştürülebilirliği; diğer yapı malzemelerinin üretim atıklarına kıyasla görece yüksektir. Bu doğrultuda, yeni tasarımların ve üretim denemelerinin gerçekleştirilmesi; dördüncü endüstri devrimini ile birlikte günümüz dijital üretim teknolojilerinin kullanımı ile geliştirilmesi gerekmektedir.

Farklı kullanım alanı olan malzemelerden olan ahşap ve türevleri, kaynağından itibaren değerlendirilmektedir. Elde edilen ahşap ürün öncesi kullanılan odun ve proses atıkları olan odun unu, dolgu maddesi ve güçlendirici malzeme olarak görev yapmaktadır. Plastiklerin çeşitli odun unu ya da lignoselülozik liflerle farklı oranlarda karıştırılarak şekillendirilmesiyle elde edilen ürünler Ahşap Plastik Kompozit (APK) olarak adlandırılmaktadır. APK üretiminde uygulama yerine bağlı olarak odun unu, bıçkı tozu, küçük yonga, lif ya da özel işlem görmüş atık kâğıt %10 ile %70 oranları arasında kullanılabilir. APK üretimi ekstrüzyon, enjeksiyonlu kalıp, sıcaklıkla şekillendirme ve sıcak pres gibi plastik işleme endüstrisinde kullanılan plastik teknolojisiyle yapılabilmektedir. APK, plastik ve ahşap atıkların değerlendirilmesi açısından çevresel problemlerin çözümüne katkı sağlamakla beraber birçok endüstriyel alanda kullanılması sebebiyle önemli bir malzeme dir. Özellikle *deck* ve dış cephe kaplaması başta olmak üzere teraslar, çitler, bahçe mobilyaları, peyzaj aksesuarları, kapı ve pencere

doğramaları, otomotiv, iç mekân parçaları, güverte yapımı, müzik ve spor aletleri yapımı ve çeşitli kişisel kullanım malzemeleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Avcı, 2015).

Bir diğer atık türü otomotiv, gıda, ilaç ve matbaa sektörlerinde kullanılan bir ambalaj atığı olan ahşap paletlerdir. Kesilen her üç ağaçtan biri ahşap palet imalatı için kullanılmaktadır. Bu atığın yüzde yüz doğal olması nedeniyle kaynak tüketimini azaltmak açısından geri dönüşümü önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Paletler geri dönüşüm tesislerinde çeşitli işlemlerden sonra hammadde haline getirilerek yeniden üretime dâhil edilebildiği gibi, işlemlerden geçmeden tekrar kullanım bağlamında park, çocuk oyun alanı gibi kamusal mekânlarda kent mobilyası olarak değerlendirilebilmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmalarda atık malzemelerin tekrar kullanımı ile gerçekleştirilen örnekler incelendiğinde modüler, düşük maliyetli, sürdürülebilir malzemeler kullanıldığından sürdürülebilir, çevreye dost yapı ve kamusal mekânların yaratıldığı, atık miktarının azaltılmasına da katkıda bulunduğu görülmektedir (Tandoğan, 2018).

Dolgu malzemesi olarak kullanılan bir başka ahşap üretim atığı, odun talaşı olarak adlandırılır. Odun endüstrisi atıkları, tane boyutlarına göre sınıflandırılmaktadır. Bu malzemeler, ahşap esaslı kompozit üretiminde değerlendirilmektedir.

Katkı malzemesi veya dolgu malzemesi olarak kullanılan ahşap kökenli malzemelerinin türü ve miktarı, uygulanan basınç ve sıcaklık gibi üretim koşulları ve yapıştırma amaçlı kullanılan tutkal türü gibi faktörler, üretilen ahşap kompozit levhaların özelliklerini, mekanik dayanımını, nerede ve hangi amaçla kullanılacağı etkileyen temel parametrelerdir. Bu levhaların geri dönüşümlü ve ekolojik malzemelerden üretilmesi; işleme ve taşıma kolaylığı, üretim maliyetlerinin düşük olması; yeterli direnç özelliklerine sahip olmaları ve çevreye zararlı olmamaları gibi nedenler, atık potansiyeli yüksek olan bu malzemelerin değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır (Kaya, 2017).

## 3. Üç Boyutlu (3D) Yazıcı İle Üretim

### 3.1. Katmanlı Üretim Teknolojisi

Dördüncü Endüstri Devrimi, önceki sanayi devrimlerinden farklı olarak teknoloji sanayinin önüne geçerek; endüstrileşmeye ve yeni iş modelleri, ürün hizmet modelleri, örgütsel yapılar kazandırmaya başlamıştır. Endüstri 4.0'ın temel bileşenlerinden biri de katmanlı üretimin gerçekleştirilmesine imkân tanıyan 3 boyutlu yazıcı teknolojisi dir. Bu teknoloji, geleneksel yöntemle yapılan üretime kıyasla maliyet ve üretim hızı açısından daha avantajlıdır. Uluslararası Eklemeli İmalat Komitesi, eklemeli imalatı; 'talaşlı imalat yöntemlerinin aksine, genellikle 3 boyutlu (3B) model verilerden nesnelere yapmak için malzemeleri katman katman birleştirme' olarak belirtmişlerdir. Katmanlı imalat da bu kelime ile aynı anlamda kullanılmaktadır (Wohlers'den alıntılan Çelebi ve Seziş, 2019). Günümüzde üç boyutlu yazıcılar (3D) evlerimizde dahi kullanılabilir, kendi tasarımlarımızı, ihtiyaç duyduğumuz parçaları ve birçok ürünü üretmemize imkân sağlamaktadır (Akbaba ve Akbulut, 2021). Katmanlı imalat yöntemi, ürün için geleneksel yöntemin sağlamadığı tasarım optimizasyon özgürlüğünü sağlamaktadır (Çelebi ve Seziş, 2019). Ayrıca, katmanlı üretim; maliyeti düşük, ulaşılabilir ve sürdürülebilir bir üretim yöntemi olarak yaygınlaşmaktadır.



Eklemeli imalat teknolojileri, masa üstü yazıcılardan, robotik teknolojilere ve vinç benzeri ağır makinelere kadar birçok sistem ile uygulanmaktadır. Farklı amaçlar için geliştirilen 3D yazıcılar, ilgili alanlarda geliştirilen malzemeler ile kısa sürelerde üretim yapabilmektedir (Çalışkan ve Arpacioğlu, 2020). Üç boyutlu yazıcılar, bilgisayar ortamında ihtiyaca uygun olarak tasarlanan objelerin veya ürünlerin basılması prensibiyle çalışmaktadır (Gibson ve ark., 2015). Tasarlanan objeler veya üç boyutlu tarayıcılar ile taranan asıl objenin veya ürünün birebir aynısı baskı alınabilir. Yahut bilgisayar ortamında değişiklikler yapılarak yazıcıda basılacak objenin veya ürünün tasarımı gerçekleştirilir. Hazırlanan objede kullanılacak malzeme seçimi objenin kullanım alanına ve kullanılacak ortamın koşullarına göre belirlenir. Tasarlanan obje veya ürünün, sayısal veri düzeni içeren kodlamaları, dosya olarak bilgisayara gönderilmesi gerekmektedir. Bilgisayar ortamında işlemler tamamlandıktan sonra stereolitografi (STL) veya eklemeli üretim dosyası (AMF) yazıcıya gönderilir ve üç boyutlu yazıcı ile baskı hazırlanır.

Malzeme ekstrüzyonuna dayanan üç boyutlu baskı teknolojisi; filament olarak termoplastik malzemelerin kullanılması ile başlamıştır. Filamentler; bir ekstrüder kafasında ısıtılarak, bir bobinden yazıcıya beslenmektedir. Ekstrüder kafasında eritilen malzeme, nozul (*nozzle*) olarak adlandırılan başlıktan dışarı itilerek yazdırma işlemi başlamaktadır. Ekstrüder kafası bilgisayar ortamında hazırlanan kod ile ilerlemekte ve obje, katman katman basılmaktadır. Üç boyutlu yazıcılarda üretim biçimlerinden en çok tercih edilen yöntemlerden biri katmanlı üretim yöntemi olan FDM (*Fused Deposition Modelling*) eriyik biriktirme modelidir. Farklı malzemelerle de baskı alınabilmektedir. En yaygın kullanılan malzemeler; Akrimonitril Bütadien Stiren (ABS) ve Polilaktik Asit (PLA) olarak kullanımının yanı sıra seramik, beton gibi malzemelerle de baskı alınabilmektedir (PM 2018).



**Şekil 1.** Ahşap ve talaşın 3D yazıcılarda kullanım süreci akışı temsili görüntüsü; Ahşap bazlı malzemelerden 3D yazıcıda üretilen objeler (URL 1).

### 3.2. 3D Yazıcı Teknolojisi ve Ahşap Kullanımı

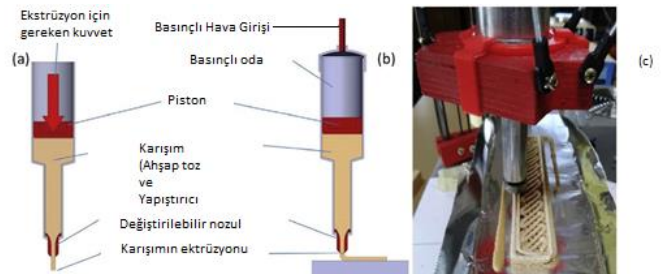
Ahşap ve talaş malzemeler öğütülerek ahşap tozu haline getirildikten sonra bağlayıcı ek malzemeler 3D yazıcılarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda 850 mm altı boyutta ahşap toz parçacıkları kullanılmıştır (Clemons ve ark. 2018). Yapılan farklı çalışmalar ile farklı bağlayıcı maddeleri ile ahşap ve talaşın 3D yazıcılarda kullanım olanakları incelenmiştir.

Kariz ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, bileşen olarak farklı ahşap tozları ve farklı oranlarda bağlayıcıları kullanmışlardır. Basit olarak modellenen blok 3D yazıcıda yazdırma denemelerini gerçekleştirmişlerdir (Şekil 2). Burada

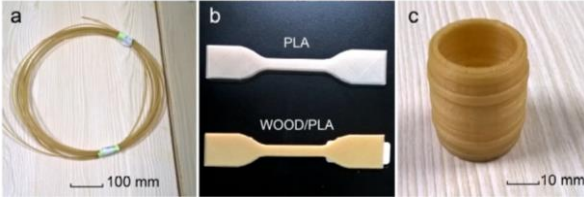
kullanılan modellerin her biri 2 mm kalınlığında olan 4 katmana dilimlenmiştir. Bu şekilde 3D yazıcıda basılan bloklar; sıcak plaka üzerinde iki saat kürlenmeye bırakılmıştır. Standart bir ortamda bir hafta süre ile bekletildikten sonra eğilme testi uygulanan bloklarda, arzu edilen nihai özelliklere ulaşılabilmektedir. Yapılan çalışmanın sonucunda ahşap tozu kullanımının 3D yazıcılarda kullanım denemeleri için uygun olduğu belirlenmiştir. Ancak, yapıştırıcı karışımları üzerine çalışılması gerektiği bazı yetersizlikleri olduğu gözlenmiştir. 3D yazıcı ile basılan basit objeler üzerine yapılan deneyler sonucunda, yapısal olmayan uygulamalar için ahşap tozunun kullanımı uygun bulunmuştur. Ancak, daha geniş bir alanda kullanım için ise uygun teknoloji ile birlikte, 3D yazıcılarda kullanılan hammaddenin optimizasyonu üzerine gerçekleştirilen çalışmaların artırılması gerektiği yönünde değerlendirmelerde bulunulmuştur. Bağlayıcı malzemelerin daha hızlı karışması, sıcaklık ile birlikte eriyen yapıştırıcıların kullanımı ve havadaki nem ile reaksiyona giren yapıştırıcılar veya ikinci bir bileşen ile üretim konularında gelişmelere gereksinim duyulmaktadır (Kariz ve ark. 2015).

PLA malzemesine ağırlık olarak %5 oranında ahşap tozu karıştırılarak filament üretilen bir çalışmada Üretilen malzeme FDM prensibi ile çalışan 3D yazıcıda başarıyla kullanılmıştır (Şekil 3). Araştırmada ham PLA malzemesiyle ahşap tozunun karıştırılması ile üretilen filament, baskı ile üretilen objelerde karşılaştırılmıştır. Ahşap tozu katılarak üretilen filament ile üretilen objede, malzeme kırılmasının mikro yapısal karakteristiği değişmiştir ve kompozitin ilk deformasyon direnci artmıştır. Ayrıca, bozulma sıcaklığı ise bir miktar azalmıştır ve erime davranışı üzerinde hiçbir değişiklik saptanmamıştır. PLA malzemesine ahşap tozunun karıştırılarak elde edilen kompozit filament; FDM yöntemi için 3D yazıcılarda kullanıma uygun bulunmuştur (Tao ve ark. 2017).

Baskı malzemesi olarak ahşap ve talaş kullanılan bir diğer çalışmada, bağlayıcı malzeme olarak alçı, metil selüloz, sodyum silikat ve farklı çimento türlerini kullanarak çeşitli testler yapılmıştır (Şekil 4). Çalışmanın sonucunda, yapısal olmayan uygulamalar için mekanik dayanım, standartlara uygun olarak elde edilmiştir. Yapılan karışımlar ile en iyi sonuç, çimento bağlayıcı malzemesiyle elde edilmiştir. Teknolojik gelişmeler takip edilerek farklı boyutlarda ahşap tozları ve sürdürülebilir bağlayıcı malzemelerle deneylerin yapılması önerilmiştir (Henke ve Treml, 2012).



**Şekil 2.** Test kurulumu; (a) ekstrüzyon kuvvetinin ölçülmesi için hazırlanan ekipman; (b) test kurulumu ile 3D baskı için basınçlı oda; (c) 3D baskı malzemesi olarak ahşap tozu ve yapıştırıcı ile üretim (Kariz ve ark. 2015).



**Şekil 3.** (a) Ahşap bazlı filament; (b) 3D yazıcı ile üretilen WF/PLA kompozit numuneler; (c) FDM 3 boyutlu yazıcı ile yapılmış bir fiç (Tao ve ark. 2017).

Sıvı Biriktirme Modellemesi (*LDM, Liquid Deposition Modeling*) ile yapılan bir çalışmada, 3D yazıcılarda ahşap malzeme kullanımıyla ilgili çalışmaların umut verici olduğu öne sürülmüştür. Çalışmadaki deney objeleri, öğütülmüş kayın talaşından ve suda çözülmüş metilselülozdan yapılmış farklı macun ve benzeri süspansiyonlar içermektedir. Yazıcıda kullanılan malzeme karışımı, yenilenebilir malzemelerden oluşmaktadır. Burada, yazıcıda kullanılmak için üretilen malzemenin üretimini kolay ve ekonomiktir. Bağlayıcı ve karışımlarının çeşitli türleri, çeşitli fiziksel özellikler, su oranı ve farklı ahşap parçacık partikül boyutları incelenmiştir. Mukavemet özellikleri ve boyutsal kararlılık tatmin edici olmasa da araştırma bulguları farklı türde ahşap ile yapılacak çalışmalar için iyi bir temel araştırma ve uygulamadır (Rosenthal ve ark. 2017).

Farklı oranlarda çam talaşı ve polilaktik asitin (PLA) karıştırılmasıyla elde edilen filament, 3D yazıcı kullanılarak deney numuneleri üretilmiştir. Ham PLA ve ham PLA içine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında ahşap talaşı karıştırılarak kompozit filamentler üretilmiştir. Üretilen deneme objelerinin termal, morfolojik ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Mekanik deney objeleri 3D yazıcıda bir sorunla karşılaşmadan basılabilmektedir. Ahşap-PLA karışımından üretilen deney objeleri mekanik deney sonuçlarına göre, ham filamentlerde mekanik dayanım düşük iken; PLA filamentine ahşap talaşı eklendiğinde elde edilen filamentlerde ise mekanik dayanım değerlerinde artış gözlenmiştir. Atık çam talaşının kompozit üretiminde kullanılabilirlik takviye bir malzeme olması ve 3D yazıcıda sorun yaşamadan basılması, olumlu bir sonuçtur. Atık ahşap malzemenin kullanımıyla atık malzemelerin değerlendirilerek yeniden kullanım döngüsüne dahil edilmesi önemlidir (Narlıoğlu ve ark.2021). Ayrıca, ürün kalitesinden ödün verilmeksizin 3D yazıcıdan elde edilen ürünler, yeni nesil üretim tekniklerinin yaygın kullanımına olanak sağlayabilme potansiyeline sahiptir.



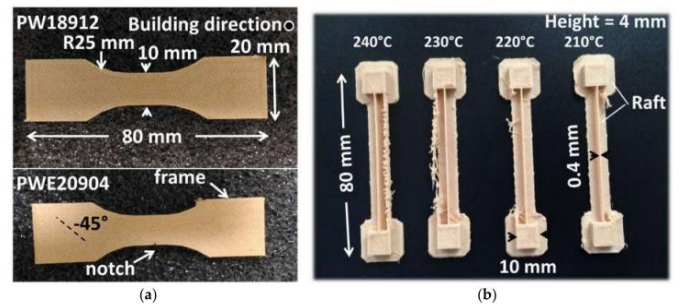
**Şekil 4.** Ladin ve alçıtaşı parçalarından 3D baskı ile oluşturulan kesik koni örneği (Henke ve Treml, 2012).



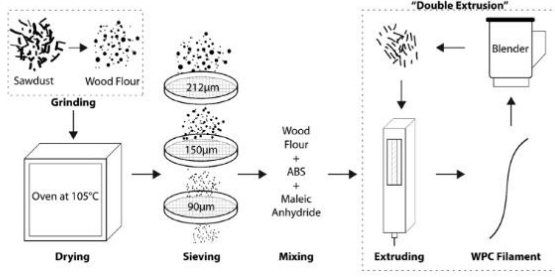
**Şekil 5.** (a) Eğilme numunelerinin basılması; (b) kule şeklindeki 'tower' olarak adlandırılan numunelerin yazdırılarak boyutsal kararlılığı ölçmek için hazırlanan ve kurumaya bırakılan numuneler (Rosenthal ve ark. 2017).

Üç boyutlu yazıcılarda nihai ürünün mekanik performansı, üretim yöntemini belirlemede ve aynı zamanda proses parametrelerinin optimizasyonunda önem taşımaktadır. Bu kapsamda yürütülen bir çalışmada, ahşap bazlı filamentin mikroyapı özellikleri ve mekanik performansı ilişkisi üzerinde durulmuştur. Ahşap bazlı bazı filamentlerin 3D baskı sıcaklıkları 210 °C ile 250 °C aralığındadır. 230 °C'nin üzerindeki baskı sıcaklıklarının, üretilen objenin çekme özelliklerini etkileyebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Nitekim; 210 °C ve 370 °C arasında üretimde, ahşap parçacıkların termal dayanım özellikleri bozulmaya başlamaktadır. Bu çalışmada, 3D baskı için belirlenen üretim sıcaklığının 220 °C olması gerektiği ortaya konulmuştur. Ayrıca, çalışmanın sonucunda ahşap-PLA/PHA'nın kopma davranışının oldukça benzer sonuçlar gösterdiği gözlemlenmiştir (Guessasma ve ark. 2019). Ahşap bazlı filamentler için özelleştirilmiş üretim biçimleri olması gerekmektedir. (

Mimari uygulamalarda kullanılacak ahşap-plastik kompozitlerde (*WPC, Wood-plastic Composite*), 3D yazıcılara uygun filament üretimi için; talaşın nasıl geliştirilmesi gerektiği üzerine bir araştırma yapılmıştır. Avustralya'da sert ağaç olarak bilinen ve yaygın iki türü olan *Red Gum* ve *Gray Box* isimli ham ahşap malzemelerin kullanımı ile farklı içeriklere sahip malzemeler üretilmiştir. Yuvarlak şekillere ve daha pürüzsüz yüzeylere sahip ahşap parçacıklarının daha iyi yapışma özelliğinin olduğu ve 3D yazıcılarla yazdırılan objelerin nihai mukavemetini, sertliğini ve yoğunluğunu arttırdığı öne sürülmüştür. Bu çalışmada, "çift ekstrüzyon" süreci ile üretilen filamentin homojenizasyonu ve 3D yazıcıda kullanımının sağlanabilmesi mümkündür. Ayrıca, WPC filamentlerinin kalite özellikleri üzerinde olumlu etkisi olduğu ifade edilmiştir. Ahşap bazlı malzemelerin sürdürülebilir kullanımı mümkündür. 3D yazıcılarda yazdırılan objelerin sertlik özelliklerini olumlu etkilediği de tespit edilmiştir. Bu çalışma ile tasarım için yeni bir yol önerilmiş ve benzer çalışmalar ile birlikte doğruluk değerinin artması için daha fazla deney objeleri üretilmesi gerektiği ortaya konulmuştur (Huang ve ark. 2021).



**Şekil 6.** (a) Ahşap-PLA/PHA filament kullanılarak yazdırılmış çentiksiz ve çentikli çekme numuneler, baskıdan sonra çentikler açılmış hali; (b) Termal analiz için 3D yazdırılan numuneler ve yazdırma sıcaklıkları (Guessasma ve ark. 2019).



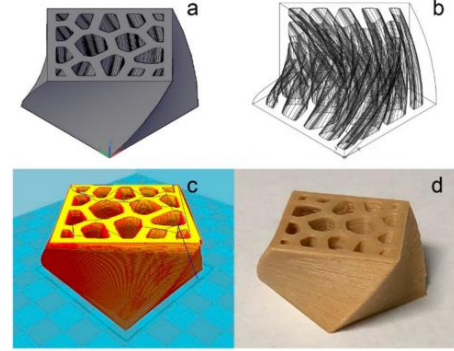
**Şekil 7.** Ahşap-Plastik kompozit (WPC) filament üretim süreci şematik gösterimi (Huang ve ark. 2021).

Kayın ağacından elde edilen kayın ununun kimyasal değişikliğe tabi tutulması ve nişasta ile karıştırılarak çevreye zararlı etkisi olmayan yeniden yapılandırılmış ahşap bir kompozit ürün üretiminin amaçlandığı bir çalışmada; eklemeli imalat yani 3D yazıcılar ile üretilen ahşap kompozitin yapısı makro ve mikro düzeyde ele alınmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda elde edilen kompozit ürün; içeriğindeki hemiselüloz ve nişastanın hidrofilik (suyu seven) özelliklerinden dolayı nem tutma özelliğinin çevresel koşullarla doğru orantılı olarak değişkenlik göstermiştir. Soğuk ekstrüzyon ile üretilen kompozit malzemenin; “Hamur Biriktirme Modellemesi (DDM, Dough deposition Modeling)” ile üç boyutlu yazdırıldığında zayıf çekme mukavemeti değerine sahip olduğu gözlenmiştir (Gardan ve ark. 2016).

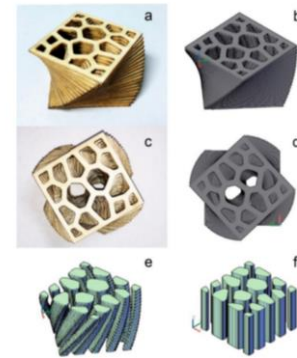
Kavak ağacı esaslı ham malzemeler, 3D yazıcılarda yazdırmaya uygun biyo-bazlı kompozitler üretmek için kullanılmıştır. PLA malzemenin güçlendirilmesi amacıyla birlikte değerlendirilmiştir. Kavak lif boyutunun azalması ile, üretilen kompozitlerin çekme mukavemeti 34 MPa değerinden 54 MPa değerine ulaşmıştır. Lif boyutu düşük (<180 µm) olan lif kullanımı ile üretilen kompozitlerin kırılma yüzeyleri; lif boyutu yüksek kavak lifleriyle yapılan kompozitlere kıyasla daha az boşluğa sahip yani daha yoğundur. Dış yüzeylerinde ise PLA ile kıyaslandığında daha fazla gözenek bulunmaktadır. Kavak, büyük ölçekli 3D yazdırma için termoplastiklere bir takviye olarak kullanım potansiyeline sahip bir malzeme olarak değerlendirilmiştir (Zhao ve ark. 2019).

Eklemeli üretim (AM, Additive Manufacturing) alanında kullanılan ahşap bazlı malzemelerin tane boyutlarının, mikron ölçeğiyle sınırlı olduğu bilinmektedir. Kullanılan eklemeli üretim tekniğiyle birlikte; iri tane boyutuna sahip ahşap malzeme kullanılması günümüzde de geliştirilmesi gereken bir proses olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, gerçekleştirilen bir çalışmada ahşap bazlı objelerin üretimi için bir başka eklemeli üretim tekniği olan “Lazer Kesim Kaplama Laminasyon (LcVL, Laser-cut Veneer Lamination)” kullanılması önerilmiştir. Kontraplak teknolojisi ve “Lamine Nesne Üretimi (LOM, Laminated Object Manufacturing)” tekniği beraber kullanılarak lazer kesim kaplama laminasyonu (LcVL) ile büyük ölçekli, karmaşık geometride ve iç boşluğa sahip ahşap formlar üretilebilmektedir. Lazer kesim kaplama laminasyon (LcVL) yöntemiyle daha büyük katman yüksekliklerine sahip üretimlerde, kullanılan ham malzemenin boyutuna bağlı olarak dolayı diğer eklemeli üretim (AM) teknikleri ile kıyaslandığında

daha sınırlı üretim hatalarıyla karşılaşmaktadır. Aynı zamanda Lazer kesim kaplama laminasyon (LcVL) yöntemi, yeterli ahşap kalınlığına sahip büyük ölçekli ahşap formların üretimi için önerilen bir yöntemdir. Diğer eklemeli üretim (AM) teknikleri ile kıyaslandığında, üretim sırasında daha çok ahşap malzeme ve daha az yapıştırıcı kullanılmaktadır. Lazer kesim kaplama laminasyon (LcVL) yöntemi denemeleri, eklemeli üretimde (AM) kaplama kullanımının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması amacı ile devam etmelidir (Tao ve ark. 2021).



**Şekil 8.** Eklemeli üretim sürecinden bir kesit; (a) tasarlanan objenin 3D-üç boyutlu modeli; (b) tasarlanan objenin ‘tel kafes’ gösterimi; (c) CURA yazılımı ile dilimlenmiş obje; (d) Eriyik yağma modellemesi (FDM, Fused Deposition Modeling) kullanılarak 3Dbasılan obje görseli (Tao ve ark. 2021).



**Şekil 9.** Lazer kesim kaplama laminasyon (LcVL) ürünü ile üç boyutlu modelinin karşılaştırmalı görüntüsü; (a) LcVL ile üretilen objenin ortografik görünümü; (b) objenin üç boyutlu modelinin ortografik görünümü; (c) LcVL objenin üstten görünümü; (d) obje modelinin üstten görünümü (e) objede bulunan boru biçimindeki boşlukların görünümü; (f) objenin üç boyutlu modelinde boru biçimindeki boşlukların görünümü (Tao ve ark. 2021).

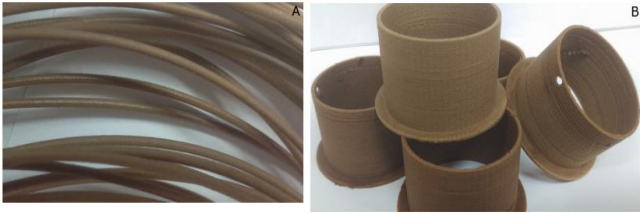
3D yazıcılarda kullanılacak alternatif bir hammadde olarak mobilya üretim ve kullanım atıklarının geri dönüştürülmesinin incelendiği bir çalışmada, PLA ve geri dönüştürülmüş ahşap atık malzeme karıştırılarak  $1,65 \pm 0,10$  mm çapında filament üretilmiştir. Üretilen bu filament ile 3D yazıcılarda deney objeleri yazdırılmıştır. Ağırlıkça %30 ahşap içerikli filamentlerin kullanılabilirlik açısından diğer çalışmalara kıyasla üstün özelliklere sahip oldukları görülmüştür. Mobilya üretim tesis atıklarının miktarı göz önünde bulundurulduğunda; atık ahşap malzemenin dönüştürülerek; 3D yazıcılarda filament halinde kullanılabilmesinin, imalat sektörü açısından önemli bir fırsat olduğu üzerinde durulmuştur (Pringe ve ark. 2018).



Doğal liflerin termoplastiklere katkı maddesi olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır. 3D yazıcılarda kullanılan filamentlerin yapısının güçlendirilerek üretilen objelerin kendi kendilerine bükülebilmelerinin sağlanabilmesi amacıyla filamentlerde doğal lif kullanımı önerilmektedir. Optimize edilerek kullanıma sunulan bir biyokompozit formülasyonu henüz araştırma sonuçlarına göre elde edilememiştir ancak bu konuda denemelere devam edilmelidir (Le Duigou ve ark. 2016).

Ahşap parçalarının ahşap-plastik kompozit (WPC) bünyelerde kullanımı yaygın olarak bilinmekte ve kullanılmakta olduğundan; eriyik yığıma modelleme (FDM) tekniği ile 3D yazıcılarda da kullanılabilecek filamentlerin üretilebileceği öne sürülmektedir. 3D yazıcı filamentleri için ahşap atıklarının kullanımı, ekonomik bir dolgu malzemesi olma özelliği taşımaktadır ve aynı zamanda katma değerli bir takviye malzeme olarak kullanımının artacağı düşünülmektedir.

Ahşap malzemenin su adsorpsiyon ve desorpsiyon özelliklerinden kaynaklanan nihai ürün boyutsal değişiklikleri; şekil değiştiren ve 4D (dört boyutlu) basılan malzemelerde olduğu gibi boyut değişikliği özelliği istenilen alanlarda tercih edilebilir. Bir çalışmada, PLA ile karıştırılarak elde edilen deney numunelerinde, ahşap içeriğindeki artışa bağlı olarak; değişen iklimsel koşullarda boyutsal değişikliklerde de artış olduğu tespit edilmiştir. Araştırma sonucunda, PLA ile atık ahşap malzeme karışımından elde edilen filamentin, 3D yazıcılarda kullanılabilir olduğu değerlendirilmiştir. Ancak, yaygın olarak kullanılabilirlik için; farklı iklim koşullarında tekrarlı denemeler sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek yorumlanmalıdır (Krapež Tomec, 2021).



**Şekil 10.** (a) Geri dönüştürülmüş ahşap mobilya atığı bazlı (WPC) filament; (b) 3D yazıcıda art arda yazdırılmış masa kablosu geçiş parçası (ağırlıkça %30 ahşap bazlı filament) (Pringe ve ark. 2018).

## 4. Sonuç ve Değerlendirme

Sürdürülebilir bir malzeme olarak ahşap hammaddeler, kaynağı olarak erişimi kolay ve maliyeti görece düşüktür. Ahşap atıklarının da bu çalışmalarda kullanılabilirliği tespit edilmiştir. 3D (üç boyutlu) yazıcılar, gelişen teknolojiyle birlikte evlerimizde dahi kullanılabileceğimiz, görece düşük maliyette ve ulaşılabilir bir teknolojik ekipman haline gelmiştir. 3D yazıcılarda düşük maliyet, üretim ve talebin artmasına sebep olmaktadır. Ahşap tozlarının 3D yazıcılarda kullanımı ile sürdürülebilir ve yenilenebilir üretim yöntemlerine yönelim başlamıştır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve öneriler kapsamında; 3D yazıcılarda üretimin gerçekleştirilmesinde kullanılan yardımcı bağlayıcı malzemelerin de sürdürülebilir malzemelerden seçilmesiyle birlikte; çevresel etki de kontrol edilebilir olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca, değerlendirilen çalışmalarda 3D yazıcılarda ahşap tozlarının kullanımı ile yazdırılan objelerde

fiziksel ve mekanik özelliklerde dezavantajlar tespit edilmiştir. 3D yazıcılarda baskı sırasında da teknik zorlukları olsa da 3D yazıcılarda ahşap malzemenin kullanılması yenilenebilir ve sürdürülebilir bir malzeme olarak umut vericidir. Düşük maliyetli ve çevre dostu bir malzeme olması ise büyük önem taşımaktadır. Fakat ahşap malzemenin 3D yazıcılarda kullanılması üzerinde yapılan çalışmalar zaman içinde geliştirilmesi ve farklı bağlayıcı malzemeler ve hatta sürdürülebilir bağlayıcı malzemelerle yapılacak deneyler sonucunda belli standartlara ulaşılması hedeflenmektedir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmanın özeti; *USBK-Uluslararası Uygulamalı Sosyal Bilimler Sempozyumu, İstanbul (10-11.03.2022)* kapsamında sunulmuş ve elektronik özet bildiri kitapçığında yer almıştır. Yazılar, çalışmaları kapsamında, altyapı olanaklarını kullandıkları Afyon Kocatepe Üniversitesi GSF Seramik Bölümüne teşekkür etmektedir.

## Kaynakça

- Akbaba, A.İ., Akbulut, E. (2021). 3 Boyutlu Yazıcılar ve Kullanım Alanları. *ETÜ Sentez iktisadi ve idari bilimler dergisi*, 3, 19-46.
- Akputat, F. (2019). *Sürdürülebilirlik kavramına farklı yaklaşımlar: Üniversite öğrencileri üzerine bir araştırma* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Avcı, E. (2015). Orman tali atıkları kullanılarak elde edilen ahşap plastik kompozitlerin dış mekân mobilyalarında kullanımı. *Selçuk-Teknik dergisi*, 382-394.
- Bulanda, K., Oleksy, M., Oliwa, R., Budzik, G., Gontarz, M. (2020). Biodegradable polymer composites based on polylactide used in selected 3D technologies. *Polimery*, 65(7-8), 557-562.
- Conner, B. P., Manogharan, G. P., Martof, A. N., Rodomsky, L. M., Rodomsky, C. M., Jordan, D. C., Limperos, J. W. (2014). Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services. *Additive manufacturing*, 1, 64-76.
- Clemons, C. M., Caufield, D. F. (2005). Wood Flour. *Functional fillers for plastics*. (249-270) Weinheim: Wiley-VCH.
- Çakmaklı, A. B., Demirbilek, N. (1999). *Sürdürülebilir ve ekolojik yüzey malzemeleri*. Yüzey Sempozyumu Bildiri Kitapçığı, Ankara, Türkiye, 7-9 Ekim 1999.
- Çalışkan, C.İ., Arpacıoğlu, Ü. (2020). Yapı üretiminde eklemeli imalat teknolojilerinin karşılaştırmalı değerlendirmesi. *Uludağ Üniversitesi mühendislik fakültesi dergisi*, 25(2), 1117-1136.
- Çankal, D., Şakar, G. (2021). Sürdürülebilir yapılar için ahşap ve lamine ahşabın lifli polimer (FRP) malzemeler ile güçlendirilmesinin değerlendirilmesi. *Şehir sağlığı dergisi*, 2(2), 99-10.
- Çelebi, A., Seziş, Ü. (2019). Katmanlı imalatta destek yapısının ve konumlandırmanın çarpılma üzerine etkisinin simülasyonlu additive yazılımı ile simülasyonu. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 3(2), 182-188.
- ÇŞB (2012). Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Tehlikeli Atıkların Sınıflandırılması Kılavuzu, Cilt II. Tehlikeli maddeler içeren talaş, yonga, kıymık, ahşap, kontraplak ve kaplamalar. (15-16) Ankara: ÇŞB Yayınları.

- Das, A. K., Agar, D. A., Rudolfsson, M., Larsson, S. H. (2021). A review on wood powders in 3D printing: Processes, properties and potential applications. *Journal of materials research and technology*, 15, 241-255.
- Gardan, J., Nguyen, D. C., Roucoules, L., Montay, G. (2016). Characterization of wood filament in additive deposition to study the mechanical behavior of reconstituted wood products. *Journal of engineered fibers and fabrics*, 11(4), 56-63.
- Gibson, I., Rosen, D., Stucker B. (2015). *Additive manufacturing technologies- 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing*, (147-173). New York: Springer.
- Guessasma, S., Belhabib, S., Nouri, H. (2019). Microstructure and mechanical performance of 3D printed wood-PLA/PHA using fused deposition modelling: Effect of printing temperature. *Polymers*, 11(11), 1778.
- Henke, K., Treml, S. (2013). Wood based bulk material in 3D printing processes for applications in construction. *European journal of wood and wood products*, 71(1), 139-141.
- Huang, Y., Löschke, S., Proust, G. (2021). In the mix: The effect of wood composition on the 3D printability and mechanical performance of wood-plastic composites. *Composites Part C: Open Access*, 5, 100140.
- Kariz, M., Sernek, M., Kuzman, M. K. (2016). Use of wood powder and adhesive as a mixture for 3D printing. *European journal of wood and wood products*, 74(1), 123-126.
- Kaya, N. (2017). Fındık ve çeltik kabukları ve odun talaşı ile takviye edilmiş termoset kompozitlerde reçine türünün fiziksel özelliklere etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Müh. Bilimleri dergisi*, 17, 035701, 1076-1087.
- Krapež Tomec, D., Straže, A., Haider, A., Kariž, M. (2021). Hygromorphic Response Dynamics of 3D-Printed Wood-PLA Composite Bilayer Actuators. *Polymers*, 13(19), 3209.
- Le Duigou, A., Castro, M., Bevan, R., Martin, N. (2016). 3D printing of wood fibre biocomposites: From mechanical to actuation functionality. *Materials & Design*, 96, 106-114.
- Narlıoğlu, N., Salan, T., Alma, M. H. (2021). Properties of 3d-printed wood sawdust-reinforced PLA composites. *BioResources*, 16(3), 5467-5480.
- PM (2018). Process-Make: Introduction to 3D printing – Additive processes, Erişim Tarihi: 04 Ocak 2022, <https://make.3dexperience.3ds.com/processes/binder-jetting>.
- Pringle, A. M., Rudnicki, M., Pearce, J. M. (2018). Wood furniture waste-based recycled 3-D printing filament. *Forest Products Journal*, 68(1), 86-95.
- Rosenthal, M., Henneberger, C., Gutkes, A., Bues, C. T. (2018). Liquid Deposition Modeling: a promising approach for 3D printing of wood. *European journal of wood and wood products*, 76, 797-799.
- Tandoğan, O. (2018). Atık malzemelerin mimaride kullanımı. *Ulusal çevre bilimleri araştırma dergisi*, 1(4), 189-202.
- Tao, Y., Wang, H., Li, Z., Li, P., Shi, S. Q. (2017). Development and application of wood flour-filled polylactic acid composite filament for 3D printing. *Materials*, 10(4), 339-344.
- Tao, Y., Yin, Q., Li, P. (2020). An Additive Manufacturing Method Using Large-Scale Wood Inspired by Laminated Object Manufacturing and Plywood Technology. *Polymers*, 13(1), 144.
- URL 1. Ahşap bazlı malzemeden 3 Boyutlu yazıcıda üretilen objeler, Erişim Tarihi: 04 Ocak 2022, <https://3dprint.com/70787/selective-laser-sintered-wood/>.
- Van-Berkel, R. (2006). Innovation and technology for sustainable materials future. *Materials forum*, 30, 196-211.
- Zhao, X., Tekinalp, H., Meng, X., Ker, D., Benson, B., Pu, Y., Ragauskas, A. J., Wang, Y., Li, K., Webb, E., Gardner, J., Anderson, J., Ozcan, S. (2019). Poplar as biofiber reinforcement in composites for large-scale 3D printing. *ACS Applied Bio Materials*, 2(10), 4557-4570.
- Wimmer, R., Steyrer, B., Woess, J., Koddenberg, T., Mundigler, N. (2015). 3D printing and wood. *Pro Ligno*, 11(4), 144-149.