

# Dijital Çağda Teknoloji Seçimi: Mikro Ölçekli İşletmelerin 3 Boyutlu (3D) Yazıcı Seçim Kararlarında Stratejik Kriterlerin FUCOM Yöntemiyle Önceliklendirilmesine Yönelik Bir Uygulama

Bünyamin Çelebi<sup>1</sup>

Mehmet Aytekin<sup>2</sup>

## Özet

Dijital çağda üretim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, işletmeler açısından teknoloji seçim kararlarını stratejik bir problem hâline getirmiştir. Özellikle mikro ölçekli işletmeler için sınırlı kaynaklar altında doğru teknolojinin seçilmesi, rekabet avantajı elde etme ve üretim süreçlerinin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, mikro ölçekli işletmelerin 3 boyutlu (3D) yazıcı seçiminde dikkate aldıkları stratejik kriterleri belirlemeyi ve bu kriterleri FUCOM yöntemiyle önceliklendirmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda ilk olarak, literatür taraması ve sektörel uzman görüşleri sentezlenerek 3D yazıcı seçim kararlarında belirleyici olan yedi stratejik kriter tanımlanmıştır. Sonraki aşamada 3D yazıcı teknolojisini aktif olarak kullanan 10 mikro ölçekli işletme sahibi ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiş, belirlenen kriterler işletme sahiplerine sunulurken, bu kriterleri önem derecelerine göre sıralamaları talep edilmiştir. Elde edilen veriler FUCOM yöntemi kullanılarak analiz edilmiş olup analiz sonuçları, mikro ölçekli işletmelerin 3D yazıcı seçiminde en yüksek önceliği baskı kalitesi ve boyutsal hassasiyet (1) kriterine verdiğini ve bunu sırasıyla fiyat (2), kullanım kolaylığı ve Wi-Fi bağlantısı (3), baskı hızı ve üretim süresi (4), malzeme ve filament kullanım esnekliği (5), maksimum baskı hacmi

- 1 Arş. Gör., Gaziantep Üniversitesi, İşletme Bölümü, Gaziantep, Türkiye, bunyamincelebi@gantep.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2866-4357
- 2 Doç. Dr., Gaziantep Üniversitesi, İşletme Bölümü, Gaziantep, Türkiye, aytekin@gantep.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5464-0677

ve fiziksel üretim kapasitesi (6) ve atık miktarı (7) kriterlerinin izlediğini göstermektedir. Bu bulgular, mikro ölçekli işletmelerin 3D yazıcıyı maliyet odaklı bir yatırım aracından ziyade, üretim kalitesi ve operasyonel süreklilik sağlayan stratejik bir teknoloji olarak değerlendirdiklerini ortaya koymaktadır. Çalışmanın, mikro ölçekli işletmeler özelinde 3D yazıcı seçim kararlarının çok kriterli bir yaklaşımla ele alındığı sınırlı sayıdaki araştırmaya katkı sunmasının yanı sıra, işletme yöneticileri ve teknoloji sağlayıcılar için karar süreçlerini destekleyici nitelikte çıktılar sağlaması beklenmektedir.

## 1. Giriş

Küreselleşen dünyada yaşanan hızlı teknolojik gelişmeler ile ulusal ve uluslararası ticarete meydana gelen devrim niteliğindeki değişimler, örgütleri değişim ve yenilik kavramları üzerine daha fazla yoğunlaşmaya zorlamış; bu süreçte çağa ayak uydurma çabaları girişimcilik olgusunun önemini belirgin biçimde artırmıştır (Bayar & Yaşar Uğurlu, 2023). Girişimcilik odaklı bu değişim ve yenilik arayışı, dijital çağda teknolojik gelişmelerin hız ve kapsam kazanmasıyla birlikte işletmelerin rekabet koşullarını köklü biçimde dönüştürmüştür. Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki ilerlemeler, üretimden pazarlamaya, tedarik zincirinden karar alma süreçlerine kadar işletmelerin tüm fonksiyonlarını etkilemekte; bu durum işletmeleri dijital teknolojileri daha etkin ve stratejik biçimde kullanmaya yönlendirmektedir (Bharadwaj vd., 2013; Porter & Heppelmann, 2014). Günümüzde işletmeler için dijital teknolojiler yalnızca verimliliği artıran araçlar değil, aynı zamanda sürdürülebilir rekabet avantajı elde etmenin temel unsurları arasında yer almaktadır (Teece vd., 1997).

Dijital teknolojilerin rekabet avantajı sağlamadaki önemi, işletmelerin sektörde varlıklarını sürdürebilmek için değişime uyum sağlayan stratejiler geliştirmelerine ve dijital teknolojilere yönelik yatırım ile kullanım kararlarını daha stratejik biçimde ele almalarına neden olmaktadır (Yaşar Uğurlu vd., 2024). Diğer bir ifadeyle dijital çağda ortaya çıkan teknolojik çeşitlilik, işletmeler açısından önemli bir karar problemini de beraberinde getirmektedir. Çok sayıda alternatif teknoloji arasından hangisinin seçileceği, hangi kriterlerin öncelikli olduğu ve bu seçimin uzun vadeli etkilerinin nasıl değerlendirileceği, özellikle kaynak kısıtı yaşayan işletmeler için kritik bir stratejik eşik haline gelmiştir (Kagermann, 2014). Yanlış teknoloji seçimi; yüksek maliyetler, atıl kapasite ve stratejik uyumsuzluk gibi geri dönüşü zor sonuçlara yol açabilmektedir. Bu nedenle teknoloji seçimi, günümüz işletmeleri açısından yalnızca teknik bir tercih değil, çok boyutlu ve stratejik bir karar süreci olarak ele alınmalıdır (Grant, 2021).

Dijital çağda teknoloji seçimine ilişkin alınan stratejik kararlar, etkilerini en doğrudan biçimde üretim süreçlerinde göstermektedir. Dijitalleşmenin en somut ve dönüştürücü etkilerinin gözlemlendiği alanların başında üretim süreçleri gelmekte; bu durum işletmelerin üretim yapılarında köklü değişimlere yol açmaktadır. Üretim faaliyetlerinde dijital teknolojilerin yaygınlaşması, esneklik, hız, maliyet etkinliği ve kişiselleştirilmiş üretim gibi yeni yaklaşımların ön plana çıkmasını sağlamıştır (Frank vd., 2019). Bu süreçte ortaya çıkan yıkıcı teknolojiler, geleneksel üretim yöntemlerini sorgulamakta ve işletmelerin üretim anlayışlarını yeniden şekillendirmektedir. Christensen (1997) tarafından ortaya konulan yıkıcı teknoloji yaklaşımı, özellikle küçük ölçekli işletme yapıları için bu tür teknolojilerin ölçek dezavantajlarını azaltan stratejik fırsatlar sunduğunu vurgulamaktadır.

Üretim süreçlerinde öne çıkan yıkıcı teknolojilerden biri olan 3 boyutlu (3D) yazıcılar, son yıllarda işletmelerin dikkatini giderek daha fazla çekmektedir. Katmanlı üretim olarak da adlandırılan bu teknoloji; prototipleme, düşük hacimli üretim, kişiselleştirilmiş ürün geliştirme ve hızlı tasarım gibi avantajları sayesinde (Gibson vd., 2015; Gebhardt vd., 2019) özellikle mikro ölçekli işletmeler için stratejik bir üretim aracı olarak değerlendirilmektedir. Geleneksel üretim teknolojilerine kıyasla daha esnek ve erişilebilir bir yapı sunması, 3D yazıcıları mikro ölçekli işletmeler açısından cazip bir teknoloji haline getirmektedir (Rayna & Striukova, 2016). Ancak 3D yazıcı teknolojisinin sunduğu bu avantajlardan etkin biçimde yararlanabilmek, işletmelerin ihtiyaçlarına en uygun yazıcının seçilmesine bağlıdır. Piyasada bulunan farklı modellerdeki 3D yazıcılar arasında işletmenin belirlemiş olduğu kriterlere göre en uygun olanının seçilmesi klasik bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemi olarak ele alınabilir.

Literatür incelendiğinde, 3D yazıcı teknolojilerinin seçim süreçlerine ve bu süreçlerde kullanılan karar verme mekanizmalarına yönelik çeşitli çalışmaların (Çetinkaya vd., 2017; Kabadayı & Dağ, 2024; Tomelleri vd., 2025) olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, mikro ölçekli işletmelerin özgün dinamikleri çerçevesinde teknoloji seçim sürecini etkileyen stratejik faktörlerin tespitine yönelik belirgin bir eksiklik göze çarpmaktadır. Bu durum, söz konusu işletme grubu için özelleştirilmiş karar destek mekanizmalarının geliştirilmesini akademik açıdan bir gereklilik haline getirmektedir. Bu noktadan hareketle çalışmanın amacı, mikro ölçekli işletmelerin 3D yazıcı seçim kararlarında etkili olan stratejik kriterleri belirlemek ve bu kriterleri FUCOM (Full Consistency Method) yöntemi kullanılarak önceliklendirmektir.

Çalışmanın teorik altyapısını oluşturan ilk bölümde; dijital çağda teknoloji seçimi ve stratejik karar alma mekanizmaları, üretim süreçlerinde dijitalleşme

ve yıkıcı teknolojiler, 3D yazıcı (katmanlı üretim) teknolojisinin mikro ölçekli işletmeler nezdindeki stratejik önemi ve seçim kararlarını etkileyen temel kriterler kapsamlı bir biçimde incelenmiştir. Araştırmanın materyal ve yöntem bölümünde, literatür taraması ve sektörel uzman görüşleri sentezlenerek 3D yazıcı seçim kararlarında belirleyici olan yedi stratejik kriter tanımlanmıştır. Uygulama aşamasında ise, faaliyetlerini 3D yazıcı teknolojisi ekseninde yürüten 10 mikro ölçekli işletme sahibi ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilerek, belirlenen kriterlerin önem derecelerine göre sıralanması sağlanmıştır. Elde edilen verilerin ağırlıklandırılması ve kriterlerin nihai önem düzeylerinin matematiksel olarak doğrulanması noktasında, ÇKKV tekniklerinden biri olan FUCOM yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmanın, mikro ölçekli işletmelerin 3D yazıcı seçiminde dikkate aldığı stratejik kriterleri FUCOM yöntemiyle önceliklendirerek, teknoloji seçimi literatürüne mikro ölçekli işletmeler perspektifinden özgün ve yöntemsel bir katkı sunacağı düşünülmektedir.

## 2. Kavramsal Çerçeve

### 2.1. Dijital Çağda Teknoloji Seçimi ve Stratejik Karar Alma

Dijital çağ, işletmelerin faaliyet gösterdiği rekabet ortamını önemli ölçüde dönüştürerek teknolojiyi işletme stratejilerinin temel bileşenlerinden biri hâline getirmiştir. Dijital teknolojilerde yaşanan hızlı ilerlemeler, işletmelerin üretim, yönetim ve karar alma süreçlerini yeniden şekillendirmekte; bu gelişmeler yalnızca kısa vadeli verimlilik artışlarıyla sınırlı kalmayarak uzun vadeli rekabet gücünü de doğrudan etkilemektedir. Bu çerçevede dijital teknolojiler, işletmeler açısından operasyonel destek unsurlarının ötesinde, stratejik değer yaratan kaynaklar olarak değerlendirilmektedir (Teece, 2018). Günümüz iş ortamında dijitalleşmenin hız kazanmasıyla birlikte, teknolojiye yönelik alınan kararların işletmelerin performansı ve sürdürülebilirliği üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu ifade edilmektedir (Verhoef vd., 2021).

Teknoloji seçimi, işletmelerin kendi teknolojik, örgütsel ve çevresel koşullarını dikkate alarak mevcut alternatifler arasından ihtiyaçlarına en uygun teknolojiyi belirleme sürecini ifade etmektedir. Bu süreç, desteklenmesi ve teşvik edilmesi gereken teknolojilerin seçilmesini, farklı kaynaklardan bilgi toplanmasını ve alternatiflerin işletmeye özgü kriterler çerçevesinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesini içermektedir (Lamb & Gregory, 1997; Shehabuddeen vd., 2006). Diğer bir ifadeyle teknoloji seçimi, dijital çağda işletmeler açısından yalnızca teknik özelliklerin değerlendirilmesine dayanan bir süreç değil, çok boyutlu ve stratejik bir karar alma problemi olarak

ele alınmaktadır. Dijital teknolojilerin çeşitlenmesi ve alternatiflerin artması, karar vericilerin belirsizlik altında seçim yapmasını zorunlu kılmaktadır. Bu durum, teknoloji seçiminde maliyet, stratejik uyum, esneklik ve uzun vadeli fayda gibi birden fazla kriterin eş zamanlı olarak dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır (Grant, 2016). Dolayısıyla teknoloji seçimi, işletmenin genel stratejisiyle uyumlu olması gereken ve yanlış tercih edilmesi durumunda telafisi güç sonuçlar doğurabilecek bir karar alanı hâline gelmiştir.

Stratejik karar alma literatüründe teknoloji seçim kararları, işletmenin kaynakları ve yetkinlikleriyle doğrudan ilişkili olarak değerlendirilmektedir. Kaynak temelli yaklaşım, teknolojiyi işletmelerin rekabet avantajı elde etmesinde kritik bir unsur olarak ele almakta ve doğru teknoloji seçiminin işletmeye özgü yetkinliklerin geliştirilmesine katkı sağladığını vurgulamaktadır (Barney, 1991; Bharadwaj, 2000). Bu çerçevede dijital çağda teknoloji seçimi, yalnızca mevcut ihtiyaçları karşılamaya yönelik bir yatırım değil, aynı zamanda gelecekteki rekabet koşullarına uyum sağlamayı amaçlayan stratejik bir hamle olarak görülmektedir.

Özellikle mikro ölçekli işletmeler açısından teknoloji seçimi süreci, büyük ölçekli işletmelere kıyasla daha kritik bir önem taşımaktadır. Sınırlı finansal kaynaklar, düşük hata toleransı ve ölçek ekonomilerinden yeterince yararlanamama gibi faktörler, mikro ölçekli işletmelerin teknoloji yatırımlarında daha dikkatli ve seçici davranmasını zorunlu kılmaktadır. Bu durum, teknoloji seçiminde hangi kriterlerin öncelikli olduğunun belirlenmesini ve karar sürecinin sistematik bir yaklaşımla ele alınmasını gerektirmektedir (Kagermann vd., 2013). Dolayısıyla mikro ölçekli işletmeler için teknoloji seçimi, stratejik karar alma sürecinin en hassas aşamalarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, stratejik teknoloji seçim kararlarının somutlaştığı temel alanlardan biri üretim süreçleridir. Dijitalleşme ile birlikte üretim süreçlerinde ortaya çıkan yeni teknolojiler ve yıkıcı uygulamalar, işletmelerin üretim anlayışlarını yeniden şekillendirmekte ve teknoloji seçim kararlarını daha da karmaşık hale getirmektedir.

## 2.2. Üretim Süreçlerinde Dijitalleşme ve Yıkıcı Teknolojiler

Üretim süreçlerinde dijitalleşme, sanayi yapılarının fiziksel sistemlerden siber-fiziksel sistemlere doğru evrilmesini ifade etmektedir. Bu dönüşüm, üretim süreçlerinin yalnızca otomasyon düzeyinin artmasıyla sınırlı kalmamakta; veri temelli karar alma, gerçek zamanlı izleme ve süreçlerin bütüncül biçimde optimize edilmesini mümkün kılmaktadır. Özellikle üretim sistemlerinin dijital platformlar üzerinden entegre edilmesi, üretimde hız, kalite ve esneklik gibi performans boyutlarını doğrudan etkilemektedir (Buer vd., 2018).

Dijitalleşme süreciyle birlikte üretim alanında ortaya çıkan bazı teknolojiler, mevcut üretim yapılarında köklü değişimlere yol açarak “yıkıcı teknolojiler” olarak değerlendirilmektedir. Christensen (1997), yıkıcı teknolojileri, başlangıçta sınırlı performans sunmalarına rağmen zamanla gelişerek yerleşik teknolojilerin yerini alan ve mevcut pazar yapılarını dönüştüren yenilikler olarak tanımlamaktadır. Yıkıcı teknolojiler, yalnızca üretim maliyetlerini düşürmek veya verimliliği artırmakla kalmamakta; aynı zamanda ürün tasarımı, üretim organizasyonu ve değer zinciri yapısını da dönüştürmektedir (Markides, 2006). Bu tür teknolojiler, geleneksel üretim yaklaşımlarını geçersiz kılabilecek yeni üretim modellerinin ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır.

Literatürde üretim süreçlerini dönüştüren başlıca yıkıcı dijital teknolojiler arasında nesnelerin interneti (IoT), büyük veri ve veri analitiği, yapay zekâ ve makine öğrenmesi, bulut bilişim, otonom ve robotik sistemler, siber-fiziksel sistemler ile katmanlı üretim (3D yazıcılar) yer almaktadır (Lasi vd., 2014; Xu vd., 2018). Bu teknolojiler, üretim sistemlerinin daha akıllı, esnek ve özerk yapılar hâline gelmesini sağlayarak dijitalleşmenin temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Nesnelerin interneti ve sensör teknolojileri aracılığıyla üretim süreçlerinden sürekli veri toplanabilmekte; büyük veri ve analitik araçlar sayesinde bu veriler anlamlı ve kullanılabilir çıktılara dönüştürülmektedir. Yapay zekâ destekli sistemler, üretim planlaması, bakım süreçleri ve kalite kontrol gibi alanlarda öngörüye dayalı karar alma imkânı sunarken, bulut bilişim teknolojileri üretim verilerinin düşük maliyetle depolanmasını ve farklı üretim birimleri arasında paylaşılmasını mümkün kılmaktadır (Zhong vd., 2017).

Bu yıkıcı teknolojiler arasında katmanlı üretim yaklaşımına dayanan 3D yazıcı teknolojisi ise, üretim süreçlerini doğrudan dönüştüren özgün bir konuma sahiptir. Geleneksel üretim yöntemlerinden farklı olarak 3D yazıcılar, dijital tasarımların fiziksel ürüne doğrudan dönüştürülmesine olanak tanımaktadır. Bu durum, üretimde ölçek ekonomisi anlayışını zayıflatmakta ve düşük hacimli, kişiselleştirilmiş üretimi ekonomik hâle getirmektedir (Gibson vd., 2015).

Üretim süreçlerinde dijitalleşme ve yıkıcı teknolojilerin sunduğu bu dönüşüm potansiyeli, özellikle mikro ölçekli işletmeler açısından stratejik bir fırsat alanı oluşturmaktadır. Sınırlı sermaye, düşük üretim hacmi ve esneklik ihtiyacı gibi mikro işletmelere özgü koşullar, bazı yıkıcı teknolojilerin bu işletmeler için daha cazip hâle gelmesine neden olmaktadır. Bu bağlamda 3D yazıcı teknolojisi, mikro ölçekli işletmelerin dijitalleşme sürecinde tercih edebileceği en somut ve erişilebilir yıkıcı üretim teknolojilerinden biri olarak

öne çıkmaktadır. 3D yazıcı teknolojisi ilerleyen bölümde detaylı olarak ele alınacaktır.

### **2.3. 3 Boyutlu (3D) Yazıcı Teknolojisi ve Mikro Ölçekli İşletmeler Açısından Stratejik Önemi**

Üretim süreçlerinde dijitalleşmenin ve yıkıcı teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte, katmanlı üretim yaklaşımına dayanan 3D yazıcı teknolojisi, geleneksel üretim yöntemlerine alternatif bir üretim paradigması olarak öne çıkmaktadır. Katmanlı üretim, diğer adıyla 3D baskı, dijital bir modeli katman katman inşa ederek bir nesneye dönüştürmek anlamına gelir (Conner vd., 2014). Diğer bir ifadeyle 3D baskı; toz metal, plastik ve diğer bağlayıcı malzemeleri kullanarak katman katman üst üste yığma ve biriktirme yoluyla nesneler inşa eden, dijital model dosyalarına dayalı hızlı prototipleme bilgi teknolojisi (Lei vd., 2022).

Önceleri sadece prototipleme amacı ile kullanılan katmanlı imalat teknolojileri, bilgisayar teknolojilerindeki ve malzeme bilimindeki gelişmelere paralel olarak diğer alanlarda da farklı amaçlarla ve bazı ürünlerin doğrudan üretiminde kullanılmaya başlamıştır (Karagöz vd., 2021). 3D yazıcılar, dijital ortamda tasarlanan üç boyutlu modellerin katmanlar hâlinde fiziksel ürünlere dönüştürülmesini sağlayarak üretim süreçlerini daha esnek, hızlı ve kişiselleştirilebilir bir yapıya kavuşturmaktadır. Bu teknoloji; prototipleme, düşük hacimli üretim ve ürün geliştirme süreçlerinde sağladığı avantajlar nedeniyle üretim literatüründe önemli bir yer edinmiştir (Gibson vd., 2015). Bu doğrultuda son yıllarda 3D yazıcıların işletmeler tarafından farklı avantajlar elde edebilmek amacıyla kullanımı giderek artmaktadır. Fortune Business Insights (2024) verilerine göre, küresel 3D yazıcı pazarı 2024 yılında 19,33 milyar dolar değerine ulaşmıştır. Pazarın 2025 yılındaki 23,41 milyar dolarlık hacminden, tahmin dönemi boyunca yıllık %23,4'lük bir bileşik büyüme oranı (CAGR) kaydederek 2032 yılına kadar 101,74 milyar dolara yükselmesi beklenmektedir.

3D yazıcı teknolojinin işletmeler için stratejik önemi, üretimde ölçek ekonomisine dayalı geleneksel anlayışı dönüştürmesinden kaynaklanmaktadır. Geleneksel üretim sistemlerinde maliyet avantajı genellikle yüksek üretim hacimleriyle elde edilirken, 3D yazıcılar düşük miktarlı ve çeşitlendirilmiş üretimi ekonomik hâle getirmektedir. Bu durum, ürün çeşitliliğinin ve müşteri taleplerine hızlı yanıt verme kapasitesinin önem kazandığı rekabet ortamında işletmelere önemli bir esneklik sağlamaktadır (Berman, 2012). Böylece 3D yazıcılar, üretim süreçlerinde esnekliği artıran yıkıcı bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir.



Mikro ölçekli işletmeler açısından değerlendirildiğinde, 3D yazıcı teknolojisi stratejik bir fırsat alanı sunmaktadır. Sınırlı sermaye, düşük üretim kapasitesi ve esnekliğe duyulan yüksek ihtiyaç, mikro işletmelerin geleneksel üretim teknolojilerine erişimini zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda 3D yazıcılar, düşük başlangıç yatırımı, kalıp maliyetlerini ortadan kaldırması ve tasarımdan üretime geçiş süresini kısaltması gibi özellikleriyle mikro ölçekli işletmelerin üretim yetkinliklerini güçlendirebilmektedir (Rayna & Striukova, 2016). Ayrıca ürün tasarımında sağladığı özgürlük, mikro işletmelerin niş pazarlara yönelmesine ve farklılaşma stratejileri geliştirmesine olanak tanımaktadır.

3D yazıcı teknolojisinin mikro ölçekli işletmeler için bir diğer stratejik önemi, dijital dönüşüm süreçlerini hızlandırıcı bir rol üstlenmesidir. Dijital tasarım araçlarıyla bütünleşik çalışabilen bu teknoloji, işletmelerin dijital yetkinliklerini artırmakta ve veri temelli üretim anlayışını desteklemektedir. Bu yönüyle 3D yazıcılar, mikro ölçekli işletmelerin dijitalleşme sürecine uyum sağlamasında erişilebilir ve uygulanabilir bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır (Ford & Despeisse, 2016).

3D yazıcı teknolojisinin sunduğu stratejik avantajlardan etkin biçimde yararlanabilmek, işletmelerin doğru teknoloji seçimi yapmasına bağlıdır. Maliyet yapısı, kullanım kolaylığı ve teknik destek gibi faktörler, mikro ölçekli işletmelerin 3D yazıcıdan elde edeceği faydayı doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle 3D yazıcı seçimi, mikro ölçekli işletmeler için yalnızca teknik bir karar değil, aynı zamanda stratejik bir karar problemi olarak ele alınmalıdır. Bu durum, 3D yazıcı seçiminde dikkate alınan kriterlerin sistematik biçimde belirlenmesini ve önceliklendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu kapsamda bir sonraki bölümde 3D yazıcı seçim kararlarını etkileyen stratejik kriterler incelenecektir.

## **2.4. 3D Yazıcı Seçim Kararlarını Etkileyen Stratejik Kriterler**

3D yazıcı teknolojisinin mikro ölçekli işletmeler açısından sunduğu stratejik fırsatlardan etkin biçimde yararlanılabilmesi, uygun yazıcının seçilmesine bağlıdır. Bu bağlamda 3D yazıcı seçimi, yalnızca teknik özelliklerin karşılaştırıldığı operasyonel bir karar süreci değil; işletmenin kaynak yapısı, üretim hedefleri ve rekabet stratejileriyle doğrudan ilişkili stratejik bir karar problemi olarak değerlendirilmelidir. Teknoloji seçiminde yapılan hatalar, özellikle sınırlı finansal ve insan kaynağına sahip mikro ölçekli işletmeler için uzun vadeli maliyetler ve performans kayıpları doğurabilmektedir (Shehabuddeen vd., 2006).

Literatür incelendiğinde, 3D yazıcı seçim kararlarını etkileyen kriterlerin çok boyutlu bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu kriterler genel



olarak ekonomik, teknik, operasyonel, stratejik ve çevresel boyutlar altında ele alınmaktadır. Ekonomik kriterler; yazıcının satın alma maliyeti, sarf malzemesi giderleri, bakım-onarım maliyetleri ve enerji tüketimi gibi unsurları kapsamaktadır (Rakhade, 2021; Kabadayı & Dağ, 2024). Özellikle mikro ölçekli işletmeler açısından bu kriterler, yatırımın geri dönüş süresi ve finansal sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir. Teknik kriterler; 3D yazıcının baskı hassasiyeti, baskı hacmi, hız, üretim süresi ve malzeme uyumluluğu gibi performans özelliklerini içermektedir (Mançanares vd., 2015; Prabhu & Ilangkumaran, 2019; Ransikarbum & Khamhong, 2021). Üretilen ürünlerin niteliği ve kullanım alanı, bu kriterlerin önem düzeyini doğrudan etkilemektedir. Özellikle mikro ölçekli işletmelerde sınırlı sayıda ürün çeşidi üretildiği dikkate alındığında, teknik kriterlerin işletmenin spesifik üretim ihtiyaçlarıyla uyumlu olması stratejik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır (Gibson vd., 2015).

Operasyonel kriterler; 3D yazıcının kullanım kolaylığı, kurulum süreci, yazılım uyumluluğu, bakım gereksinimleri ve teknik destek olanaklarını kapsamaktadır (Çetinkaya vd., 2017; Zagidullin vd., 2021). Özellikle mikro ölçekli işletmelerde genellikle uzmanlaşmış teknik personel bulunmadığından, kullanıcı dostu arayüzlere sahip, kolay öğrenilebilir ve düşük bakım gerektiren yazıcılar ön plana çıkmaktadır. Bu yönüyle operasyonel kriterler, teknolojinin işletme içinde benimsenme düzeyini ve etkin kullanımını doğrudan etkilemektedir (Rogers, 2003). Bununla birlikte stratejik kriterler, 3D yazıcının işletmenin uzun vadeli hedefleriyle uyumunu ifade etmektedir. Esneklik, ölçeklenebilirlik ve ürün çeşitlendirme potansiyeli gibi unsurlar bu kapsamda değerlendirilmektedir (Çetinkaya vd., 2017; Chen & Wu, 2021). 3D yazıcıların sunduğu kişiselleştirilmiş üretim imkânı, mikro ölçekli işletmelerin niş pazarlara yönelmesine ve farklılaşma stratejileri geliştirmesine olanak tanımaktadır. Bu nedenle yazıcı seçimi, kısa vadeli maliyet avantajlarının ötesinde, işletmenin rekabetçi konumunu güçlendirecek stratejik bir yatırım kararı olarak ele alınmalıdır (Rayna & Striukova, 2016). Bunlara ek olarak, son yıllarda teknoloji seçim kararlarında çevresel sürdürülebilirlik boyutunun da dikkate alınması gerektiği vurgulanmaktadır. 3D yazıcı seçiminde ses emisyonu ve atık miktarı gibi çevresel kriterler, özellikle mikro ölçekli işletmeler açısından hem çalışma koşulları hem de kaynak verimliliği bakımından önem taşımaktadır (Roberson et al., 2013; Çetinkaya et al., 2017; Kabadayı & Dağ, 2024).

Bu çok boyutlu kriter yapısı, 3D yazıcı seçim kararlarında kriterlerin göreceli önemlerinin belirlenmesini gerekli kılmaktadır. Tüm kriterlerin eşit derecede önemli kabul edilmesi, karar sürecinde yanıltıcı sonuçlara yol açabilmektedir. Bu nedenle kriterlerin sistematik ve tutarlı bir biçimde

önceliklendirilmesi, mikro ölçekli işletmelerin ihtiyaçlarına en uygun 3D yazıcının belirlenmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu noktada ÇKKV yöntemleri, karmaşık teknoloji seçim problemlerinin analitik olarak ele alınmasına imkân tanımaktadır. Bu çalışma kapsamında, 3D yazıcı seçim kararlarını etkileyen stratejik kriterlerin önem düzeyleri FUCOM yöntemi kullanılarak belirlenmekte ve mikro ölçekli işletmelerin karar süreçlerinde hangi kriterlere öncelik verdikleri ortaya konulmaktadır. Böylece teknoloji seçiminde sezgisel yaklaşımların ötesine geçilerek, daha tutarlı ve rasyonel bir karar destek çerçevesi sunulması hedeflenmektedir.

### 3. Materyal ve Yöntem

#### 3.1. Materyal

Yapılan çalışmada, mikro ölçekli işletmelerin 3D yazıcı seçim kararlarında etkili olan stratejik kriterlerin ve bu kriterlerin önem düzeylerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda ilk olarak, literatür taraması (Roberson et al., 2013; Mançanares vd., 2015; Çetinkaya vd., 2017; Prabhu & Ilankumaran, 2019; Rakhade, 2021; Zagidullin vd., 2021; Chen & Wu, 2021; Ransikarbum & Khamhong, 2021; Kabadayı & Dağ, 2024) ve sektörel uzman görüşleri sentezlenerek 3D yazıcı seçim kararlarında belirleyici olan yedi stratejik kriter tanımlanmıştır. Tanımlanan söz konusu kriterler aşağıda belirtildiği gibidir:

- Fiyat (K1)
- Atık miktarı (K2)
- Kullanım kolaylığı ve Wi-Fi bağlantısı (K3)
- Malzeme ve filament kullanım esnekliği (K4)
- Baskı hızı ve üretim süresi (K5)
- Maksimum baskı hacmi ve fiziksel üretim kapasitesi (K6)
- Baskı kalitesi ve boyutsal hassasiyet (K7)

Araştırma kapsamında, 3D yazıcı teknolojisini aktif olarak kullanan 10 mikro ölçekli işletme sahibi ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Örneklemin belirlenmesinde, evrenin sınırlı ve dağınık yapısı dikkate alınarak kartopu örnekleme yöntemi tercih edilmiştir. Elde edilen verilerin ağırlıklandırılması ve kriterlerin nihai önem düzeylerinin matematiksel olarak doğrulanması noktasında, ÇKKV tekniklerinden biri olan FUCOM yöntemi kullanılmıştır.

### 3.2. Yöntem

Ölçüt ağırlıklarının hesaplanması amacıyla Pamucar vd. (2018) tarafından literatüre kazandırılan FUCOM, yenilikçi bir ÇKKV metodolojisi. Bu yöntem, kısıtlı sayıda ikili karşılaştırma yapılmasına olanak tanınması ve kriterlerin ideal ağırlık katsayılarını belirlerken tanımlanan spesifik kısıtlar sayesinde operasyonel hata payını en aza indirmektedir. FUCOM, elde edilen ağırlık vektörlerinin tutarlılığını ölçmek için bir hata metriği kullanarak; AHP veya BWM gibi geleneksel tekniklerde karşılaşılan ve çok sayıda ikili kıyaslamadan kaynaklanan karmaşık işlem yükünü önemli ölçüde hafifletmektedir (Pamucar vd., 2018).

Pamucar vd. (2018), Ecer (2021) ile Ayçin ve Aşan (2021) tarafından belirtilen çerçevede, FUCOM metodunun uygulama süreci birbirini takip eden üç temel evreden meydana gelmektedir. Söz konusu işlem basamakları aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmıştır:

#### • 1. Adım: Kriterlerin Önem Düzeylerine Göre Sıralanması

Bu ilk basamakta, karar verme sürecine dahil edilen kriterler, karar verici veya uzman grubu tarafından en kritik olandan en az öneme sahip olana doğru sistematik bir biçimde derecelendirilmektedir. Bu önceliklendirme faaliyeti sonucunda, kriterler arasında Eşitlik (1)'de formüle edilen hiyerarşik bir sıralama yapısı tesis edilmektedir.

$$C_j(1) > C_j(2) > \dots > C_j(k) \quad (1)$$

#### • 2. Adım: Kriterlerin Göreceli Öncelik Değerlerinin Belirlenmesi

Sürecin bu evresinde, bir önceki basamakta karar verici(ler) tarafından hiyerarşik olarak sıralanan kriterlerin birbirlerine kıyasla sahip oldukları göreceli öncelik katsayıları ( $\phi k/(k+1)$ ) hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar neticesinde, analiz sürecinin temel taşlarından biri olan ve Eşitlik (2)'de formüle edilen karşılaştırmalı öncelik vektörüne ulaşılmaktadır. Söz konusu modelde  $\phi k/k+1$  parametresi, hiyerarşik sıralamada yer alan  $C_j(k)$  kriterinin, kendisinden bir sonraki sırada bulunan  $C_j(k+1)$  kriterine nispeten taşıdığı göreceli önem düzeyini veya öncelik katsayısını temsil etmektedir. Bu önem katsayılarının sayısal olarak ifade edilmesi aşamasında metodoloji; tam sayılar, ondalık değerler veya önceden yapılandırılmış bir ölçüm skalasının kullanımına olanak tanıyarak ikili kıyaslamaların esnek bir yapıda gerçekleştirilmesine imkan sunmaktadır. Bu esneklik, değerlendirme aşamasında hassas ölçümlerin yapılmasına zemin hazırlamaktadır. Mevcut araştırma kapsamında ise kriterler arası göreceli önem düzeylerini belirlemek amacıyla, aşağıda yer alan Tablo 1'deki "İkili Karşılaştırma Ölçeği" referans alınmıştır.

$$\Phi = (\varphi_{1/2}, \varphi_{2/3}, \dots, \varphi_{k/(k+1)}) \quad (2)$$

Tablo 1. İkili Karşılaştırma Ölçeği

| Önem Düzeyi | Tanım                |
|-------------|----------------------|
| 1           | Eşit Önemli          |
| 2           | Çok Çok Az Önemli    |
| 3           | Biraz Önemli         |
| 4           | Orta Düzeyde Önemli  |
| 5           | Önemli               |
| 6           | Daha Önemli          |
| 7           | Çok Önemli           |
| 8           | Çok Çok Fazla Önemli |
| 9           | Aşırı Önemli         |

Kaynak: Mercan ve Can, 2023.

### • 3. Adım: Kriterlerin Önem Ağırlıklarının Hesaplanması

Metodolojinin son aşamasında, karar problemine temel teşkil eden kriterlerin nihai önem ağırlıkları ( $w_1, w_2, \dots, w_n$ )<sup>T</sup> hesaplanmaktadır. Söz konusu ağırlık değerlerinin geçerli bir biçimde elde edilebilmesi için aşağıda belirtilen iki temel koşulun eş zamanlı olarak sağlanması zorunluluk arz etmektedir:

- Koşul 1: Ağırlık katsayılarının birbirine oranı, Eşitlik (3)'te formüle edildiği üzere, sürecin ikinci basamağında saptanan kriterler arası göreceli öncelik değerlerine tekabül etmektedir.

$$\frac{w_k}{w_{k+1}} = \varphi_{k/(k+1)} \quad (3)$$

- Koşul 2: Elde edilen nihai ağırlık katsayılarının matematiksel açıdan geçişlilik (transitivity) prensibini karşılaması gerekmektedir. Bu doğrultuda; ardışık kriterler arasındaki öncelik ilişkisinin  $\varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} = \varphi_{k/(k+2)}$  eşitliğini sağlaması bir zorunluluktur. Bunun yanı sıra;  $\varphi_{k/(k+1)} = \frac{w_k}{w_{k+1}}$  ve  $\varphi_{(k+1)/(k+2)} = \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}}$  olduğundan dolayı  $\frac{w_k}{w_{k+1}} \otimes \frac{w_{k+1}}{w_{k+2}} = \frac{w_k}{w_{k+2}}$  olarak elde edilir. Bu noktada, kriterlere ait nihai ağırlık katsayılarının geçerliliği için sağlanması gereken bir diğer temel kriter, Eşitlik (4) ile tanımlanan matematiksel ifade doğrultusunda saptanmaktadır.

$$\frac{w_k}{w_{k+2}} = \varphi k / (k+1) \otimes \varphi (k+1) / (k+2) \quad (4)$$

Sistemdeki tam tutarlılık durumu, Eşitlik (3) ve (4) ile tanımlanan kısıtların eş zamanlı olarak sağlanması neticesinde elde edilmektedir. Bir diğer ifadeyle, söz konusu kriterlerin karşılanması, tam tutarlılıktan sapma (TTS) miktarının minimize edilmesini garanti altına almaktadır. Bu doğrultuda, maksimum tutarlılık düzeyine ulaşıldığında, hesaplanan kriter ağırlıkları için belirlenen sapma katsayısı  $\chi = 0$  değerini alarak ideal çözüm kümesini oluşturmaktadır. Kriterlerin nihai önem ağırlıklarını hesaplayabilmek amacıyla, Eşitlik (5)'te sunulan doğrusal programlama modelinin çözülmesi gerekmektedir.

$$\text{Min } \chi \quad (5)$$

$$\left| \frac{W_{j(k)}}{W_{j(k+1)}} - \varphi_{k/(k+1)} \right| \leq \chi, \forall j$$

$$\left| \frac{W_{j(k)}}{W_{j(k+2)}} - \varphi_{k/(k+1)} \otimes \varphi_{(k+1)/(k+2)} \right| \leq \chi, \forall j$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \forall j$$

Eşitlik (5)'te sunulan doğrusal programlama modelinin çözülmesi ile kriterlerin nihai önem ağırlıkları  $(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  ve  $TTS(\chi)$  değeri hesaplanır.

#### 4. Uygulama

Araştırma kapsamında, 3D yazıcı teknolojisini aktif olarak kullanan 10 mikro ölçekli işletme sahibi ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiş, FUCOM yöntemiyle gerçekleştirilen kriter sıralamasına ek olarak işletmelere ilişkin tanımlayıcı bilgiler de toplanmıştır. Bu doğrultuda katılımcılara; ürettikleri ürünlerin kategorisi, kullandıkları 3D yazıcı veya yazıcı markaları, internet üzerinden satış yapıp yapmadıkları, işletmenin

faaliyet süresi, işletmede bulunan 3D yazıcı sayısı ve çalışan sayısına ilişkin sorular yöneltilmiş ve Tablo 2'deki bulgular elde edilmiştir. Elde edilen bu bilgiler, katılımcı profillerinin daha ayrıntılı biçimde analiz edilmesine ve bulguların bağlamsal olarak değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

*Tablo 2. Katılımcı İşletmelere Ait Tanımlayıcı Bilgiler*

| İşletme Kodu | Faaliyet Süresi (Yıl) | Ürün Kategorisi              | Çalışan Sayısı | 3D Yazıcı Sayısı | 3D Yazıcı Markası        | İnternet Satışı |
|--------------|-----------------------|------------------------------|----------------|------------------|--------------------------|-----------------|
| MÖİ1         | 1                     | Oyuncak                      | 1              | 1                | Bambu Lab                | Evet            |
| MÖİ2         | 2                     | Ev&Dekorasyon                | 8              | 19               | Anycubic&Bambu Lab       | Evet            |
| MÖİ3         | 1                     | Oyuncak                      | 1              | 1                | Bambu Lab                | Evet            |
| MÖİ4         | 1                     | Figür                        | 1              | 12               | Bambu Lab                | Evet            |
| MÖİ5         | 1                     | Tanıtım Ürünleri             | 4              | 20               | Bambu Lab                | Evet            |
| MÖİ6         | 7                     | Aydınlatma                   | 1              | 27               | Bambu Lab                | Hayır           |
| MÖİ7         | 3                     | Maket ve Prototip            | 1              | 8                | Flsun&Bambu Lab&Creality | Hayır           |
| MÖİ8         | 5                     | Endüstriyel Makina Parçaları | 1              | 3                | Creality&Flashforge      | Hayır           |
| MÖİ9         | 1                     | Hobi&Oyuncak                 | 1              | 1                | Bambu Lab                | Hayır           |
| MÖİ10        | 2                     | Otomotiv                     | 1              | 1                | Creality                 | Evet            |

Tablo 2 incelendiğinde, araştırmaya dâhil edilen mikro ölçekli işletmelerin büyük ölçüde kısa faaliyet süresine sahip, az sayıda çalışanla faaliyet gösteren ve 3D yazıcı teknolojisini esnek ve ölçeklenebilir bir üretim aracı olarak kullanan işletmelerden oluştuğu görülmektedir. İşletmelerin farklı ürün kategorilerinde üretim yapmaları ve bazı işletmelerin yüksek sayıda 3D yazıcıya sahip olmasına rağmen sınırlı iş gücüyle faaliyet göstermeleri, bu teknolojinin mikro ölçekli işletmelere düşük emek yoğunluğu, ürün çeşitlendirme ve dijital pazarlara erişim imkânı sunduğunu göstermektedir.

İşletmelere ilişkin tanımlayıcı bilgilerin elde edilmesi sonrasında, 3D yazıcı seçimi noktasında belirlenen kriterler mikro ölçekli işletme sahiplerine sunulmuş ve bu kriterleri önem derecelerine göre sıralamaları talep edilmiştir. Elde edilen verilerin ağırlıklandırılması ve kriterlerin nihai önem düzeylerinin matematiksel olarak doğrulanması noktasında FUCOM yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 3. Kriterlerin Önem Sıralamaları

| İşletme Kodu | Sıralama             |
|--------------|----------------------|
| MÖİ1         | K1>K5>K2>K7>K6>K4>K3 |
| MÖİ2         | K7>K5>K1>K4>K6>K2>K3 |
| MÖİ3         | K1>K6>K4>K5>K2>K7>K3 |
| MÖİ4         | K3>K7>K1>K6>K5>K4>K2 |
| MÖİ5         | K7>K2>K1>K5>K4>K3>K6 |
| MÖİ6         | K7>K1>K5>K4>K3>K6>K2 |
| MÖİ7         | K5>K4>K3>K6>K7>K2>K1 |
| MÖİ8         | K7>K5>K6>K3>K4>K1>K2 |
| MÖİ9         | K3>K1>K7>K5>K2>K4>K6 |
| MÖİ10        | K1>K7>K5>K4>K3>K6>K2 |

FUCOM yönteminin aşamaları çerçevesinde, ilk adımda kriterler, işletme sahipleri tarafından 3D yazıcı seçiminde en yüksek önceliğe sahip olandan en düşük önceliğe sahip olana doğru bir sıralamaya tabi tutulmuştur. Tablo 3’de kriterler için yapılan sıralamalar gösterilmiştir.

Yöntemin ikinci adımında işletme sahipleri, en önemli olarak gördükleri kriterin diğer kriterlere kıyasla ne derece öncelikli olduğuna dair ikili karşılaştırmalar yoluyla karşılaştırmalı önem düzeylerini tayin etmişlerdir. Bu çalışmada, daha önce de ifade edildiği gibi Tablo 1’de sunulan İkili Karşılaştırma Ölçeği’nden faydalanılmıştır. Kriterler için belirlenen karşılaştırmalı öncelikler aşağıdaki gibidir:

- MÖİ1’e göre K1 kriteri K5 kriterinden 4 kat; K2 kriterinden 5 kat; K7 kriterinden 6 kat; K6 kriterinden 7 kat; K4 kriterinden 8 kat; K3 kriterinden 9 kat daha önemlidir.
- MÖİ2’ye göre K7 kriteri K5 kriterinden 3 kat; K1 kriterinden 4 kat; K4 kriterinden 5 kat; K6 kriterinden 7 kat; K2 kriterinden 8 kat; K3 kriterinden 9 kat daha önemlidir.
- MÖİ3’e göre K1 kriteri K6 kriterinden 2 kat; K4 kriterinden 3 kat; K5 kriterinden 4 kat; K2 kriterinden 5 kat; K7 kriterinden 6 kat; K3 kriterinden 8 kat daha önemlidir.
- MÖİ4’e göre K3 kriteri K7 kriterinden 3 kat; K1 kriterinden 5 kat; K6 kriterinden 6 kat; K5 kriterinden 7 kat; K4 kriterinden 8 kat; K2 kriterinden 9 kat daha önemlidir.



- MÖİ5'e göre K7 kriteri K2 kriterinden 2 kat; K1 kriterinden 4 kat; K5 kriterinden 6 kat; K4 kriterinden 7 kat; K3 kriterinden 8 kat; K6 kriterinden 9 kat daha önemlidir.
- MÖİ6'ya göre K7 kriteri K1 kriterinden 2 kat; K5 kriterinden 3 kat; K4 kriterinden 4 kat; K3 kriterinden 5 kat; K6 kriterinden 6 kat; K2 kriterinden 9 kat daha önemlidir.
- MÖİ7'ye göre K5 kriteri K4 kriterinden 2 kat; K3 kriterinden 3 kat; K6 kriterinden 4 kat; K7 kriterinden 5 kat; K2 kriterinden 6 kat; K1 kriterinden 7 kat daha önemlidir.
- MÖİ8'e göre K7 kriteri K5 kriterinden 2 kat; K6 kriterinden 3 kat; K3 kriterinden 4 kat; K4 kriterinden 5 kat; K1 kriterinden 6 kat; K2 kriterinden 8 kat daha önemlidir.
- MÖİ9'a göre K3 kriteri K1 kriterinden 2 kat; K7 kriterinden 3 kat; K5 kriterinden 4 kat; K2 kriterinden 5 kat; K4 kriterinden 6 kat; K6 kriterinden 7 kat daha önemlidir.
- MÖİ10'a göre K1 kriteri K7 kriterinden 4 kat; K5 kriterinden 5 kat; K4 kriterinden 6 kat; K3 kriterinden 7 kat; K6 kriterinden 8 kat; K2 kriterinden 9 kat daha önemlidir.

Kriterlerin karşılaştırmalı öncelikleri belirlendikten sonra yöntemin üçüncü adımında, her bir işletme için her bir kriterin nihai ağırlığı hesaplanmıştır. İşletme sahiplerinin görüşleri dikkate alınarak hesaplanan kriter ağırlıkları Tablo 4'te gösterilmiştir.

*Tablo 4. Mikro Ölçekli İşletme Sahiplerinin Görüşlerine Göre Kriter Ağırlıkları*

| İşletme Kodu | K1    | K2    | K3    | K4    | K5    | K6    | K7    |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MÖİ1         | 0.355 | 0.071 | 0.039 | 0.044 | 0.089 | 0.051 | 0.059 |
| MÖİ2         | 0.095 | 0.048 | 0.042 | 0.076 | 0.127 | 0.055 | 0.382 |
| MÖİ3         | 0.333 | 0.067 | 0.042 | 0.111 | 0.083 | 0.167 | 0.056 |
| MÖİ4         | 0.074 | 0.041 | 0.370 | 0.046 | 0.053 | 0.062 | 0.123 |
| MÖİ5         | 0.086 | 0.173 | 0.043 | 0.049 | 0.058 | 0.038 | 0.345 |
| MÖİ6         | 0.171 | 0.038 | 0.068 | 0.085 | 0.114 | 0.057 | 0.341 |
| MÖİ7         | 0.046 | 0.054 | 0.107 | 0.160 | 0.321 | 0.080 | 0.064 |
| MÖİ8         | 0.055 | 0.041 | 0.083 | 0.066 | 0.165 | 0.110 | 0.330 |
| MÖİ9         | 0.175 | 0.070 | 0.350 | 0.058 | 0.088 | 0.050 | 0.117 |
| MÖİ10        | 0.352 | 0.039 | 0.050 | 0.059 | 0.070 | 0.044 | 0.088 |

Son aşamada, kriterlerin nihai ağırlıklarını saptamak maksadıyla, 10 işletme sahibinin her bir kriterle yönelik atamış oldukları ağırlık değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak birleştirilmiştir. Her bir kriterin nihai ağırlıklandırma sonucu Tablo 5’te sunulmuştur.

*Tablo 5. Nihai Kriter Ağırlıkları*

| Kriterler                                               | Ağırlık |
|---------------------------------------------------------|---------|
| K7 (Baskı kalitesi ve boyutsal hassasiyet)              | 0.198   |
| K1 (Fiyat)                                              | 0.149   |
| K3 (Kullanım kolaylığı ve Wi-Fi bağlantısı)             | 0.125   |
| K5 (Baskı hızı ve üretim süresi)                        | 0.112   |
| K4 (Malzeme ve filament kullanım esnekliği)             | 0.065   |
| K6 (Maksimum baskı hacmi ve fiziksel üretim kapasitesi) | 0.059   |
| K2 (Atık miktarı)                                       | 0.054   |

FUCOM yöntemiyle elde edilen bulgular, mikro ölçekli işletmelerin 3D yazıcı seçiminde en fazla K7 kriterine odaklandığını, bunu K1 ve K3 kriterlerinin izlediğini göstermektedir. Özellikle K7 kriterinin hemen hemen tüm işletmelerde en yüksek ağırlığa sahip olması, işletmelerin karar süreçlerinde bu kriterle stratejik bir öncelik attediklerini ortaya koymaktadır. Buna karşılık, K2 ve K6 kriterlerinin görece daha düşük ağırlık değerlerine sahip olması, bu kriterlerin seçim sürecinde ikincil öneme sahip olduğunu göstermektedir. Nihai FUCOM ağırlıkları incelendiğinde, en önemli kriterin (K7/baskı kalitesi ve boyutsal hassasiyet), ikinci en önemli kriter olan K1’e (fiyat) kıyasla yaklaşık %33, en düşük öneme sahip kriter olan K2’ye (atık miktarı) kıyasla ise yaklaşık %267 oranında daha önemli olduğu görülmektedir.

## 5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmanın temel amacı, mikro ölçekli işletmelerin 3D yazıcı seçim kararlarında etkili olan stratejik kriterleri belirlemek ve bu kriterleri FUCOM yöntemi kullanılarak önceliklendirmektir. Literatürde 3D yazıcı teknolojisinin teknik özellikleri ve kullanım alanlarına ilişkin çok sayıda çalışma bulunmasına karşın, mikro ölçekli işletmeler özelinde teknoloji seçim kararlarının hangi kriterler çerçevesinde şekillendiğini bütüncül ve sistematik biçimde ele alan çalışmaların oldukça sınırlı olması, bu araştırmanın çıkış noktasını oluşturmıştır.

FUCOM yöntemiyle elde edilen bulgular, mikro ölçekli işletmelerin 3D yazıcı seçiminde en yüksek önceliği baskı kalitesi ve boyutsal hassasiyet

kriterine (K7) verdiklerini açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu bulgu, mikro ölçekli işletmelerin teknoloji seçiminde üretim çıktısının kalitesini temel bir stratejik unsur olarak değerlendirdiklerini göstermektedir. Özellikle küçük ölçekli ve sınırlı üretim kapasitesine sahip işletmeler için ürün kalitesinin müşteri memnuniyeti, tekrar satın alma ve marka algısı üzerindeki etkisi dikkate alındığında, bu sonucun rasyonel bir tercih olduğu söylenebilir.

Fiyat kriterinin (K1) ikinci sırada yer alması, mikro ölçekli işletmelerin maliyet duyarlılığını tamamen göz ardı etmediklerini, ancak fiyatı tek başına belirleyici bir unsur olarak ele almadıklarını göstermektedir. Bu durum, mikro ölçekli işletmelerin düşük maliyetli fakat yetersiz performans sunan teknolojiler yerine, görece daha yüksek fiyatlı ancak üretim kalitesini artıran çözümleri tercih edebildiğine işaret etmektedir. Dolayısıyla teknoloji seçiminde maliyet–performans dengesinin ön planda olduğu söylenebilir.

Üçüncü sırada yer alan kullanım kolaylığı ve Wi-Fi bağlantısı kriteri (K3), mikro ölçekli işletmelerin 3D yazıcı seçiminde teknik karmaşıklıktan uzak, öğrenme süresi kısa ve günlük üretim süreçlerine kolayca entegre edilebilen sistemlere öncelik verdiklerini göstermektedir. Bu bulgu, sınırlı insan kaynağına sahip mikro ölçekli işletmeler açısından, yazıcının kurulumu, kullanımı ve bakımının pratik olmasının, karar sürecinde önemli bir belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

Nihai kriter ağırlıkları incelendiğinde, atık miktarı (K2) ile maksimum baskı hacmi ve fiziksel üretim kapasitesi (K6) kriterlerinin görece düşük ağırlıklara sahip olması dikkat çekicidir. Atık miktarı (K2) ile maksimum baskı hacmi ve fiziksel üretim kapasitesi (K6) kriterlerinin görece düşük ağırlıklara sahip olması, mikro ölçekli işletmelerin teknoloji seçiminde kısa vadede doğrudan üretim çıktısını etkileyen unsurlara odaklandıklarını göstermektedir. Bu durum, hem sınırlı üretim hacmiyle çalışmaları hem de güncel 3D yazıcı teknolojilerinde atık oranları ve baskı hacmi açısından belirli bir standartlaşmanın sağlanmış olmasıyla ilişkilendirilebilir. Ayrıca işletmelerin 3D yazıcı kullanımına yönelik deneyim kazandıkça atık miktarını yönetilebilir bir unsur olarak algılamaları ve büyük ölçekli üretim hedeflerinin bulunmaması, bu kriterlerin karar sürecinde ikincil düzeyde değerlendirilmesine yol açmış olabilir.

Sonuç olarak bu çalışma, mikro ölçekli işletmelerin 3D yazıcı seçiminde hangi stratejik kriterlere öncelik verdiklerini FUCOM yöntemi aracılığıyla ortaya koyarak, dijital çağda teknoloji seçiminin mikro düzeyde nasıl şekillendiğine ilişkin önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Literatürde ağırlıklı olarak teknik özellikler veya büyük ölçekli işletmeler odağında ele alınan 3D yazıcı teknolojisine ilişkin çalışmaların aksine, bu araştırma mikro ölçekli

işletmelerin karar mantığını çok kriterli bir yaklaşımla sistematik biçimde analiz ederek özgün bir katkı sunmaktadır. Bununla birlikte, çalışmanın sınırlı sayıda işletme ile gerçekleştirilmiş olması ve tek bir ÇKKV yöntemine dayanması, elde edilen bulguların genellenebilirliğini kısıtlayan unsurlar arasında yer almaktadır. Gelecek araştırmalarda farklı sektörlerde faaliyet gösteren işletmeleri kapsayan daha geniş örneklemle yapılacak çalışmalar, farklı karar verme yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak kullanılması ve çevresel sürdürülebilirlik kriterlerinin uzun vadeli performans üzerindeki etkilerinin incelenmesi, bu alandaki bilgi birikiminin derinleşmesine katkı sağlayacaktır. Bu çerçevede, çalışmadan elde edilen bulguların hem akademik literatüre hem de uygulamaya yönelik karar süreçlerine ışık tutması beklenmektedir.

## Kaynakça

- Ayçin, E., & Aşan, H. (2021). İş zekası uygulamaları seçimindeki kriterlerin önem ağırlıklarının FUCOM yöntemi ile belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(2), 195–208.
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120.
- Bayar, Y., & Yaşar Uğurlu, Ö. (2023). Girişimcilik ekosistemi olgusu ve önemi-ne yönelik kavramsal bir değerlendirme. G. Durmuş & M. Seyhan (Ed.), *Yeni Dünya’da Girişimcilik* (ss. 101–122). Gazi Kitabevi.
- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55(2), 155–162.
- Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A., & Venkatraman, N. V. (2013). Digital business strategy: Toward a next generation of insights. *MIS Quarterly*, 37(2), 471–482.
- Buer, S. V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2924–2940.
- Chen, T., & Wu, H. C. (2021). Fuzzy collaborative intelligence fuzzy analytic hierarchy process approach for selecting suitable three-dimensional printers. *Soft Computing: A Fusion of Foundations, Methodologies & Applications*, 25(5).
- Christensen, C. M. (1997). *The innovator’s dilemma*. Harvard Business School Press.
- 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.
- Çetinkaya, C., Kabak, M., & Özceylan, E. (2017). 3D printer selection by using fuzzy analytic hierarchy process and PROMETHEE. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(4), 371–380.
- Ecer, F. (2021). Sürdürülebilir tedarikçi seçimi: FUCOM subjektif ağırlıklandırma yöntemi temelli MAIRCA yaklaşımı. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 26–48.
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: An exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573–1587.
- Fortune Business Insights. (2024). *3D printing market size, share & industry analysis, by offering (hardware, software, and services), by technology (Fused Deposition Modeling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS), Ste-*

- reolithography (SLA), and others), by application, by end-user, and regional forecast, 2025–2032. <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/3d-printing-market-101902>
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15–26.
- Gebhardt, A., & Kessler, J. (2019). *Additive manufacturing: 3D printing for prototyping and manufacturing*. Hanser Publications.
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>
- Grant, R. M. (2021). *Contemporary strategy analysis*. John Wiley & Sons.
- Kabadayı, N., & Dağ, S. (2024). Bulanık CRITIC ve bulanık EDAS yöntemleri ile 3 boyutlu yazıcı seçimi. *Journal of Transportation and Logistics*, 9(1), 121–138.
- Kagermann, H. (2014). Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0. In *Management of permanent change* (pp. 23–45). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Acatech – National Academy of Science and Engineering.
- Karagöz, İ., Bekdemir, A. D., & Tuna, Ö. (2021). 3B yazıcı teknolojilerinde kullanılan yöntemler ve gelişmeler üzerine bir derleme. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(4), 1186–1213.
- Lamb, M., & Gregory, M. (1997, July). Industrial concerns in technology selection. In *Innovation in technology management: The key to global leadership (PICMET '97)* (pp. 206–208). IEEE.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242.
- Lei, F., Wei, G., Shen, W., & Guo, Y. (2022). PDHL-EDAS method for multiple attribute group decision making and its application to 3D printer selection. *Technological and Economic Development of Economy*, 28(1), 179–200.
- Mançanares, C. G., de S. Zancul, E., Cavalcante da Silva, J., & Cauchick Miguel, P. A. (2015). Additive manufacturing process selection based on parts' selection criteria. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 80(5), 1007–1014.
- Markides, C. (2006). Disruptive innovation: In need of better theory. *Journal of Product Innovation Management*, 23(1), 19–25.

- Mercan, T., & Can, A. (2023). İşgören seçiminde etkili olan faktörlerin FU-COM yöntemi ile değerlendirilmesi: Bir havayolu işletmesinde uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 14(40), 1311–1329.
- Pamucar, D., Stevic, Z., & Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in MCDM models: Full consistency method (FUCOM). *Symmetry*, 10(9), 393. <https://doi.org/10.3390/sym10090393>
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64–88.
- Prabhu, S. R., & Ilankumaran, M. (2019). Decision making methodology for the selection of 3D printer under fuzzy environment. *International Journal of Materials and Product Technology*, 59(3), 239–252.
- Rakhade, R. D., Patil, N. V., Pardeshi, M. R., & Patil, B. G. (2021). Selection of 3D printer for innovation centre of academic institution based on AHP and TOPSIS methods. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 9(12), 1872–1880.
- Ransikarbum, K., & Khamhong, P. (2021). Integrated fuzzy analytic hierarchy process and technique for order of preference by similarity to ideal solution for additive manufacturing printer selection. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 30(9), 6481–6492.
- Rayna, T., & Striukova, L. (2016). From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 214–224.
- Roberson, D. A., Espalin, D., & Wicker, R. B. (2013). 3D printer selection: A decision-making evaluation and ranking model. *Virtual and Physical Prototyping*, 8(3), 201–212.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.
- Shehabuddeen, N., Probert, D., & Phaal, R. (2006). From theory to practice: Challenges in operationalising a technology selection framework. *Technovation*, 26(3), 324–335.
- Teece, D. J. (2018). Business models and dynamic capabilities. *Long Range Planning*, 51(1), 40–49.
- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533.
- Tomelleri, F., Bosetti, P., & Brunelli, M. (2025). Optimizing 3D printer selection through multi-criteria decision analysis. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 139(7), 3871–3890.
- Uğurlu, Ö. Y., Seyhan, M., & Bayar, Y. (2024). Bankaların Dijital Hizmetlerinin Eşbiçimlilik Bağlamında Değerlendirilmesi: KOBİ Bankacılığı Üzerine Bir Araştırma. *İğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (37), 548-570.

- Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889–901.
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Zagidullin, R., Mitroshkina, T., & Dmitriev, A. (2021, March). Quality function deployment and design risk analysis for the selection and improvement of FDM 3D printer. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 666, No. 6, p. 062123). IOP Publishing.
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: A review. *Engineering*, 3(5), 616–630.



