



Metal İşleme Sektöründe Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli Uygulaması ve Değerlendirilmesi

Implementation and Evaluation of Industry 4.0 Maturity Model in the Metal Processing Industry

Sultan GÜL ÖZDAMAR^{1*}, Beste DESTİCİOĞLU TAŞDEMİR¹, Süleyman ERSÖZ²

¹Milli Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimleri ve Milli Güvenlik Enstitüsü, Harekât Araştırması Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 05.07.2024
Düzeltilme: 20.09.2024
Kabul: 13.11.2024

Keywords

Industry 4.0
Maturity Model
Dijital
Transformation
Assessment Tool.

Anahtar Kelimeler

Endüstri 4.0
Olgunluk Modeli
Dijital Dönüşüm
Değerlendirme
Aracı

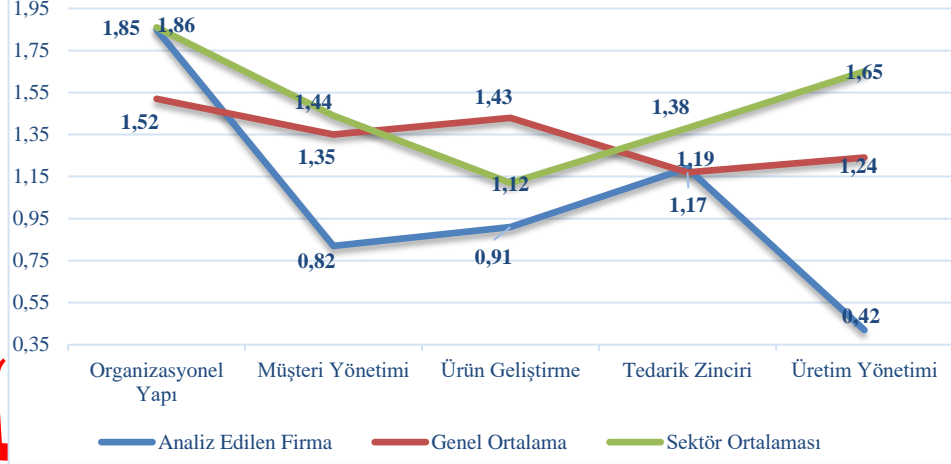
Önemli Noktalar

Dijital Olgunluk Seviyesi: Organizasyonel yapı ve tedarik zinciri yönetiminde endüstri ortalamasının üzerinde.

Geliştirilmesi Gereken Alanlar: Müşteri yönetimi, ürün geliştirme ve üretim yönetimi.

Strateji Önerileri: Dijital dönüşüm stratejilerinin belirlenmesinde öncelik verilmesi gereken alanlar.

Tablo Özet



Özet

Bu çalışma, metal işleme sektöründeki bir fabrikanın dijital olgunluk seviyesini belirleyerek Endüstri 4.0'a geçiş sürecinde stratejik eksiklikleri tespit etmeyi amaçlamaktadır. Literatürdeki birçok olgunluk modeli çalışmasının aksine, bu araştırma hem firmanın dijital dönüşüm seviyesini belirleyip hem de bu seviyenin sektör ortalamalarıyla karşılaştırmasını yaparak firmanın dijitalleşme sürecindeki konumunu net bir şekilde ortaya koymaktadır. Boğaziçi Üniversitesi'nin Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı (D3A) ile yapılan analiz, firmanın organizasyonel yapısında güçlü yönler olduğunu, ancak müşteri yönetimi ve üretim yönetimi alanlarında gelişime ihtiyacı olduğunu göstermiştir. Bu kapsamda, çalışmanın bulguları işletmelere dijital dönüşüm stratejilerini oluştururken yol gösterici niteliktedir.

Abstract

This study aims to identify strategic deficiencies in the transition to Industry 4.0 by determining the digital maturity level of a factory in the metal processing sector. Unlike many maturity model studies in the literature, this research not only assesses the company's level of digital transformation but also compares it with sector averages, clearly revealing the company's position in the digitalization process. The analysis conducted using Boğaziçi University's Digital Transformation Assessment Tool (D3A) shows that the company has strengths in its organizational structure but needs improvement in customer management and production management. In this context, the study's findings serve as a guide for businesses in formulating their digital transformation strategies.

*Corresponding author, e-mail: sgozdamar@kho.msu.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dördüncü Sanayi Devrimi ya da yaygın adıyla Endüstri 4.0, geleneksel üretim ve imalat süreçleri ile değer yaratma zincirlerinin dijital dönüşümünü ifade etmektedir. Bu dönüşüm, önceki üç sanayi devriminin getirdiği yeniliklerin bir uzantısıdır. Birinci Sanayi Devrimi, 18. yüzyılın sonlarında su ve buhar gücünün kullanımıyla mekanik üretimin önünü açmıştır [1,2]. 19. yüzyılın sonları ve 20. yüzyılın başlarında gerçekleşen İkinci Sanayi Devrimi ise elektrik enerjisinin kullanımına dayalı seri üretim hatları sayesinde kitlesel üretimi mümkün kılmıştır [2,3]. Üçüncü Sanayi Devrimi ise 20. yüzyılın ikinci yarısında elektronik ve bilgi teknolojilerinin kullanımıyla otomasyonun üretim süreçlerine entegre edilmesini sağlamıştır [2]. Endüstri 4.0, bir bakıma önceki üç dönemin bir birleşimi olarak, üretim teknolojilerinin dijitalleşmesini, siber-fiziksel sistemlerin entegrasyonunu ve bulut bilişim kullanımı ile maliyetlerin düşürülmesini hedefleyen önemli fırsatlar sunmaktadır [3].

Bu büyük değişim sürecinde, literatürde “Endüstri 4.0”, “Endüstriyel Nesnelerin İnterneti”, “İleri Üretim”, “Akıllı Üretim”, “Akıllı Fabrikalar” ve “Geleceğin Fabrikaları” gibi farklı isimlerle anılan, dördüncü sanayi devrimini niteleyen yenilikçi teknolojiler ortaya çıkmıştır. Bu teknolojiler; mikroelektronik, robotik, internet uygulamaları, veri işleme ve depolama, bulut bilişim, bilgi ve iletişim teknolojileri, siber-fiziksel sistemler, nesnelerin ve hizmetlerin interneti, yapay zeka, otonom ekipmanlar, katmanlı üretim gibi alanlardaki gelişmeleri kapsamaktadır [4]. Örneğin, sensörler aracılığıyla toplanan veriler, bulut bilişim

platformlarında analiz edilerek üretim süreçlerinin optimize edilmesi ve kestirimci bakım yapılması sağlanır.

Dünya genelindeki üretim ortamları, Endüstri 4.0’ın sunduğu avantajlardan en iyi şekilde yararlanmak için dönüşüm geçirmektedir [5]. Yeni teknolojilerin kullanımı, emek ve sermaye odaklı üretim sistemlerinden bilgi odaklı üretim sistemlerine geçişi mümkün kılmıştır [6]. Dijital dönüşüm ve otomasyon, imalat sektörü için vazgeçilmez hale gelmiş ve Endüstri 4.0’a doğru bir evrimi tetiklemiştir [1]. Bu evrim, üretim süreçlerinde verimliliği artırma, maliyetleri düşürme ve ürün kalitesini iyileştirme hedefleriyle şirketlerin daha esnek ve müşteri odaklı üretim yapmalarına olanak tanımaktadır [7]. Şirketlerin dijital dönüşüm ve teknolojik gelişmelerle uyum sağlama yetenekleri, özellikle esneklik, verimlilik ve müşteri odaklılık gibi konularda gelecekteki başarıları için kritik bir öneme sahiptir [8]. Bu yetenekler, şirketlerin değişen pazar koşullarına hızlı bir şekilde adapte olmalarını, müşteri taleplerine daha iyi yanıt vermelerini ve rekabet avantajı elde etmelerini sağlar [9]. Rekabet avantajı elde etmek isteyen şirketler, inovasyon ve hızlı adaptasyonu destekleyen sanal ve fiziksel yapıları benimsemeye yönelmektedirler [1]. İmalat şirketleri, Endüstri 4.0 çağında rekabetçi kalabilmek için dijital dönüşüme ayak uydurmak zorundadır [10]. Teknolojik ilerlemeler, imalat sektörü için yeni fırsatlar yaratmaktadır. Özellikle yapay zeka, nesnelerin interneti ve büyük veri analitiği gibi alanlardaki gelişmeler, şirketlere verimliliklerini artırma konusunda önemli imkanlar sunmaktadır [11], [12]. Ancak, dijital teknolojilere yatırım yapmadan önce,

şirketlerin mevcut durumlarını ve farklı işlevlerdeki dijital teknolojilere ve organizasyonel süreçlere dair ihtiyaçlarını net bir şekilde anlamaları gerekmektedir [10]. Ne var ki, birçok şirket, özellikle de KOSGEB'in tanımına göre 250 kişiden az çalışanı ve yıllık net satış hasılatı veya mali bilançosundan biri 250 milyon Türk Lirasını aşmayan, ve bu çalışmada aksi belirtilmedikçe bu tanıma uygun olarak kullanılacak olan Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler (KOBİ)'ler bu yeni teknolojileri benimseme konusunda kararsızlık yaşamakta, dijital dönüşümün maliyet ve etkisi konusunda belirsizliklerle karşılaşmaktadır [1], [13]. Örneğin, KOBİ'ler genellikle dijital dönüşüm için gerekli yatırımları yapma konusunda finansal kaynak sıkıntısı çekmekte, bu teknolojileri kullanabilecek yetkinlikte personel bulmakta zorlanmakta ve dijital dönüşümün getireceği faydalar konusunda yeterince bilgi sahibi olmamaktadırlar. Birçok şirket Endüstri 4.0'ın genel çerçevesini anlasa da, bu vizyonu kendi iş stratejileriyle ilişkilendirmede zorluk çekmektedir [14]. Örneğin hangi birimde dijital dönüşüm uygulamalarına öncelik verilmesi gerektiği, firma veya bölüm için hangi teknolojilerin tercih edilmesinin daha uygun olacağı gibi kararların verilmesinde olgunluk modelleri yol gösterici olmaktadır [12,15]. Dijital dönüşümün potansiyel avantajlarının farkında olan firmalar dahi, mevcut süreçlerini şirket içi teknolojiler doğrultusunda yeniden yapılandırmak için net bir yol oluşturmakta zorlanabilmekte ve bu süreçte bir rehber ihtiyacı duyabilmektedir. Bu noktada olgunluk modelleri devreye girmektedir. Endüstri 4.0 olgunluk modelleri, kapsamlı bir yol haritası sağlayarak

firmalara bu süreçte rehberlik etmek için geliştirilmiştir [16,17].

Dijital dönüşümün ilk adımı olarak, işletmelerin mevcut durumlarını ve eksikliklerini tespit etmeleri gerekmektedir. Bu nedenle, işletmelerin dijital olgunluk modelleri aracılığıyla kapsamlı bir değerlendirme yapmaları önem arz etmektedir [18]. Endüstri 4.0'ın etkin bir şekilde uygulanması için şirketlerin olgunluk seviyelerini değerlendirmeleri ve geliştirmeleri kritik bir unsurdur [19]. Olgunluk modelleri, şirketlere mevcut durumlarını analiz etme, güçlü ve zayıf yönlerini belirleme, hedeflerine uygun stratejiler geliştirme ve dijital dönüşüm süreçlerinde rehberlik etme imkanı sunmaktadır [7]. Dijital teknolojilerin üretimde etkili bir şekilde uygulanabilmesi, belirli bir olgunluk seviyesine ulaşmayı gerektirir. Dolayısıyla, şirketlerin dijital dönüşüm yolculuğuna başlamadan önce mevcut durumlarını doğru bir şekilde analiz etmeleri ve olgunluk seviyelerini nesnel bir şekilde değerlendirmeleri büyük önem taşır [20].

İmalat endüstrisi, küresel çapta "Dördüncü Sanayi Devrimi" olarak adlandırılan büyük bir değişim sürecinden geçmektedir. Endüstri 4.0 olarak da tanımlanan bu değişim, bulut bilişim ve nesnelerin interneti gibi yeni dijital teknolojilerdeki üstel büyüme ile tetiklenmektedir. İmalat sektörünün Endüstri 4.0'a doğru dönüşümü, büyük bir endüstriyel değişime zemin hazırlamaktadır [15].

Türkiye'de Sosyal Güvenlik Kurumu istatistiklerine göre, metal imalat sektörü en çok işyerine ve çalışana sahip sektörler arasında yer almaktadır [21]. Bu çalışmada, metal işleme sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın mevcut dijital olgunluk düzeyinin belirlenmesi ve bu

düzeyi artırmak için stratejiler geliştirilmesi amaçlanmıştır. Olgunluk değerlendirmesi için Boğaziçi Üniversitesi tarafından geliştirilen ve Türkiye'de bir sanayi bölgesinde başarıyla uygulanmış ve doğrulanmış olan Dijital Dönüşüm Değerlendirme Aracı (D3A) kullanılmıştır. D3A'nın tercih edilme sebebi, modelin imalat sektörü odaklı olması ve Türkiye'deki benzer firmalarda geçerliliğinin kanıtlanmış olmasıdır [22].

Literatürdeki araştırmalarda, olgunluk modelleri genellikle firmaların sadece mevcut durumlarını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Ancak bu çalışmada, metal işleme sektöründen bir firmanın olgunluk puanı, Yıldız'ın "Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeler İçin Dijital Olgunluk Modelinin Geliştirilmesi: Türkiye'de Bir Vaka Çalışması" adlı çalışmasında sanayi bölgesindeki firmalar için belirlenen genel olgunluk ortalamaları ve metal sektöründeki firmaların ortalama olgunluk puanları ile karşılaştırılmıştır [22]. Bu yaklaşım, firmanın dijital dönüşümdeki konumunu daha net bir şekilde ortaya koyarak sektör içindeki performansının değerlendirmesini sağlamaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde dijital olgunluk modelleri üzerine yapılan uygulamalar değerlendirilmekte, üçüncü bölümde ise araştırma metodolojisi açıklanmaktadır. Dördüncü ve beşinci bölümlerde bulgular ve analiz süreci detaylandırılarak, firmanın sektördeki diğer işletmelerle karşılaştırmalı durumu tartışılmaktadır. Son olarak, firmanın dijital dönüşüm stratejilerini geliştirmeye yönelik öneriler sunulmaktadır.

2. DİJİTAL OLGUNLUK MODELLERİ UYGULAMALARI (APPLICATIONS OF DIGITAL MATURITY MODELS)

Son yıllarda endüstriyel sektörlerdeki hızlı değişim ve gelişmeler, imalat şirketlerinin karşılaştığı zorlukları anlamalarını ve bu zorluklara etkili çözümler bulmalarını gerektirmiştir. Bu bağlamda, birçok araştırmacı ve uzman, imalat şirketlerinin Endüstri 4.0'a geçiş süreçlerini anlamak, değerlendirmek ve yönetmek için farklı olgunluk modelleri ve değerlendirme araçları geliştirmiştir. Zamanında ve doğru yapılan teknoloji hazırlığı değerlendirmelerinin amacı, yönetimin en son teknolojinin kullanımıyla ilgili kararlar almasına destek olmaktır [9]. Bu bölümde, dijital olgunluk modellerinin uygulamalarını ele alan çalışmalardan örnekler sunulmuştur. Tablo 1'de özetlenen çalışmalar, yayın tarihine göre kronolojik olarak sıralanmış ve literatürdeki çeşitlilik ile kapsamı yansıtacak şekilde derlenmiştir.

Lichtblau ve arkadaşları, IMPULS Vakfı tarafından desteklenen Alman Makine Mühendisleri Endüstri Birliği uzmanları ve çeşitli sektör temsilcileri IMPULS Endüstri 4.0 olgunluk modelini oluşturmuşlardır. Bu model ile özellikle imalat firmalarının Endüstri 4.0'a ne ölçüde hazır olduklarını ve mevcut durumlarını değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Model; "Strateji ve Organizasyon", "Akıllı Fabrika", "Akıllı İşlemler", "Akıllı Ürünler", "Veri Odaklı Hizmetler" ve "Çalışanlar" olmak üzere 6 temel boyuttan oluşmaktadır. Her boyut ile işletmelerin Endüstri 4.0'a geçiş sürecindeki ilerlemesini; yabancı, yeni başlayan, orta seviye, deneyimli, uzman ve en iyi performans olmak üzere 5 farklı seviyede değerlendirmişlerdir [23].

Schumacher ve arkadaşları, imalat işletmelerinin Endüstri 4.0'a hazır olma durumunu ve olgunluk seviyelerini değerlendirmek için bir olgunluk modeli önermişlerdir. Modeli, teknoloji odağını genişleterek organizasyonel unsurları da içerecek şekilde tasarlamışlardır. Bu doğrultuda, yazarlar "Ürünler", "Müşteriler", "Operasyonlar" ve "Teknoloji" boyutlarının yanı sıra; "Strateji", "Liderlik", "Yönetişim", "Kültür" ve "İnsanlar" olmak üzere organizasyonel boyutları da modele dahil etmişlerdir. Toplamda 9 boyut ve 62 maddeden oluşan modeli, bir anket aracılığıyla uygulamakta ve her bir maddeyi 1 ile 5 arasında değişen bir Likert ölçeği ile değerlendirmektedirler. Yazarlar, modeli Avusturya'da faaliyet gösteren ve yaklaşık 400 çalışanı bulunan bir havacılık ekipmanları üreticisine uygulamışlardır. Uygulama sonucunda, firmanın genel olgunluk seviyesini 2,6 olarak belirlemiş ve özellikle strateji boyutunda iyileştirme ihtiyacı olduğunu tespit etmişlerdir [1].

De Carolis ve arkadaşları, 6 anahtar boyuttan (strateji, liderlik, pazar, operasyonlar, insanlar ve teknoloji) oluşan bir dijital olgunluk modeli geliştirmişlerdir. Araştırmacılar, İtalya'daki üretim şirketlerinde gerçekleştirdikleri vaka çalışmalarıyla, modelin dijital dönüşüm süreçlerini anlamada ve yönetmede etkili olduğunu göstermişlerdir. Çalışmanın sonuçlarıyla, dijital olgunluğun, üretim süreçlerinin verimliliği, ürün kalitesi ve müşteri memnuniyeti üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca, dijital olgunluğun, üretim şirketlerinin rekabet gücünü artırmada önemli bir rol oynadığını vurgulamışlardır [20].

Şener ve arkadaşları, Türkiye'deki işletmeler için 5 boyuttan (strateji, teknoloji, organizasyon, süreçler ve insanlar) oluşan bir olgunluk modeli önermişlerdir. Model, işletmelerin Endüstri 4.0'a hazır olup olmadığını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Araştırmacılar, modeli Türkiye'deki çeşitli sektörlerden işletmelere uygulamışlar ve sonuç olarak, işletmelerin çoğunun Endüstri 4.0'a geçiş sürecinin başında olduğunu tespit etmişlerdir [16].

Almanya'da imalat sektöründe faaliyet gösteren firmaların Akıllı Hizmetler olgunluk seviyesini inceleyen Kaltenbach ve arkadaşları, bu alanda olgunluk seviyesini ölçmek için "Akıllı Hizmetler Sunma", "Gelecek Planları", "Akıllı Hizmet Sayısı", "Otomasyon Seviyesi" ve "Eş Zamanlı Mühendislik" olmak üzere 5 alt kategori belirlemişlerdir. 3 Alman imalat firması üzerinde yaptıkları uygulama sonucunda, firmaların Akıllı Hizmetler alanındaki olgunluk seviyelerinin teknoloji yönetimi, finansal kaynaklar ve şirket kültürü gibi faktörlere bağlı olarak değiştiğini ve özellikle eş zamanlı mühendislik ve otomasyon seviyesinin geliştirilmesi gereken alanlar olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışma, Akıllı Hizmetler gibi spesifik bir alanda olgunluk modellerinin nasıl uygulanabileceğine dair bir örnek sunmaktadır [24].

Hamidi ve arkadaşları, Malezya'daki KOBİ'lerin Endüstri 4.0'a hazır bulunuşluk durumunu değerlendirmek için IMPULS olgunluk modelini kullanmışlardır. Yazarlar, anket yöntemiyle veri toplayarak, Malezya'daki KOBİ'lerin mevcut durumunu analiz etmişlerdir. Araştırma sonuçları, Malezya'daki KOBİ'lerin özellikle çalışanların becerileri ve eğitimleri, veri odaklı hizmetler ve akıllı ürünler gibi boyutlarda

geliştirilmesi gereken alanlar olduğunu ortaya koymuştur. [19].

Colli ve arkadaşları, olgunluk modellerinin Endüstri 4.0 bağlamında nasıl uygulanabileceğine dair 4 aşamalı (farkındalık, kavrama, uygulama ve olgunluk) bir süreç önermişlerdir. Bu sürecin, işletmelerin Endüstri 4.0'a geçişlerini planlamalarına ve yönetmelerine yardımcı olmayı amaçladığını vurgulamaktadırlar. Araştırmacılar, İtalya'daki imalat şirketlerinde yaptıkları çalışmada, olgunluk modellerinin, işletmelerin dijital dönüşüm yolculuklarında bir yol haritası işlevi gördüğünü ve dijitalleşme stratejilerini geliştirmelerine katkı sağladığını belirtmişlerdir [15].

Bibby ve Dehe, savunma sanayi sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın Endüstri 4.0 olgunluk seviyesini değerlendirmek için "Geleceğin Fabrikası", "İnsan ve Kültür" ve "Strateji" olmak üzere 3 ana boyuttan oluşan bir model geliştirmişlerdir. "Geleceğin Fabrikası" boyutu; Katmanlı Üretim, Bulut Bilişim, Üretim Yürütme Sistemi, Nesnelerin İnterneti ve Siber-Fiziksel Sistemler, Büyük Veri, Sensörler, e-Değer Zincirleri ve Otonom Robotlar olmak üzere 8 alt boyuttan oluşmaktadır. Yazarlar, modeli İngiltere'de savunma sektöründe faaliyet gösteren bir ana firma ve tedarik zincirindeki 12 firma üzerinde uygulamışlardır. Uygulama sonucunda, ana firmanın olgunluk seviyesinin sektör ortalamasının üzerinde olduğunu belirlemişlerdir [25].

Schumacher ve arkadaşları, imalat işletmelerinin Endüstri 4.0 olgunluk seviyelerini değerlendirmek ve dijitalleşme yol haritaları oluşturmak için 10 adımlı bütüncül bir prosedür

modeli sunmuşlardır. Bu modelin temelini, 8 ana boyut ve 65 alt boyuttan oluşan bir olgunluk değerlendirmesi oluşturmaktadır. Bu boyutlar; "Teknoloji", "Ürünler", "Müşteriler ve Ortaklar", "Değer Yaratma Süreçleri", "Veri ve Enformasyon", "Kurumsal Standartlar", "Çalışanlar ve Strateji" ve "Liderlik" olarak sıralanmaktadır. Model, her bir alt boyut için ayrı ayrı tanımlanmış 4 olgunluk seviyesi içermektedir. Yazarlar, modeli 2 yıllık bir süre zarfında, farklı ülkelerdeki üretim tesislerinde test ederek doğrulamış ve iyileştirmişlerdir. Ayrıca, küresel bir Endüstri 4.0 stratejisi oluşturmayı hedefleyen bir imalat şirketinde modelin uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Uygulama sonucunda, firmanın mevcut olgunluk seviyelerini belirlemiş, her bir alt boyut için hedef olgunluk seviyeleri tanımlamış ve iyileştirme alanlarını tespit etmişlerdir. Bu iyileştirme alanlarını, önceliklendirerek şirkete özel bir dijital dönüşüm yol haritası oluşturmuşlardır [26].

Temur ve arkadaşları, IMPULS modelini kullanarak Türkiye'de inşaat, tekstil ve tel üretimi sektörlerinde faaliyet gösteren 3 öncü firmanın Endüstri 4.0'a hazır bulunuşluk seviyelerini analiz etmişlerdir. Ayrıca firmaların dijital dönüşümün operasyonel ve sosyo-ekonomik etkilerine ilişkin farkındalıklarını da incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarının, inceledikleri firmaların Endüstri 4.0'a adaptasyon sürecinde yol haritası hazırlamada ve yeni iş gücü planlama stratejileri geliştirme konusunda eksiklikleri olduğunu ve belirsiz bir ortamda öncü olmaktan ziyade takipçi olmayı tercih ettiklerini gösterdiğini belirtmişlerdir [27].

Gajsek ve arkadaşları ise KOBİ'ler için 7

boyuttan (strateji, liderlik, pazar, ürünler, operasyonlar, kültür ve insanlar) oluşan bir dijital olgunluk değerlendirme modeli geliştirmişlerdir. Model, KOBİ'lerin dijital dönüşüm süreçlerindeki güçlü ve zayıf yönlerini belirlemelerine yardımcı olmayı hedeflemektedir. Araştırmacılar, modeli Slovenya'daki KOBİ'lere uygulamışlar ve KOBİ'lerin dijital olgunluk seviyelerinin, sektöre ve işletme büyüklüğüne göre değiştiğini gözlemlemişlerdir [5].

Lin ve arkadaşları, Tayvanlı işletmelerin akıllı üretime hazır olma durumlarını değerlendirmek için Singapur Ekonomik Kalkınma Kurulu tarafından geliştirilen Akıllı Endüstri Hazırlık Endeksi'ni (SIRI) temel alan bir olgunluk modeli kullanmışlardır. Model, "Süreç", "Teknoloji" ve "Organizasyon" olmak üzere 3 ana yapı taşı ve 8 temel sütun altında 16 boyuttan oluşmaktadır. Yazarlar, modeli Tayvan'da faaliyet gösteren 80 işletmeye uygulamışlardır. Anket sonuçlarına göre, işletmelerin olgunluk seviyeleri, olgunlaşmamış (seviye 0-1), kısmen olgunlaşmış (seviye 2-3) ve olgun (seviye 4-5) olmak üzere üç kategoride sınıflandırılmıştır. Araştırma sonuçları, incelenen işletmelerin çoğunun (%83) olgunlaşmamış veya kısmen olgunlaşmış olduğunu ve Endüstri 4.0'a yönelik dönüşüm stratejilerini iyileştirmeleri gerektiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, boyutlar arasında pozitif bir korelasyon olduğunu belirlemişlerdir [28].

Bandara ve arkadaşları, Sri Lanka bankacılık sektörünün Endüstri 4.0 olgunluk seviyesini değerlendirmek amacıyla, literatürdeki çalışmalardan uyarladıkları bir modeli kullanmışlardır. Model; "Ürünler ve Hizmetler", "Teknoloji ve Kaynaklar", "Strateji ve

Organizasyon", "Operasyonlar", "Müşteriler", "Yönetişim" ve "Çalışanlar" olmak üzere 7 boyuttan oluşmaktadır. Yazarlar, modeli Sri Lanka'daki 10 bankanın üst düzey yöneticileriyle görüşmeler yaparak ve anket uygulayarak test etmişlerdir. Yazarlar, olgunluk seviyelerini 5 aşamalı bir ölçekte değerlendirmişlerdir. Araştırma sonucunda, Sri Lanka bankacılık sektörünün genel olgunluk seviyesinin "Tanımlanmış" seviyede (3,668) olduğunu belirlemişlerdir [29].

Türkiye'de lojistik sektöründe faaliyet gösteren firmaların Endüstri 4.0 olgunluk düzeylerini belirlemek amacıyla, Baki ve Serdar yaptıkları çalışmada, IMPULS olgunluk modelini temel alarak iki farklı yaklaşım önermişlerdir. Yazarlar, Ağırlıklandırılmış Olgunluk Puan Hesaplama Modeli Yaklaşımı ve Çok Kriterli Olgunluk Modeli Yaklaşımı (AHP-TOPSIS ve AHP-VIKOR) yöntemlerini kullanarak, 10 lojistik firmasının olgunluk düzeylerini değerlendirmiş ve firmaları sıralamışlardır. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemiyle belirledikleri kriter ağırlıklarına göre, "Strateji ve Organizasyon" kriteri en yüksek ağırlığa sahip olurken, "Veri Odaklı Hizmetler" kriterinin en düşük ağırlığa sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmada ayrıca, kriter ağırlıklarının değiştirilmesinin sıralamaya etkisini, duyarlılık analizi ile incelemişlerdir [7].

Moura ve Kohl, Brezilya ve Almanya'daki şirketlerin Endüstri 4.0 olgunluk seviyelerini karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir. Çalışmada, Alman Makine ve Ekipman İmalatçıları Birliği tarafından geliştirilen ve altı boyuttan (strateji ve organizasyon, akıllı fabrika, akıllı operasyonlar, akıllı ürünler, veri odaklı

hizmetler ve çalışanlar) oluşan "Endüstri 4.0 Hazırlık Modeli"ni kullanmışlardır. Araştırmacılar, modeli Almanya'da 289 ve Brezilya'da 46 şirkete uygulamışlardır. Her iki ülkedeki şirketlerin genel ortalama olgunluk seviyesini 0-5 ölçeğinde 0,9 olarak bulmuşlar ve "Başlangıç" seviyesinde sınıflandırmışlardır. Bununla birlikte, Alman firmalarının %5,6'sının "İleri" seviyede olduğu, Brezilya'da ise bu seviyede hiçbir firmanın bulunmadığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, Alman firmalarının özellikle "Akıllı Ürünler" boyutunda, Brezilyalı firmalara göre daha yüksek olgunluk seviyesine sahip olduğunu belirlemişlerdir [14].

Wagire ve arkadaşları, Hindistan'daki imalat sanayi işletmeleri için Endüstri 4.0 olgunluk seviyelerini değerlendirmeye yönelik bir model önermişlerdir. Bu model, "İnsan ve Kültür", "Endüstri 4.0 Farkındalığı", "Organizasyonel Strateji", "Değer Zinciri ve Süreçler", "Akıllı Üretim Teknolojisi", "Ürün ve Hizmet Odaklı Teknoloji" ve "Endüstri 4.0 Temel Teknolojisi" olmak üzere 7 boyuttan ve 38 olgunluk ögesinden oluşmaktadır. Yazarlar, modelin geliştirilmesinde uzman görüşlerinden ve AHP yönteminden yararlanmışlardır. Modeli bir otomotiv yan sanayi firmasında uygulamışlar ve firmanın "Dijital Acemi" olgunluk seviyesinde (en yüksek 5 üzerinden 2,88 puan) olduğunu tespit etmişlerdir [30].

Rafael ve arkadaşları, takım tezgahı şirketleri için "Takım Tezgahı Şirketleri için Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli" adını verdikleri bir olgunluk modeli geliştirmişlerdir. Model; "Strateji ve Organizasyon", "Akıllı Fabrika", "Akıllı Operasyonlar", "Akıllı Ürünler", "Veri Odaklı Hizmetler" ve "Çalışanlar" olmak üzere 6 ana

boyuttan oluşmaktadır. Yazarlar, daha önce doğrulanmış modellere ve olgunluk modelleriyle ilgili standartlara dayalı olarak tasarladıkları bu modeli, sektörde faaliyet gösteren bir takım tezgahı üreticisinde uygulamışlardır. Uygulama sonucunda, şirketin özellikle dijital dönüşüm vizyonunun net olarak tanımlanması, yol haritasının oluşturulması, gerekli kaynakların ayrılması ve çalışanların dijital yetkinliklerinin geliştirilmesi gibi alanlarda iyileştirmeler yapması gerektiğini belirlemişlerdir [11].

Yıldız, çalışmada imalat sektöründeki KOBİ'lerde kullanılması amacıyla D3A'yı geliştirmiştir. Bu model ile farklı sektörlerde üretim yapan 100 KOBİ'nin dijital dönüşüm seviyesini ölçmüş, modelin geçerlilik ve doğruluğunu kanıtlamıştır. D3A skoru = 1,49 olan metal endüstrisinin; organizasyonel yapı ve üretim boyutlarında yüksek puanlar aldığı ve tüm endüstriler arasında en yüksek organizasyonel yapı puanlarına sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır. Metal sektöründeki firmaların; üretim boyutunun en düşük dijital değerlendirme boyutu olmasına rağmen, müşteri, ürün yönetimi ve tedarik zinciri boyutlarında orta düzeyde puanlar elde ettiğini raporlamıştır [22].

Ünal ve arkadaşları, Türkiye'de imalat sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin Endüstri 4.0 olgunluk seviyelerini değerlendirmek amacıyla Sanayi 4.0 Olgunluk (SANOL) Modeli adını verdikleri bir model geliştirmişlerdir. "Strateji ve Yönetim", "Müşteriler ve Tedarikçiler", "Çalışanlar ve Kurum Kültürü", "Teknoloji", "Veri ve Güvenlik" ile "Destekler ve Teşvikler" olmak üzere 6 boyuttan oluşan bu model, literatürdeki diğer modellerden farklı olarak "Destekler ve Teşvikler" boyutunu da

içermektedir. Yazarlar, bu boyutun eklenmesiyle, düzenleyici ve denetleyici otoriteler tarafından sağlanacak teşviklerin, işletmelerin Endüstri 4.0'a geçişini hızlandıracağını ve kolaylaştıracağını vurgulamışlardır. Modeli, Ankara Sanayi Odası Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren çeşitli sektörlerden 87 işletmeye uygulamış ve işletmelerin olgunluk seviyelerini; kuruluş yılı, faaliyet gösterdikleri sektör, işletme büyüklüğü, sermaye yapısı ve yıllık ciro gibi değişkenlere göre analiz etmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda, katılımcı işletmelerin çoğunun Endüstri 4.0 olgunluk seviyelerinin düşük olduğunu ve dijital dönüşüm süreçlerinde henüz yolun başında olduklarını tespit etmişlerdir [12].

Demir ve arkadaşları, Şanlıurfa ilinde faaliyet gösteren KOBİ'lerin Endüstri 4.0 farkındalıklarını ve olgunluk seviyelerini araştırmışlardır. 120 KOBİ üzerinde yapılan anket çalışması, KOBİ'lerin Endüstri 4.0 farkındalık seviyelerinin orta düzeyde olduğunu göstermiştir. Ayrıca, Akıllı ve Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Hazırlık ve Olgunluk (ASTZHO) modelini kullanarak, dört farklı sektörden (makine, enerji, tekstil ve gıda) 12 firmanın Endüstri 4.0 olgunluk seviyelerini değerlendirmişlerdir. Analizler, olgunluk seviyelerinin sektöre, sürdürülebilirlik boyutlarına ve Endüstri 4.0 araçlarına göre farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle, tekstil ve gıda sektörlerindeki KOBİ'lerin teknolojik altyapılarını geliştirerek Endüstri 4.0 farkındalıklarını artırmaları gerektiğini vurgulamışlardır [31].

Chen ve arkadaşları, Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı (DEMATEL)

yöntemini kullanarak dijital dönüşüm kriterleri arasındaki ilişkiyi görselleştirmiş, Analitik Ağ Süreci (ANP) yöntemiyle göstergelerin ağırlıklarını belirlemiş ve sonrasında bulanık kapsamlı değerlendirme yöntemini kullanarak KOBİ'lerin dijital olgunluklarını değerlendirmişlerdir. Model, "Strateji", "Organizasyon ve İnsanlar", "Bilgi Teknolojileri", "Süreç ve Yönetim", "Entegrasyon" ve "İnovasyon" olmak üzere 6 boyutu kapsamaktadır. Yazarlar, modeli KOBİ'lere uygulayarak, dijital strateji ve bilgi teknolojilerinin işletmelerin dijital dönüşümünde kilit rol oynadığını, dijital süreç ve dijital inovasyonun ise KOBİ'lerin karşılaştığı temel sorunlar olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca, işletmelerin dijital olgunluklarının endüstriyel altyapı, bölgesel politikalar ve sektör türleri gibi faktörlerle ilişkili olduğunu belirlemişlerdir [32].

Merdin ve arkadaşları Türkiye'deki işletmelerin dijital olgunluk seviyelerini ölçmek için "Dijital Olgunluk Modeli"ni önermişlerdir. Model; "Strateji", "Müşteri", "Çalışan", "Süreç Yönetimi", "Teknoloji ve Veri Yönetimi", "Organizasyonel Kültür" ve "İnovasyon" olmak üzere 7 boyuttan oluşmaktadır. Yazarlar, modelin uygulanabilirliğini göstermek için Türkiye'deki işletmeler üzerinde bir ölçek çalışması gerçekleştirmişlerdir. Ölçekleri, 499 maddeden oluşmakta ve hem dijital dönüşümle ilgili algı düzeyini ölçen soruları hem de işletmelerin mevcut dijital uygulamalarını sorgulayan maddeleri içermektedir. Çalışmalarında, çevresel faktörlerin (teşvikler, yasal düzenlemeler vb.) dijital olgunluk modellerinde yeterince dikkate alınmadığını ortaya koymuş ve bu boyutu kendi modellerine dahil etmişlerdir [18]

Senna ve arkadaşları, 55 farklı dijital olgunluk modelini sistematik bir literatür taramasıyla incelemiş ve bu modelleri TOE (Teknoloji-Organizasyon-Çevre) çerçevesinin altında sınıflandırmışlardır. Geliştirdikleri model, 3 ana boyut, 12 eksen ve 50 maddeden oluşmaktadır. Modelin uygulanabilirliğini test etmek amacıyla, çeşitli imalat sektörlerinde faaliyet gösteren 24 Portekiz firması üzerinde odak grup çalışması ve iki aşamalı vaka araştırması gerçekleştirilmişlerdir. Araştırma sonuçları ile mevcut dijital olgunluk modellerinin çevre boyutunu yeterince dikkate almadığını ve firmaların organizasyonel ve çevresel kısıtlamaları göz önünde bulundurmadan dijital teknolojilere yatırım yapma eğiliminde olduklarını ortaya koymuşlardır [33].

Akyüz ve Balkan, Türkiye'de cam balkon üretimi yapan bir işletmede akıllı üretim olgunluk seviyesini değerlendirmek için çok boyutlu bir olgunluk değerlendirme aracı kullanmışlardır. Yazarlar, “Bilgi Kullanılabilirliği Olgunluğu”, “Teknolojik Olgunluk”, “Organizasyonel Olgunluk”, “Yönetimsel Olgunluk” ve “İnsan Kaynakları” olgunluğu olmak üzere 5 ana boyuttan oluşan bir model önermişlerdir. Model, her bir boyut için belirli kriterleri ve bu kriterlere ilişkin olgunluk seviyelerini içermektedir. Akyüz ve Balkan modeli, Türkiye'de cam balkon üretimi yapan bir firmaya uygulayarak, firmanın mevcut olgunluk seviyesini belirlemiş ve her bir boyut için iyileştirme önerileri sunmuşlardır.

Çalışmada, ağırlıklandırılmış olgunluk indeksi hesaplama yöntemi kullanarak, firmanın genel olgunluk seviyesini de sayısal olarak ortaya koymuşlardır [34].

Sukrat ve Leeraphong, Tayland'daki mikro işletmelerin (Türkiye'deki KOSGEB tanımına göre, 10 kişiden az çalışanı ve yıllık net satış hasılatı veya mali bilançosundan bir 5 milyon Türk Lirasını aşmayan işletmelere karşılık gelmektedir [13].) dijital dönüşüm süreçlerini incelemiş ve “İş Stratejisi”, “Süreç”, “Teknoloji” ve “İnsan” olmak üzere 4 boyuttan oluşan bir olgunluk modeli geliştirmişlerdir. Yazarlar, başlangıç, orta, deneyimli ve lider şeklinde 4 olgunluk seviyesi tanımlamışlardır. 12 mikro işletme üzerinde yaptıkları çalışmada, gelişmekte olan ülkelerdeki mikro işletmelerin dijital dönüşümünün, yetersiz kaynaklar, yüksek teknoloji maliyetleri ve yetersiz devlet desteği gibi engeller nedeniyle gelişmiş ülkelerdeki işletmelere kıyasla daha yavaş ilerlediğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, dijital dönüşüm stratejilerindeki değişimin; nitelikli personel eksikliği, yetersiz bilgi teknolojileri altyapısı, değişime karşı direnç ve stratejik uyum eksikliği gibi faktörlerden kaynaklandığını bulmuşlardır. Model, gelişmekte olan ülkelerdeki mikro işletmelerin dijital dönüşüm yolculuğunda mevcut durumlarını değerlendirmelerine ve iyileştirme alanlarını belirlemelerine yardımcı olacak bir araç olarak önerilmektedir [35].

Tablo 1: Olgunluk Modeli Uygulaması İçeren Örnek Çalışmalar.

Referans	Sektör	Olgunluk Modeli	Boyutlar	Uygulama ve Öne Çıkan Bulgular
(Lichtblau vd., 2015) [23]	İmalat	IMPULS	Strateji ve Organizasyon Akıllı Fabrika Akıllı Operasyonlar Akıllı Ürünler Veri Odaklı Hizmetler Çalışanlar	Alman firmalarına yönelik bir öz-değerlendirme aracı geliştirilmiştir. Alman makine ve ekipman imalatı sektöründeki firmaların genel olgunluk seviyesinin düşük olduğu tespit edilmiştir.
Schumacher vd. (2016)	İmalat	9 Boyutlu Model	Strateji Liderlik Müşteriler Ürünler Operasyonlar Kültür İnsanlar Yönetişim Teknoloji	Model, Avusturya'da havacılık ekipmanları üreten bir imalat firmasına pilot çalışma olarak uygulanmıştır. Strateji boyutunda zayıflıklar olduğu belirlenmiştir.
De Carolis vd. (2017)	İmalat	6 Boyutlu Model	Strateji Liderlik Pazar Operasyonlar İnsanlar Teknoloji	İtalya'daki üretim şirketlerinde yapılan çalışmada, dijital olgunluğun; üretim süreçlerinin verimliliği, ürün kalitesi ve müşteri memnuniyeti üzerinde olumlu bir etkisi olduğu saptanmıştır.
(Şener vd., 2018) [16]	Belirtilmemiş	5 Boyutlu Model	Strateji Teknoloji Organizasyon Süreçler İnsanlar	Türkiye'de farklı sektörlerden firmalar incelenmiş ve çoğunun Endüstri 4.0 geçiş sürecinin başında olduğu gözlemlenmiştir.
(Kaltenbach vd., 2018)	İmalat	Akıllı Hizmetler Olgunluk Modeli	Akıllı Hizmetler Sunma Gelecek Planları Akıllı Hizmet Sayısı Otomasyon Seviyesi Eş Zamanlı Mühendislik	Üç Alman imalat firması üzerinde yapılan analizde; teknoloji yönetimi, finansal kaynaklar ve şirket kültürünün dijital olgunluk seviyesinde belirleyici faktörler olduğu sonucuna varılmıştır.
Hamidi vd. (2018)	KOBİ'ler	IMPULS	Strateji ve Organizasyon Akıllı Fabrika Akıllı Operasyonlar Akıllı Ürünler Veri Odaklı Hizmetler Çalışanlar	Malezya'daki KOBİ'ler için yapılan çalışmada; çalışan becerileri, veri odaklı hizmetler ve akıllı ürünler boyutlarında gelişim ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir.
Colli vd. (2018)	İmalat	4 Aşamalı Süreç Modeli	Farkındalık Kavrama Uygulama Olgunluk	İtalya'daki imalat şirketleri üzerinde yapılan analizler, olgunluk modellerinin dijital dönüşüm sürecinde bir yol haritası olarak kullanılabileceğini göstermiştir.
Bibby ve Dehe (2018)	Savunama Sanayi	3 Boyutlu Model	Geleceğin Fabrikası İnsan ve Kültür Strateji	İngiltere'de bir ana firma ve 12 tedarikçi firma incelenmiştir. Ana firmanın sektör ortalamasının üzerinde bir olgunluk seviyesine sahip olduğu, ancak tedarikçilerin olgunluk seviyelerinin farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Referans	Sektör	Olgunluk Modeli	Boyutlar	Uygulama ve Öne Çıkan Bulgular
Schumacher vd. (2019)	İmalat	10 Adımlı Bütüncül Prosedür Modeli	Teknoloji Ürünler Müşteriler ve Ortaklar Değer Yaratma Süreçleri Veri ve Enformasyon Kurumsal Standartlar Çalışanlar Strateji ve Liderlik	Model, farklı ülkelerdeki üretim tesislerinde test edilmiştir. Bir imalat firmasının olgunluk seviyeleri belirlenerek, iyileştirme alanları tanımlanmıştır.
(Temur vd., 2019) [27]	İnşaat Tekstil Tel Üretimi	IMPULS	Strateji ve Organizasyon Akıllı Fabrika Akıllı Operasyonlar Akıllı Ürünler Veri Odaklı Hizmetler Çalışanlar	Türkiye'de inşaat, tekstil ve tel üretimi sektörlerinde faaliyet gösteren üç firma incelenmiştir. Firmalarda iş gücü planlaması konusunda eksiklikler olduğu ve takipçi bir strateji benimsedikleri gözlemlenmiştir.
Gajsek vd. (2019)	KOBİ'ler	7 Boyutlu Model	Strateji Liderlik Pazar Ürünler Operasyonlar Kültür İnsanlar	Slovenya'daki KOBİ'lerin dijital olgunluk seviyelerinin sektöre ve işletme büyüklüğüne göre değiştiği sonucuna ulaşılmıştır.
Lin vd. (2019)	KOBİ'ler	Akıllı Endüstri Hazırlık Endeksi (SIRI)	Süreç Teknoloji Organizasyon	Tayvan'daki işletmelerin %83'ünün olgunlaşmamış veya kısmen olgunlaşmış olduğu bulunmuştur. Süreç, teknoloji ve organizasyon boyutları arasında pozitif bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir.
Bandara vd. (2019)	Bankacılık	7 Boyutlu Model	Ürünler ve Hizmetler Teknoloji ve Kaynaklar Strateji ve Organizasyon Operasyonlar Müşteriler Yönetişim Çalışanlar	Sri Lanka'daki 10 bankanın üst düzey yöneticileriyle görüşmeler ve anketler yapılmıştır. Bankacılık sektörünün genel olgunluk seviyesinin "Tanımlanmış" kategorisinde olduğu belirlenmiştir.
(Baki ve Serdar, 2020) [7]	Lojistik	IMPULS	Strateji ve Organizasyon Akıllı Fabrika Akıllı Operasyonlar Akıllı Ürünler Veri Odaklı Hizmetler Çalışanlar	AHP-TOPSIS ve AHP-VIKOR yöntemleri kullanılarak 10 lojistik firması sıralanmıştır. Strateji ve organizasyon boyutunun en yüksek ağırlığa sahip olduğu, veri odaklı hizmetler boyutunun ise en düşük ağırlığa sahip olduğu belirlenmiştir.
Moura ve Kohl (2020)	Belirtilmemiş	Endüstri 4.0 Hazırlık Modeli	Strateji ve Organizasyon Akıllı Fabrika Akıllı Operasyonlar Akıllı Ürünler Veri Odaklı Hizmetler Çalışanlar	Almanya'da 289, Brezilya'da 46 firma incelenmiştir. Ortalama olgunluk seviyesi 0,9 (0-5) olarak hesaplanmıştır. Alman firmalarının %5,6'sının "İleri" seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Referans	Sektör	Olgunluk Modeli	Boyutlar	Uygulama ve Öne Çıkan Bulgular
Wagire vd. (2020)	İmalat	7 Boyutlu Model	İnsan ve Kültür Endüstri 4.0 Farkındalığı Organizasyonel Strateji Değer Zinciri ve Süreçler Akıllı Üretim Teknolojisi Ürün ve Hizmet Odaklı Teknoloji Endüstri 4.0 Temel Teknolojisi	Hindistan'da bir otomotiv yan sanayi firmasına Bulanık AHP yöntemi uygulanmıştır. Firmanın "Dijital Acemi" (2.88/5) olarak sınıflandırıldığı belirlenmiştir.
Rafael vd. (2020)	Takım Tezgahı	Takım Tezgahı Şirketleri için Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli	Strateji ve Organizasyon Akıllı Fabrika Akıllı Operasyonlar Akıllı Ürünler Veri Odaklı Hizmetler Çalışanlar	Bir takım tezgahı üreticisi üzerinde yapılan çalışmada; dijital dönüşüm vizyonunun net bir şekilde tanımlanması, bir yol haritası oluşturulması ve çalışanların dijital yetkinliklerinin geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.
(Yıldız, 2021) [22]	İmalat	D3A	Üretim Müşteri Ürün Tedarik Zinciri Organizasyonel Yapı	Türkiye'deki 100 KOBİ'nin ortalama D3A skoru 1,26/4 olarak hesaplanmıştır. Tedarik zinciri boyutunun en düşük olgunluk seviyesine sahip olduğu belirlenmiştir.
(Ünal vd., 2022) [12]	İmalat	SANOL	Strateji ve Yönetim Müşteriler ve Tedarikçiler Çalışanlar ve Kurum Kültürü Teknoloji Veri ve Güvenlik Destekler ve Teşvikler	Türkiye'deki 87 işletme incelenmiştir. İşletmelerin çoğunun olgunluk seviyesinin düşük olduğu ve "Destekler ve teşvikler" boyutunun bu modele özgü olduğu belirtilmiştir.
(Demir vd., 2022) [31]	Makine Enerji Tekstil ve Gıda	ASTZHO	Endüstri 4.0 araçlarının, sürdürülebilirlik boyutlarına olan katkısını, farklı seviyelerde (anlaşılma, uygulanma, gelişim) incelemektedir.	Türkiye'deki 120 KOBİ'nin Endüstri 4.0 araçlarına yönelik farkındalık seviyelerinin orta düzeyde olduğu belirlenmiştir. Olgunluk seviyelerinin ise sektöre ve incelenen boyutlara göre farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir.
Chen vd. (2022)	KOBİler	DEMATEL-ANP ve Bulanık Kapsamlı Değerlendirme Yöntemi	Strateji, Organizasyon ve İnsanlar Bilgi Teknolojileri Süreç ve Yönetim Entegrasyon İnovasyon	Model, Çin'deki KOBİ'lere uygulanmıştır. Dijital strateji ve bilgi teknolojilerinin kilit rol oynadığı, dijital süreç ve inovasyonun ise temel sorun alanları olduğu sonucuna varılmıştır.
(Merdin vd., 2023) [18]	Belirtilmemiş	7 Boyutlu Model	Strateji Müşteri Çalışan Süreç Yönetimi Teknoloji ve Veri Yönetimi Organizasyonel Kültür İnovasyon	Türkiye'deki işletmelerde yapılan analizlerde, çevresel faktörlerin olgunluk modellerinde yeterince dikkate alınmadığı tespit edilmiştir.
Senna vd. (2023)	İmalat	TOE Çerçevesine Dayalı Model	Teknoloji Organizasyon Çevre	Portekiz'deki 24 firma üzerinde odak grup çalışması ve vaka araştırması gerçekleştirilmiştir. Mevcut olgunluk modellerinin çevre boyutunu yeterince dikkate almadığı sonucuna varılmıştır.

Referans	Sektör	Olgunluk Modeli	Boyutlar	Uygulama ve Öne Çıkan Bulgular
(Akyüz ve Balkan, 2024) [34]	Cam Balkon İmalatı	Akıllı Üretim Olgunluk Modeli	Bilgi Kullanılabilirliği Teknolojik Organizasyonel Yönetimsel ve İnsan Kaynakları Olgunluğu	Türkiye'deki bir cam balkon üreticisi için olgunluk modeli uygulanmış ve iyileştirme önerileri sunulmuştur.
Sokrat ve Leeraphong, (2024)	Mikro İşletmeler	4 Boyutlu Model	İş Stratejisi Süreç Teknoloji İnsan	Tayland'daki 12 mikro işletme incelenmiştir. Gelişmekte olan ülkelerdeki mikro işletmelerin dijital dönüşümünün yavaş ilerlediği tespit edilmiştir.

Tablo 1'de özetlenen literatürdeki çalışmalar, dijital olgunluk modellerinin farklı sektörlerde, farklı ülkelerde ve farklı ölçekteki firmalarda uygulanabileceğini göstermektedir. Bu modeller, firmaların dijital dönüşüm süreçlerindeki mevcut durumlarını değerlendirmelerine, güçlü ve zayıf yönlerini belirlemelerine ve iyileştirme alanlarına odaklanmalarına yardımcı olmaktadır. İncelenen modeller, genel olarak teknoloji, organizasyon, strateji, insan ve süreç gibi boyutları ele alırken, bazılarında müşteri, veri, inovasyon ve çevresel faktörler gibi boyutlar da dikkate alınmıştır. Modellerin uygulanmasında ise anket, mülakat, vaka çalışması ve AHP, TOPSIS, VIKOR gibi çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada ise metal işleme sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikanın dijital olgunluk seviyesi belirlenmiştir. Ancak bu araştırma, literatürdeki benzerlerinden ayrılarak yalnızca firmanın dijital olgunluk seviyesini belirlemekle kalmamış, aynı zamanda bu seviyeyi sektördeki genel olgunluk seviyeleriyle karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma, Yıldız'ın çalışmasında yer alan metal işleme sektöründeki veriler temel alınarak yapılmış ve böylece firmanın dijital olgunluk düzeyinin sektörel konumunu daha net bir şekilde ortaya koymuştur [22]. Bu kapsamlı analiz, çalışmanın sektörel

bakış açısını güçlendirmekte ve literatüre Türkiye'deki metal işleme sektöründeki bir KOBİ'nin dijital olgunluk seviyesinin D3A modeli ile derinlemesine incelenmesi ve sektör ortalamaları ile karşılaştırılması yoluyla özgün bir katkı sunmaktadır.

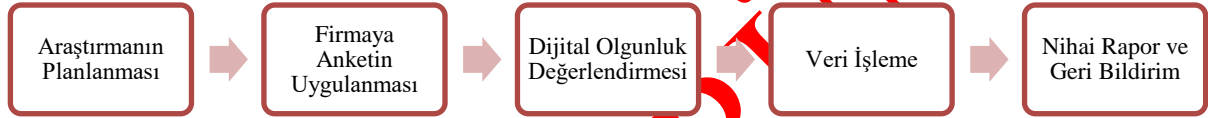
3. ARASTIRMA METODOLOJİSİ

Araştırma Şekil 1'de gösterilen adımlarla gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, araştırmanın kapsamı ve hedefleri belirlenmiş ve dijital olgunluk seviyesinin ölçülmesinde kullanılacak olan D3A modeli seçilmiştir. Planlama aşamasında, çalışma konusu olan firmanın faaliyet alanı ve dijital dönüşüm ihtiyaçları göz önünde bulundurularak anket soruları bu modele göre uyarlanmıştır. Anket formu, firmanın çeşitli departmanlarından çalışanlarla gerçekleştirilen görüşmeler yoluyla toplanmıştır. Anketler, analiz edilen şirketin dijital olgunluk seviyesini doğru ve kapsamlı bir şekilde değerlendirmek amacıyla, organizasyonun farklı kademelerindeki çalışanlara dağıtılmıştır. Katılımcılar, anket sorularına iş süreçleri, teknoloji kullanımı ve dijital yetkinlikler hakkında geri bildirim sağlayarak, ilgili işletmenin mevcut dijitalleşme düzeyi hakkında bilgi sunmuştur. Anketlerden elde edilen veriler, D3A olgunluk modelinin kriterlerine göre analiz

edilmiştir. Bu analiz sayesinde araştırma kapsamındaki fabrikanın dijital olgunluk seviyesinin çeşitli boyutlarda ne düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Böylelikle, işletmenin mevcut dijitalleşme durumu detaylı bir şekilde değerlendirilebilmiştir. Anket sonuçları, dijital olgunluk modeli çerçevesinde değerlendirilmiş ve istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, çalışma konusu olan firmanın dijital dönüşüm sürecindeki güçlü ve gelişime açık yönlerinin belirlenmesine olanak tanımıştır.

Ayrıca sonuçlar Yıldız'ın çalışmasındaki sektör ortalamaları ile birlikte sanayi bölgesinden elde edilen genel ortalamalarla da karşılaştırılarak söz konusu firmanın sektördeki yeri belirlenmiştir [22]. Son olarak, araştırmanın bulguları bir rapor halinde sunulmuş ve firmanın üst yönetimiyle paylaşılmıştır. Rapor, ilgili işletmenin dijital olgunluk seviyesinin detaylı bir değerlendirmesini içermiş ve dijital dönüşüm yolculuğunda izlenecek stratejiler konusunda geri bildirim ve öneriler sağlamıştır.



Şekil 1: Araştırma metodolojisinin adımları.

4. YÖNTEM (METHOD)

Bu çalışmada dijital olgunluk modeli olarak tercih edilen araç, özellikle KOBİ'lerin dijital dönüşüm süreçlerini değerlendirmek amacıyla tasarlanmış olan D3A olarak belirlenmiştir. Model, Boğaziçi Üniversitesi Endüstri 4.0 Platformu tarafından geliştirilmiştir.

D3A, işletmelerin dijital dönüşüm ihtiyaçlarını belirleme, bu ihtiyaçları takip etme ve dönüşüm sürecinin sağladığı faydayı ölçme amacını taşımaktadır. D3A; organizasyonel yapı, müşteri yönetimi, ürün geliştirme, tedarik zinciri yönetimi ve üretim yönetimi olmak üzere 5 ana boyuta sahiptir [22].

Organizasyonel yapı boyutunda değerlendirilen unsurlar, karar alma süreçleri, departmanlar arası işbirliği, strateji oluşturma metodolojileri, dijital dönüşüm stratejileri, personel gelişimi ve eğitimleri, bilişim teknolojisi altyapısı ve veri

yönetimi gibi konuları içerir. Bu kriterler, beş ayrı düzeyde incelenir ve her bir kriter için belirlenen seviyelendirme sistemi, farklı yaklaşımları içerebilir. Bu yaklaşımlar belirlenirken, katılımcılara belirli seviyeler arasında seçim yapma imkanı tanınmamıştır; bunun yerine, katılımcıların serbest cevaplarına dayanarak hangi seviyeye daha yakın oldukları belirlenmiş ve buna göre seviyelendirme yapılmıştır.

Müşteri yönetimi kriteri altında ele alınan konular arasında satış, pazarlama, sipariş yönetimi, bayilik ilişkileri, müşteri veri yönetimi ve satış sonrası hizmetler bulunur. Ürün geliştirme başlığı altında, Ür-Ge ve Ar- Ge yapıları, inovasyon faaliyetleri, ürün özelleştirme süreçleri, ürün dijitalleşmesi ve üründen elde edilen veriye dayalı yeni ürün ve hizmetlerin oluşturulması gibi faktörler incelenir.

Tedarik zinciri yönetimi kriteri, planlama,

malzeme gereksinimi planlama, tedarik yönetimi, stok yönetimi, depo yönetimi ve sevkiyat süreçlerini kapsar. Bu süreçlerin her biri için belirlenen seviyelere karşılık gelen durumlar incelenir ve değerlendirilir.

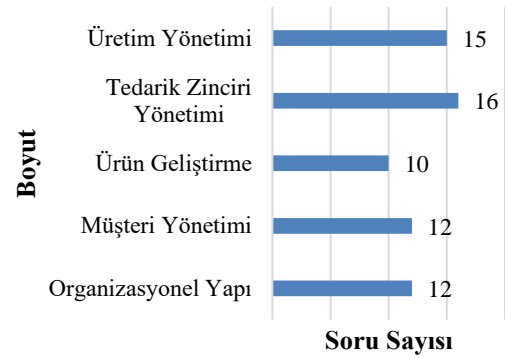
Son olarak, üretim yönetimi kapsamında, iş emirleri, üretim planlaması, makinelerin durumu, malzeme hareketleri, kalite kontrol ve bakım faaliyetleri gibi unsurlar ele alınır. Bu unsurlar altında, belirlenen seviyelere karşılık gelen durumlar ayrıntılı bir şekilde incelenir ve analiz edilir.

Modelin içerdiği 5 boyut ve 29 alt boyut Tablo 2'de verilmektedir. Şekil 2'de ise soruların boyutlara göre dağılımı verilmiştir. Bu değerlendirme aracındaki cevaplar, 0-4 arasındaki bir skalada eşit ağırlıkta puanlandırılmıştır [22].

Tablo 2: Boyutlar ve alt boyutlar [22].

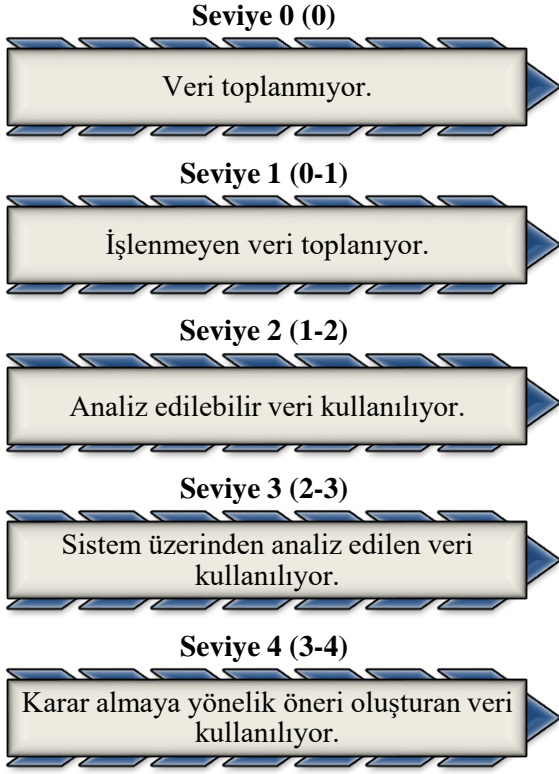
Boyut	Alt Boyutlar
Organizasyonel Yapı	Karar alma yöntemleri
	Birimler arası işbirliği
	Strateji geliştirme yöntemi
	Dijitalleşme stratejisi
	İş süreçleri
	Çalışan gelişim ve eğitimleri
	Bilişim teknolojisi yapılanması
Müşteri Yönetimi	Satış
	Pazarlama
	Sipariş
	Bayilik
	Müşteri verisi
	Satış sonrası hizmetler
	Ürün Geliştirme
İnovasyon faaliyetleri	
Ürün özelleştirilmesi	
Ürünlerin dijitalleşmesi	
Üründen toplanan veriye ilişkin yeni ürün ve hizmet yaratılması	

	Planlama ve Malzeme gereksinimi
Tedarik Zinciri Yönetimi	Planlama
	Tedarik
	Stok ve Depo
	Sevkiyat
Üretim Yönetimi	İş emirleri
	Çizelgeleme
	Duruşlar
	Malzeme hareketleri
	Kalite ve bakım



Şekil 2: Soruların boyutlara göre dağılımı [22].

Dijital dönüşüm süreci Şekil 3'te görüldüğü gibi aşamalı olarak ilerler [22]. İlk aşamada veri toplama yönergeleri hazırlanır ve süreçler tanımlanır. İkinci aşamada, süreçler belirlenen sistemlerle yürütülür ve analiz edilebilir veri elde edilir. Üçüncü aşama, bütünlük sistemlerin ve karar destek sistemlerinin kullanımını içerir. Dördüncü ve en ileri aşamada, tüm birimler arasında veri paylaşımı, nesnelerin internetiyle izleme ve verinin gerçek zamanlı analiziyle yeni ürün ve hizmetlerin ortaya çıkması sağlanır. Bu aşama, işletmelerin veri odaklı kararlar almasını ve sürekli olarak yenilik yapmasını teşvik eder.



Şekil 3: Olgunluk seviyesi aralıkları [22].

Model, Boğaziçi Üniversitesi Endüstri 4.0 Platformu tarafından yüz yüze görüşme yöntemi ile uygulanan anket sorularıyla şekillendirilmiştir. İstanbul'da Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren 100 işletmeye uygulanarak test edilmiştir. Bu test aşamasında, modelin özellikle üretim endüstrisinde faaliyet gösteren KOBİ'ler için uygun olup olmadığını değerlendirmişlerdir [22]. Bu bağlamda, D3A'nın geniş bir uygulama yelpazesine sahip olması ve yerel bir endüstri bölgesinde başarılı bir şekilde test edilmiş olması, bu çalışmada dijital olgunluk modeli olarak tercih edilmesine temel oluşturmuştur. D3A modeli, 5 boyut ve 65 sorudan oluşan yapısıyla, KOBİ'ler için özel olarak tasarlanmış pratik bir dijital olgunluk değerlendirme aracıdır. Bu sayede, KOBİ'ler için karmaşık olmayan, ancak kapsamlı bir analiz imkanı sunar. Yüz yüze veri toplama yöntemi, katılımcılardan daha derinlemesine geri bildirim

alınmasına olanak tanırken, aynı zamanda modelin uygulanabilirliğini artırır. Ancak, 65 sorunun varlığı, bazı KOBİ'ler için zaman alıcı olabilir ve anketin tamamlanma oranını etkileyebilir. Diğer olgunluk modellerine kıyasla, D3A'nın sınırlı boyut sayısı, detaylı analiz yapma potansiyelini kısıtlarken, işletmelerin dijital dönüşüm süreçlerini daha hızlı anlamalarını ve geliştirmelerini sağlar. Sonuç olarak, D3A modeli, KOBİ'lerin ihtiyaçlarına yönelik uygun bir çözüm sunarken, bazı derinlemesine analiz gerektiren durumlarda sınırlı kalabilir.

5. ÇALIŞMANIN SINIRLILIKLARI VE VARSAYIMLAR

Bu çalışmada, metal işleme sektöründeki tek bir firmanın dijital olgunluk seviyesi değerlendirilmiş olup, sonuçlar sektör genelindeki ortalamalarla karşılaştırılmıştır. Ancak, çalışmanın yalnızca tek bir firmaya dayanması, sonuçların genellenebilirliğini kısıtlamaktadır. Ayrıca, anket sorularına dayalı veriler öznel görüşlere dayandığından, katılımcıların kişisel değerlendirmeleri sonuçları etkileyebilir. Çalışmada kullanılan D3A modeli, dijital olgunluğun belirli boyutlarını ele almakla birlikte, daha derinlemesine analiz gerektiren durumlarda sınırlı kalabilir.

Yapılan araştırmada, firmanın dijital dönüşüm sürecine dair veriler D3A modeline uygun olarak toplanmış ve analiz edilmiştir. Firmadan elde edilen verilerin doğruluğu ve güncelliği kabul edilerek analiz yapılmıştır. Ayrıca, çalışmanın yürütüldüğü dönemde firmanın iş yapış şekilleri ve organizasyonel yapısının sabit olduğu varsayılmıştır.

6. UYGULAMA (APPLICATION)

D3A, metal işleme sektöründe faaliyet gösteren

bir imalat işletmesinde uygulanmıştır. Araştırma kapsamındaki fabrika; Isıtma Sistemleri, Geri Kazanım Üniteleri, Arıtma Sistemleri, Enerji Sistemleri gibi tesislerin yapımı ve bu tesislerde yer alan makine ve ekipmanların üretimine kadar uzanan geniş bir uygulama alanına sahiptir.

D3A kullanılarak, şirkete modelin tüm boyutlarını içeren anket soruları yüz yüze görüşme yöntemi ile uygulanmıştır. Soru seti, toplamda 65 sorudan oluşmaktadır ve mantıksal bir akış içinde ilerlemektedir. Bu nedenle, bazı durumlarda belirli sorular olumsuz cevaplar verildiğinde, ardışık sorular atlanabilir veya birkaç soru aynı cevap içinde yer alabilir. Bu soruların genellikle bir buçuk ila iki saatlik bir süreçte, katılımcılarla yapılan bir sohbet esnasında sorulup cevaplanması mümkündür. Mülakatlar sırasında, iki kişilik bir ekip bulunmuş; bir kişi soruları yönlendirirken diğer kişi notlar almıştır. Dijital değerlendirme aracındaki boyutlara ait sorular ilgili birim sorumlularına yönlendirilmiştir. Ziyaretlerin ardından, elde edilen cevaplar 0 ile 4 arasında değişen seviyeleri temsil eden notlara dönüştürülmüştür. Her bir sorunun eşit ağırlığa sahip olduğu kabul edilerek yapılan değerlendirmeler, metal işleme endüstrisinde faaliyet gösteren seçili firmanın farklı boyutlardaki olgunluk puanlarını ortaya çıkarmıştır.

D3A'nın organizasyonel yapı boyutundaki 12 soru ilgili işletmenin üst düzey yöneticisine yöneltilmiştir ve bu kapsamda sağlanan cevaplar incelendiğinde firma bu boyutta 1,86 puan elde ederek genel olarak başarılı bir performans sergilemektedir. Bu başarı, karar alma yöntemleri, birimler arası işbirliği, strateji

geliştirme yöntemleri, dijitalleşme stratejisi ve çalışan gelişimi gibi alanlarda sağlam bir yapıya işaret etmektedir.

Satış ve Pazarlama Departmanı yöneticisi ile müşteri yönetimi boyutundaki 12 soru görüşülmüş ve bu kapsamda alınan cevaplar değerlendirilerek not alınmıştır. Analiz edilen firmanın müşteri yönetimi konusundaki performansı 0,82 puan ile ölçülmüştür. Bu sonuçlar, firmanın müşteri yönetimi alanında daha fazla iyileştirme potansiyeli olduğunu göstermektedir.

Ürün geliştirme boyutundaki 10 soru için analiz edilen firmanın üst düzey yöneticisi ile görüşülerek, bu alanda 0,91 puan elde edilmiştir. Ar-Ge yapısı, inovasyon faaliyetleri ve ürünlerin dijitalleşmesi konularında orta düzeyde bir başarı elde edilmiştir. Ancak, ürün özelleştirilmesi ve yeni ürün/hizmet yaratma konularında daha fazla geliştirme fırsatları bulunmaktadır.

Satın alma departmanı yöneticisine tedarik zinciri yönetimi boyutundaki 16 soru yöneltilmiş ve firma bu alanda 1,19 puan almıştır. Analiz edilen firmanın genel olarak başarılı olduğu görülmüştür. Planlama, tedarik, stok/depo yönetimi ve sevkiyat gibi alt boyutlarda güçlü bir performans sergilenmiştir.

Üretim yönetimi boyutu için firmanın üretim müdürü ile görüşülmüş ve bu alanda 0,42 puan elde edilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda, ilgili işletmenin iş emirleri, çizelgeleme ve kalite/bakım gibi konularda daha fazla iyileştirme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Firmanın daha etkin üretim süreçleri için önlemler alınması önerilebilir.

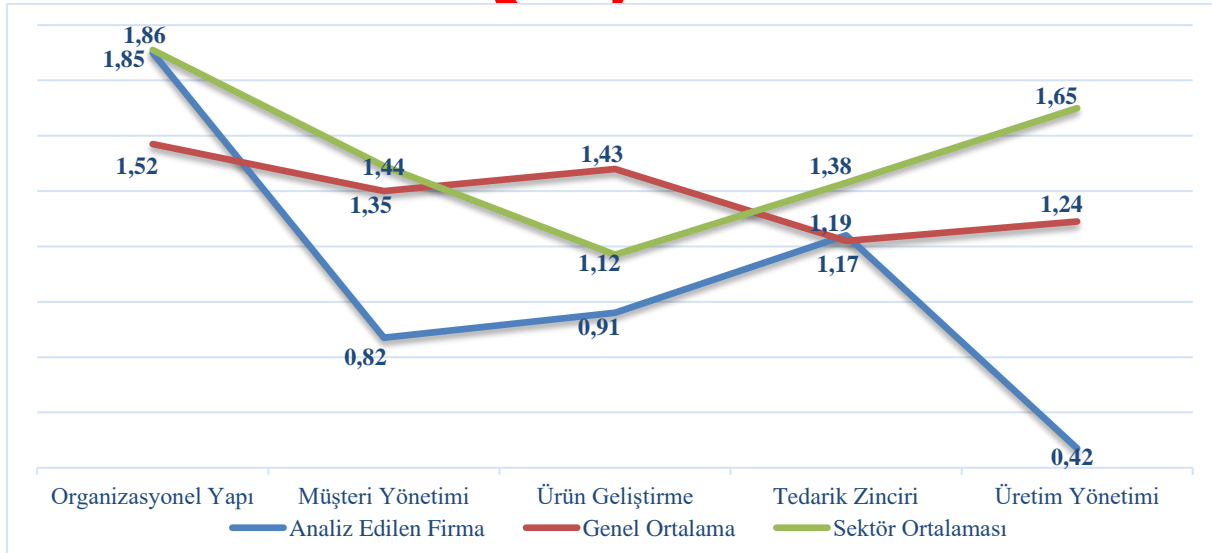
D3A'nın geliştirilme sürecinde, Türkiye'deki

çeşitli sektörlerden 100 farklı firma üzerinde test edilmiştir. Bu testler, D3A'nın etkinliğini değerlendirmek ve farklı endüstrilerden işletmelerin dijital olgunluk seviyelerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma konusu olan firmanın olgunluk puanları, Yıldız'ın çalışmasında; sanayi bölgesindeki metal işleme sektöründe ve bölgede yer alan firmaların genel verileriyle karşılaştırılabilir [22]. Dijital dönüşüm sürecindeki performansı değerlendirmek için elde edilen sonuçlar incelendiğinde, firmanın organizasyonel yapı boyutunda sektör ortalamasına yakın bir performans sergilediği, ancak müşteri yönetimi ve ürün geliştirme alanlarında sektör ve genel ortalamaların altında kaldığı gözlemlenmektedir. Özellikle müşteri yönetimi ve ürün geliştirme boyutlarında araştırma kapsamındaki fabrika diğer sektör katılımcılarına kıyasla belirgin bir performans düşüklüğü göstermektedir. Bununla

birlikte, tedarik zinciri yönetimi boyutunda ilgili işletmenin sektör ortalamasının üzerinde bir performans sergilediği belirlenmiştir. Ancak, üretim yönetimi boyutunda firmanın belirgin bir şekilde geride kaldığı gözlemlenmiştir. Genel olarak, analiz edilen şirketin dijital dönüşüm seviyesi sektör ve genel ortalamaların altında olduğundan, daha etkin stratejiler geliştirmesi ve operasyonel alanlarda iyileştirmeler yapması gerekmektedir.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışma, metal işleme sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın dijital olgunluk seviyesini, Boğaziçi Üniversitesi'nin geliştirdiği D3A'yı kullanarak analiz etmiş ve sektörel kıyaslamalarla zenginleştirilmiştir. Ancak sadece sektörle değil, sanayi bölgesinden elde edilen genel ortalamalarla da karşılaştırmalar yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4: Olgunluk puanları.

Firmanın organizasyonel yapı boyutunda aldığı 1,85 puan, sanayi bölgesindeki metal sektörünün ortalama puanı olan 1,86'ya oldukça yakın bir performans sergilemektedir. Ayrıca, firmanın bu

boyutta sanayi bölgesinin genel ortalamasının (1,52) üzerinde performans göstermesi, organizasyon yapısındaki güçlü yönleri işaret etmektedir. Bu sonuç, firmanın karar alma

süreçleri, dijitalleşme stratejileri ve birimler arası işbirliğinde başarılı olduğunu göstermektedir.

Müşteri yönetimi boyutunda ise firmanın aldığı 0,82 puan, hem metal sektörünün ortalaması olan 1,44'ün hem de sanayi bölgesindeki genel ortalama olan 1,35'in oldukça altındadır. Bu durum, firmanın müşteri ilişkileri yönetimi, sipariş süreçleri ve satış sonrası hizmetlerde ciddi iyileştirmelere ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Özellikle müşteri yönetiminin dijitalleşmesi firmanın rekabet avantajını artırmada kritik bir öneme sahiptir.

Firmanın ürün geliştirme performansı da zayıf bir tablo çizmektedir; alınan 0,91 puan, metal sektöründeki 1,12 puanın gerisinde kalırken, sanayi bölgesindeki genel ortalama olan 1,43'e de oldukça uzak bir performans sergilenmiştir. Bu, firmanın inovasyon faaliyetlerinde ve dijital ürün geliştirme süreçlerinde iyileştirme yapma potansiyelini ortaya koymaktadır.

Tedarik zinciri yönetimi boyutunda firmanın 1,19 puan alması, metal sektöründeki 1,38 puanlık ortalamaya yakın bir sonuç sergilerken, sanayi bölgesinin genel ortalaması olan 1,17'ye göre ise daha iyi bir performans göstermektedir. Bu alan, firmanın genel olarak başarılı olduğu, ancak tedarik süreçleri ve stok yönetimi gibi konularda daha fazla iyileştirme yapabileceği bir alandır.

En zayıf performans, firmanın üretim yönetimi boyutunda ortaya çıkmıştır. Firmanın aldığı 0,42 puan, metal sektöründeki 1,65 puanlık ortalamasının oldukça altında kalırken, sanayi bölgesindeki genel ortalama olan 1,24 puanın da gerisindedir. Bu durum, firmanın üretim süreçlerinde dijitalleşme ve otomasyon alanında ciddi eksiklikler olduğunu ve bu alanın, firmanın

rekabet gücünü artırabilmesi için en çok geliştirilmesi gereken alan olduğunu göstermektedir.

Genel dijital olgunluk seviyesi 1,03 olan firma, metal sektöründeki 1,49 ortalamasının ve sanayi bölgesindeki genel ortalamasının (1,26) gerisinde kalmıştır. Bu sonuçlar, firmanın dijital dönüşüm stratejilerini daha etkin bir şekilde geliştirmesi gerektiğini ve özellikle müşteri yönetimi, ürün geliştirme ve üretim yönetimi gibi kritik alanlarda dijital teknolojileri daha hızlı benimsemesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, firmanın dijital olgunluk seviyesi sanayi bölgesindeki genel ortalamaya göre düşük, ancak sektördeki ortalamaya kıyasla daha büyük gelişim potansiyeline sahiptir. Özellikle üretim ve müşteri yönetimi gibi kilit süreçlerde dijitalleşme hızlandırıldığında, firmanın rekabet avantajını artırabileceği öngörülmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, bu zayıf alanları geliştirmek için stratejiler belirleyebilir ve firmanın dijital dönüşüm yolculuğunu hızlandırabilir.

8. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, metal işleme sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın dijital olgunluk seviyesi, Boğaziçi Üniversitesi'nin geliştirdiği D3A kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, firmanın organizasyonel yapı ve tedarik zinciri yönetimi alanlarında sektör ortalamasına yakın bir performans sergilediğini, ancak müşteri yönetimi, ürün geliştirme ve özellikle üretim yönetimi gibi alanlarda sektör ortalamasının gerisinde kaldığını göstermektedir. Dijital dönüşümde başarılı olabilmek için firmanın bu zayıf yönlerini gidermesi ve özellikle üretim süreçlerini dijitalleştirerek iyileştirmesi

gerekmektedir. Çalışmanın bulguları, firmanın dijitalleşme sürecinde nerede olduğunu netleştirmekte ve dijital dönüşüm stratejilerini şekillendirmek için yol gösterici bir nitelik taşımaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarla, daha geniş bir örneklem üzerinde sektörel kıyaslamalar yapılarak dijital olgunluğun işletmeler üzerindeki etkileri daha kapsamlı şekilde incelenebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu araştırma hiçbir dış finansman almamıştır.

YAZAR KATKILARI

Sultan GÜL ÖZDAMAR: Kavramsal tasarım, veri düzenleme, analiz, araştırma, kaynaklar, görselleştirme, yazma - taslak; düzenleme.

Beste DESTİCİOĞLU TAŞDEMİR: Kavramsal tasarım, kaynaklar, yazma - gözden geçirme ve düzenleme, denetim, onaylama.

Süleyman ERSÖZ: Metodoloji, kaynaklar, düzenleme, denetim, onaylama.

ÇIKAR ÇATIŞMALARI (CONFLICTS OF INTEREST)

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. Schumacher, S. Erol, ve W. Sihn, "A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises", içinde *Procedia CIRP*, 2016. doi: 10.1016/j.procir.2016.07.040.
- [2] H. Lasi, P. Fettke, H. G. Kemper, T. Feld, ve M. Hoffmann, "Industry 4.0", *Business and Information Systems Engineering*, c. 6, sy 4, ss. 239-242, Ağu. 2014, doi: 10.1007/s12599-014-0334-4.
- [3] D. Dikhanbayeva, S. Shaikholla, Z. Suleiman, ve A. Turkyilmaz, "Assessment of industry 4.0 maturity models by design principles", 01 Aralık 2020, MDPI. doi: 10.3390/su12239927.

[4] R. C. Santos ve J. L. Martinho, "An Industry 4.0 maturity model proposal", *Journal of Manufacturing Technology Management*, c. 31, sy 5, ss. 1023-1043, Kas. 2020, doi: 10.1108/JMTM-09-2018-0284.

[5] B. Gajsek, J. Marolt, B. Rupnik, T. Lerher, ve M. Sternad, "Using maturity model and discrete-event simulation for industry 4.0 implementation", *International Journal of Simulation Modelling*, c. 18, sy 3, ss. 488-499, Eyl. 2019, doi: 10.2507/IJSIMM18(3)489.

[6] A. Aktepe, D. Tunçbilek, S. Ersöz, A. F. İnal, ve A. K. Türker, "Comparison of Investment Options and an Application in Industry 4.0", içinde *ICAI4.0 - International Conference on Artificial Intelligence towards Industry 4.0*, 2018.

[7] B. Baki ve D. Serdar, "Sanayi 4.0 Olgunluk Düzeyinin Değerlendirilmesine Yönelik Çok Kriterli Bir Yaklaşım: Lojistik Sektörü Uygulaması", *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 38, sy 4, 2020, doi: 10.17065/huniibf.693578.

[8] H. F. Braga Tadeu, A. L. de Castro Moura Duarte, C. Taurion, ve G. L. Jamil, "Digital Transformation: Digital Maturity Applied to Study Brazilian Perspective for Industry 4.0", içinde *Best Practices in Manufacturing Processes*, Cham: Springer International Publishing, 2019, ss. 3-27. doi: 10.1007/978-3-319-99190-0_1.

[9] M. Asiloğulları Ayan ve S. Çakır, "Sanayi Yönetiminde Gelecek Yaklaşımları Dijitalleşme ve Yetenekler", içinde *Endüstri 5.0 Işığında İşletmelerde Teknoloji Trendleri, Öğretim Üyesi Tuğrul Oğuzhan ve Arş Gör Şeyda Ok, Ed., Ankara: Nobel Yayınları, 2023, ss. 245-261. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: www.nobelkitap.com*

[10] M. Spaltini, F. Acerbi, M. Pinzone, S. Gusmeroli, ve M. Taisch, "Defining the Roadmap towards Industry 4.0: The 6Ps Maturity Model for Manufacturing SMEs", içinde *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., 2022, ss. 631-636. doi: 10.1016/j.procir.2022.02.105.

[11] L. D. Rafael, G. E. Jaione, L. Cristina, ve S. L. Ibon, "An Industry 4.0 maturity model for machine tool companies", *Technol Forecast Soc Change*, c. 159, 2020, doi: 10.1016/j.techfore.2020.120203.

[12] C. Ünal, C. Sungur, ve H. Yildirim, "Application of the Maturity Model in Industrial Corporations", *Sustainability (Switzerland)*, c. 14, sy 15, 2022, doi: 10.3390/su14159478.

- [13] Bakanlar Kurulu, “Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmelerin Tanımı, Nitelikleri ve Sınıflandırması Hakkında Yönetmelik”, 2005.
- [14] L. R. Moura ve H. Kohl, “Maturity assessment in industry 4.0 – a comparative analysis of brazilian and german companies”, *Emerging Science Journal*, c. 4, sy 5, ss. 365-375, 2020, doi: 10.28991/esj-2020-01237.
- [15] M. Colli, O. Madsen, U. Berger, C. Møller, B. V. Wæhrens, ve M. Bockholt, “Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0”, Elsevier B.V., Oca. 2018, ss. 1347-1352. doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.343.
- [16] U. Şener, E. Gökalp, ve P. E. Eren, “Towards a Maturity Model for Industry 4.0: A Systematic Literature Review and a Model Proposal Industry 4.0 From The Management Information Systems Perspectives”, 2018. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/335652665>
- [17] E. Gökalp ve V. Martinez, “Digital transformation capability maturity model enabling the assessment of industrial manufacturers”, *Comput Ind*, c. 132, Kas. 2021, doi: 10.1016/j.compind.2021.103522.
- [18] D. Merdin, F. Ersoz, ve H. Taskin, “Digital Transformation: Digital Maturity Model for Turkish Businesses”, *Gazi University Journal of Science*, c. 36, sy 1, ss. 263-282, 2023, doi: 10.35378/gujs.982772.
- [19] S. R. Hamidi, A. A. Aziz, S. M. Shuhidan, A. A. Aziz, ve M. Mokhsin, “SMEs maturity model assessment of IR4.0 digital transformation”, içinde *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018. doi: 10.1007/978-981-10-8612-0_75.
- [20] A. De Carolis, M. Macchi, E. Negri, S. Terzi, ve S. A. Terzi, “A Maturity Model for Assessing the Digital Readiness of Manufacturing Companies” ss. 13-20, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-66923.
- [21] SGK, “SGK 2023 Yılı İstatistikleri”, 2023.
- [22] S. Yıldız, “Development of a Digital Maturity Model for Small and Medium Sized Enterprises: A Case Study in Turkey”, *Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*, 2021.
- [23] K. Lichtblau vd., “Industrie 4.0 Readiness”, 2015. Erişim: 14 Ekim 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://impuls-stiftung.de/wp-content/uploads/2022/05/Industrie-4.0-Readiness-english.pdf>
- [24] Kaltenbach Fabian, Marber Patrick, Gosemann Clarissa, Böltz Tom, ve Kühn Ansgar, “Smart Services Maturity Level in Germany”, *IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation*, 2018.
- [25] L. Bibby ve B. Dehe, “Defining and assessing industry 4.0 maturity levels—case of the defence sector”, *Production Planning and Control*, c. 29, sy 12, ss. 1030-1043, Eyl. 2018, doi: 10.1080/09537287.2018.1503355.
- [26] A. Schumacher, T. Nemeth, ve W. Sinn, “Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises”, içinde *Procedia CIRP*, 2019. doi: 10.1016/j.procir.2019.02.110.
- [27] G. T. Temur, H. B. Bolat, ve S. Gözlü, “Evaluation of Industry 4.0 Readiness Level: Cases from Turkey”, içinde *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2018*, 2019. doi: 10.1007/978-3-319-92267-6_36.
- [28] T. C. Lin, K. J. Wang, ve M. L. Sheng, “To assess smart manufacturing readiness by maturity model: a case study on Taiwan enterprises”, *Int J Comput Integr Manuf*, c. 33, sy 1, ss. 102-115, Oca. 2020, doi: 10.1080/0951192X.2019.1699255.
- [29] O. K. K. Bandara, V. K. Tharaka, ve A. P. R. Wickramarachchi, “Industry 4.0 maturity assessment of the Banking Sector of Sri Lanka”, *Smart Computing and Systems Engineering*, 2019.
- [30] A. A. Wagire, R. Joshi, A. P. S. Rathore, ve R. Jain, “Development of maturity model for assessing the implementation of Industry 4.0: learning from theory and practice”, *Production Planning and Control*, c. 32, sy 8, 2021, doi: 10.1080/09537287.2020.1744763.
- [31] S. Demir, G. Saruşık, ve A. S. Öğütlü, “KOBİ lerin Endüstri 4.0 Farkındalık ve Olgunluk Seviyesinin Belirlenmesi: Şanlıurfa İli Örneği (Determination of Industry 4.0 Awareness and Maturity Level of SMEs: The Example of Şanlıurfa Province)”, *Journal of Business Research - Turk*, 2022, doi: 10.20491/isarder.2022.1543.
- [32] Q. Chen, W. Zhang, N. Jin, X. Wang, ve P. Dai, “Digital Transformation Evaluation for Small- and Medium-Sized Manufacturing Enterprises Using the Fuzzy Synthetic Method

DEMATEL-ANP”, Sustainability (Switzerland), c. 14, sy 20, 2022, doi: 10.3390/su142013038.

[33] P. P. Senna, A. C. Barros, J. Bonnin Roca, ve A. Azevedo, “Development of a digital maturity model for Industry 4.0 based on the technology-organization-environment framework”, Comput Ind Eng, c. 185, 2023, doi: 10.1016/j.cie.2023.109645.

[34] G. A. Akyüz ve D. Balkan, “Smart manufacturing maturity assessment: a Turkish case study in glass balcony manufacturing enterprise”, Smart Science, c. 12, sy 1, 2024, doi: 10.1080/23080477.2023.2263239.

[35] S. Sukrat ve A. Leeraphong, “A digital business transformation maturity model for micro enterprises in developing countries”, Global Business and Organizational Excellence, c. 43, sy 2, 2024, doi: 10.1002/joe.22230.

ERKEN GÖRÜNÜM