

PAPER DETAILS

TITLE: İşletmelerin Endüstri 4.0 Teknolojileri Kullanım Düzeyinin Belirlenmesine Yönelik Bir Ölçek
Geliştirme Çalışması

AUTHORS: Meral ÇALIS DUMAN,Bunyamin AKDEMİR

PAGES: 923-940

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1700288>

İşletmelerin Endüstri 4.0 Teknolojileri Kullanım Düzeyinin Belirlenmesine Yönelik Bir Ölçek Geliştirme Çalışması¹

A Scale Development Study for Determining the Industry 4.0 Technologies Usage Level of Enterprises

Meral Çalış Duman², Bünyamin Akdemir³

Öz

2011 yılında Endüstri 4.0 vizyonunun ortaya atılması ile birlikte, bu vizyon tüm ülkelerin hedefleri arasına girmiştir. Bunun nedeni endüstri 4.0'ın beraberinde getirdiği yüksek verimlilik, kalite, hız ve esnekliktir. Kavram olarak bakıldığında, endüstri 4.0, sanayi ve üretim alanında dijital teknolojilerin kullanılmasıdır. Dijital teknolojilerin üretime entegre edilmesi, işletmelerin üretim süreçleri, araç-gereçleri ve çalışan niteliklerinin dönüşmesini gerektirmektedir. Bunun sonucu olarak akıllı işletmeler ortaya çıkmaktadır. Günümüzde akıllı işletme ve bu işletmelere dönüşüm her ülkenin ve her işletmenin nihai hedefi olmuştur. Uluslararası rekabet bunu gerektirmiştir. Ülkemizde endüstri 4.0 konusunda farkındalık düzeyi oldukça yükselmiştir ve akademik alanda çalışmaların sayısı çoğalmıştır. Bu bağlamda endüstri 4.0'a hazırlık, başlangıç, geçiş gibi düzeyler işletmeler için belirleyici olmuştur. İşletmelerin endüstri 4.0 teknolojileri kullanım düzeyinin belirlenmesi, işletmelerin hedeflerini belirlerken ve planlar yaparken kritik bir önem arz etmiştir. Bu nedenle, bu çalışma işletmelerin endüstri 4.0 teknoloji düzeylerinin belirlenmesi için bir ölçek geliştirmeyi amaçlamaktadır. Hem uygulamada hem de akademik alanda, araştırmacılara ölçeğin fayda sağlaması ve uygulamalar için literatürdeki boşluğu doldurması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Endüstri 4.0 Teknolojileri Kullanım Düzeyi, Dördüncü Sanayi Devrimi, Dijital Dönüşüm

Abstract

With the introduction of the Industry 4.0 vision in 2011, this vision has become one of the goals of all countries. The reason for this is the high efficiency, quality, speed, and flexibility brought by industry 4.0. When considered as a concept, industry 4.0 is the use of digital technologies in industry and production. The integration of digital technologies into production requires the transformation of the enterprises' production processes, tools, and employee qualifications. As a result, smart businesses emerge. Nowadays, smart business and transformation into these businesses have been the ultimate goal of every country and every business. International competition has required this. In our country, the level of awareness on industry 4.0 has increased considerably and the number of studies in the academic field has increased. In this context, preparation levels such as industry 4.0 preparation, start-up, transition have been decisive for businesses. Determining the use level of industry 4.0 technologies of enterprises has been of critical importance when determining the targets of the enterprises and making plans. Therefore, this study aims to develop a scale to determine the industry 4.0 technology levels of enterprises. It is expected that the scale will benefit researchers both in practice and in the academic field and fill the gap in the literature for applications.

Keywords: Industry 4.0, Industry 4.0 Technologies Usage Level, Fourth Industrial Revolution, Digital Transformation.

Araştırma Makalesi [Research Paper]

JEL Codes: M10, M11, O31, O33

Submitted: 12 / 04 / 2021
Accepted: 23 / 09 / 2021

¹ Bu çalışma, yazarın 608026 tez numaralı "Endüstri 4.0 teknoloji bileşenlerinin örgütsel performansa etkilerini belirlemeye yönelik bir araştırma" isimli doktora tezindeki veriler kullanılarak üretilmiştir.

² Dr. Öğr. Üyesi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, meral.duman@ozal.edu.tr , Orcid No: <https://orcid.org/0000-0002-8283-5188>.

³ Prof. Dr., İnönü Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, Orcid No: <https://orcid.org/0000-0003-2285-5643>

Giriş

Endüstri 4.0 (E4.0) veya diğer adıyla dördüncü sanayi devrimi içinde bulunduğumuz son sanayi devrimi olmakla birlikte, kendinden önceki diğer sanayi devrimlerine göre etkisi oldukça geniş kapsamlıdır ve tüm dünyada büyük bir dönüşümü beraberinde getirmektedir. Bu dönüşüm hemen hemen her alanda dijital teknolojilerin kullanılarak verimliliğin artırılması ile ilgilidir. Özellikle üretim ve sanayi alanında dijital teknolojilerin kullanılması ve fayda sağlanması bu devrimin temel niteliğidir (Kagermann vd., 2013). Alman hükümeti tarafından ilk kez 2011 yılında yüksek teknoloji stratejisi olarak ortaya atılan bu kavram, sağlayacağı faydalarından dolayı büyük ilgi uyandırmıştır. Buna göre, yüksek verimlilik, üretimde yüksek esneklik, gerçek zamanlı veri takibi ve ölçüm, daha hızlı üretim ve kaynakların etkin kullanılması faydalar sağlayacak olan E4.0, akıllı teknolojiler temelinde hedeflenen bir gelecek vizyonudur (Stock ve Seliger, 2016).

E4.0'ın amaçları, ilk önce yüksek verimlilik olmakla birlikte, etkin kaynak kullanımı-israfın azaltılması, kişiselleştirilmiş üretim ve maliyetlerin azaltılmasıdır (Mrugalska ve Wyrwicka, 2017). Bu amaca bağlı olarak E4.0, gerçekte/fiziksel olan sistemlerin sanal/siber sistemlere dönüşümünü ifade etmektedir (Pan, 2015), yani geleneksel ve gerçekte olan üretim sistemlerinin sanal ortama taşınarak uzaktan kontrol edilebilmesidir (Basl, 2016). Üretim süreçlerinin sanal ikizlerinin oluşturulmasıdır (Gilchrist, 2016). E4.0'ın işletmelerde uygulanmasının sonucu, son derece bağlantılı ve otomatikleştirilmiş bir üretim sistemi veya akıllı bir fabrikadır (Guzmán vd., 2020). Bu akıllı fabrika/işletmelerde yer alan tüm bileşenler, çalışanlar, makineler, bina gibi, internet ağı sayesinde sürekli olarak iletişim halindedir (Li, 2017). Bu iletişim E4.0'ın temel özelliği içinde yer alan, yatay ve dikey entegrasyon ve tüm değer zincirinde uçtan uca mühendislik ile mümkün olabilmektedir (Shafiq, 2015). Bu sayede üreticiler ve müşteriler, tedarikçiler ve üreticiler ve tüm üretim süreçlerinde, yönetim de dahil olmak üzere bağlantı ve entegrasyon kurulmaktadır (Hermann vd., 2016).

E4.0'ın ortaya çıkaracağı potansiyel faydalardan dolayı tüm ülkeler bu devrime adapte olmaya çalışmaktadır. Bu konuda yapılan söylemlerde, E4.0'ın kaçırılma lüksünün olmadığına altı çizilmektedir (Drath ve Horch, 2014). Genel olarak bakıldığında E4.0'a geçen ya da tamamen uyum sağlayan ülke veya işletmeler bulunmamaktadır. E4.0'a geçiş çabaları, teknolojilerin üretimi ve yatırımlar bulunmaktadır (Schwab, 2016). Türkiye, TUBİTAK (2016) raporuna göre E2.0 ile E3.0 arasında bir olgunluk düzeyindedir, fakat E4.0 'ı yakalamak için önemli çalışmalar yürütülmektedir. E4.0 ile ve akıllı işletmelerin ortaya çıkabilmesi için teknoloji bileşenlerinin işletmelere adaptasyonu oldukça önemlidir. Araştırmalarda E4.0'ın çatı bir kavram olduğu ve uygulanabilmesi için teknolojilerin kullanılması gerektiği belirtilmektedir (Dopico vd., 2016; Meissner vd., 2017). Bu teknolojiler literatürde çoğunlukla E4.0 teknoloji bileşenleri olarak ifade edilmektedir ve şu şekilde sıralanmaktadır (Lasi vd., 2014; Schwab, 2016; Roblek vd., 2016; Benešová vd., 2019; García ve García, 2019; Frank vd., 2019); robotik uygulamalar, üç boyutlu yazıcı, bulut bilişim, siber fiziksel sistemler, büyük veri, artırılmış gerçeklik ve nesnelerin interneti olarak sıralanabilir. Farklı çalışmalarda yapay zeka, yatay ve dikey entegrasyon, siber güvenlik gibi bileşenlerin de bu teknolojilere dahil olduğu belirtilmektedir (Özdogan, 2017).

İşletmelerin E4.0'a geçebilmesi açısından bu teknolojileri kullanması oldukça önemlidir. Bu açıdan hangi teknolojileri kullandıkları, hangi düzeyde kullandıkları, yatırımları ve alt uygulamaları işletmelerin E4.0 teknolojileri kullanım düzeyini göstermektedir (TUSİAD ve BCG, 2017). Bu bağlamda, bu çalışmada işletmelerin E4.0 teknolojileri kullanım düzeyinin belirlenmesi açısından bir ölçek geliştirilmeye çalışılmıştır. E4.0 konusu son zamanlarda tüm işletmecilik alanlarını derinden etkileyen bir konudur. Bu nedenle bu konu üzerine yapılan çalışmalar oldukça önemlidir. Özellikle E4.0 ölçekleri üzerine literatürde, yeni bir konu olmasından dolayı, büyük bir boşluk bulunmaktadır. Gelecek araştırmalarda, diğer araştırmacılara temel oluşturması açısından ölçeğin alana önemli bir katkısının olacağı düşünülmektedir.

1. Endüstri 4.0 ve Teknolojileri

E4.0 kavramı, teknolojik unsurları kullanarak üretimi artırmaya yönelik üretim sektörünü dönüştürmeyi ifade eden (Ariffin ve Ahmad, 2021) yeni ve akıllı bir üretim paradigması olarak tanımlanmaktadır. Öyle ki E4.0 üretim süreçlerini iletişim, bilgi ve istihbarat teknolojileriyle daha derinden bütünleştiren bir paradigmadır (Jeschke vd., 2017; Amaral ve Peças, 2021). Daha açıklayıcı bir ifade ile E4.0 üretim sistemlerinin teknolojiler ile entegrasyonun sağlanması, fiziksel sistemlerin siber sistemler ile bütünleştirilmesidir. Bu entegrasyon ile hedeflenen, karlı iş modelleri, daha yüksek verimlilik, kalite ve iyileştirilmiş işyeri koşullarıdır (Bai vd., 2020).

Tüm dünyayı etkileyen dijital dönüşüm ve yüksek teknoloji kullanımı, üretim sektöründeki işletmelerin esnek, uygun maliyetli ve verimli süreçler benimsemesini zorunlu kılmıştır. Bu amaçla E4.0 vizyonu, birlikte çalışabilirlik, sanallaştırma, ademi merkezilik, gerçek zamanlı veri toplama gibi çeşitli avantajlar sunarak bu zorluklara cevap vermek için geliştirilmiştir (Kingala ve Wang, 2019). Günümüzde endüstriyel üretimde üretkenliği ve verimliliği artırmak için dünya çapında bir hareket bulunmaktadır, bu da ürünlerin nasıl üretildiği ve tedarik zincirinde kullanılan hizmetlerin zihniyetini yeniden düşünmeyi ve değiştirmeyi gerektirmektedir (Koh vd., 2019). Bu açıdan E4.0 tüm ürün yaşam döngüsüne değer katan sistem olarak ortaya çıkan ve dijital teknolojiyi entegre eden, üretim sistemlerinin yeni bir endüstriyel aşamasını ifade

etmektedir. E4.0'a geçiş, işletmeler ve üretim sektörüne yeni merkezi olmayan ve dijitalleştirilmiş üretim standartları getirmektedir (Caiado vd., 2021).

E4.0'a adapte olabilmek veya geçmek için teknolojilerine sahip olmak gerekmektedir. Nitekim belirtildiği üzere, işletmelerin E4.0 dönüşümü, bulut bilişim, endüstriyel otomasyon, sensörler, kestirimci bakım, nesnelerin interneti, simülasyon, gelişmiş üretim çözümleri, eklemeli üretim, artırılmış gerçeklik, büyük veri ve analitik, siber güvenlik, yatay ve dikey entegrasyon gibi teknolojileri kullanım düzeyi ile ölçülmektedir (Tortora vd., 2021: 745; Ariffin ve Ahmad, 2021). Buna göre E4.0 teknolojilerinin neler olduğuna dair literatürde geniş bir sınıflandırma vardır. E4.0 uyarlanabilir robotikler, veri analizi ve yapay zeka, simülasyon, gömülü sistemler, iletişim ve ağ oluşturma, siber güvenlik, bulut, katmanlı üretim, sanallaştırma teknolojiler, GPS, blockchain, sensörler ve aktüatörler, radyo frekans tanımlama teknolojileri ve mobil teknolojilerden destek almaktadır. (Akdil vd., 2018; Mittal vd., 2018; Bai vd., 2020). Bu teknolojiler, potansiyel olarak muazzam bir inovasyon ve rekabet gücü artışı sağlayabilir; mevcut endüstriyel sistemin sürdürülebilirliğini iyileştirebilir (Stock ve Seliger, 2016). Özellikle ekonomik boyutuyla, azaltılmış kurulum süreleri, daha kısa teslim süreleri, azaltılmış işçilik ve malzeme maliyetleri, artan üretim esnekliği, daha yüksek üretkenlik ve kişiselleştirilmiş üretim avantajlarını işletmelere sağlayabilir (Bai vd., 2020).

İşletmelerde çalışma şekillerini, emeğin özelliklerini değiştiren E4.0, sahip olduğu teknolojilerle insan ve makine arasında iletişim kurmaktadır. Özellikle bu işbirliği içinde, fiziksel ve bilişsel etkileşim, insan ve makine arasında en çok çalışılan etkileşimlerdir ve çalışmalar en fazla artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, ve işbirlikçi robotlar üzerine odaklanmaktadır (Enrique vd., 2021: 347). Her sektör için farklı teknoloji ihtiyaçlarının olması kullanılan teknolojileri çeşitlendirmektedir. Bu açıdan üretim sektörleri üzerinde yapılan bu çalışmada, yapılan gözlemler doğrultusunda en fazla kullanılan yedi teknolojiye yola çıkılmış ve araştırmaya bu sınırlılıkla devam edilmiştir.

E4.0 teknolojileri kullanım düzeylerinin belirlenmesi konusunda araştırma için seçilen yedi teknoloji bileşenleri kısaca açıklanacak olursa şu şekilde özetlenebilirler: Robotik uygulamalar, robot kol ve otonom robotlardan oluşan, kendi kendine veya insanlarla birlikte çalışabilen, bilgisayar tarafından kodlanmış, insan zekasını taklit ederek karmaşık eylemleri gerçekleştirebilen makinelerdir (Görçün, 2017: 190). Çalışma alanlarında, bu robotlar güvenlik bariyerlerine ihtiyaç duymadan işçilerle etkileşime girerler. Ayrıca robotlar, ağır öğelerin manuel olarak taşınmasını veya çok tekrarlanan görevleri içeren görevleri gerçekleştirmeye destek olduklarından üretkenliği, esnekliği ve operatör memnuniyetini artırabilir; sonuç olarak operatörler daha değerli ve ilginç görevlere odaklanabilirler (Malik ve Bilberg, 2019). Üç boyutlu yazıcı, yazıcı için uygun bilgisayar verilerini gerçek nesnelere dönüştüren makinelerdir. Bu yazıcılar üretimi gerçekleştirirken esas hammaddeye ihtiyaç duymadan, maliyetsiz olarak bunu yapabilir ve prototip üretiminde önemli faydalar sağlayabilir (Dopico vd. 2016). Yazıcıların kullanılmasıyla yapılan bu üretime ise katmanlı/eklemeli üretim adı verilmektedir. Bulut bilişim, sanal bir depolama alanıdır, büyük miktardaki verilerin depolanma sorununu çözmek için kullanılmaktadır ve büyük veri teknolojisi için tamamlayıcı bir teknolojidir. Bilgisayar özelliği olan cihazlar arasında internet bağlantısı sayesinde ortak bilgi paylaşımını sağlayan hizmetlerdir (Basl, 2016). Siber fiziksel sistemler adından da anlaşılacağı üzere, fiziksel sistemlerin sanal dünya ile entegrasyonudur ve E4.0 için vazgeçilmez bir teknolojidir (Wang ve Wang, 2016). Büyük veri, büyük miktardaki verileri analiz edebilen ve anlamlı veriler haline dönüştüren bir teknolojidir. Büyük veri ile işletmeler ham haldeki verileri görebilme, okuyabilme ve karşılaştırma yapma imkanına sahip olmaktadır (Santos vd., 2017). Arttırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik teknolojisinin fiziksel gerçeklik ile zenginleştirilmiş halidir. Bilgisayar ortamındaki görüntü, video, ses gibi verileri insanların duyarlarını etkileyerek dijital ortamda canlandırma yapabilen bir teknolojidir (Siltanen, 2012). Bu teknoloji, çalışan için gerekli verilerin görüntülenmesine izin verdiği için operatöre avantajlar sunabilir ve insan hatalarını azaltmak için dijital bir yardım sistemi haline gelebilir (Damiani vd. 2018). Son olarak nesnelerin interneti teknolojisi ise, internet ve teknik özellikleri sayesinde nesnelerin birbirine bağlanması ve nesnelerin birbiriyle etkileşim içinde olmasıdır (Zezulka vd., 2016).

2. Yöntem

Bu çalışmanın amacı işletmelerin E4.0 teknolojileri kullanım düzeyinin belirlenmesi için bir ölçek geliştirme çabasıdır. Bu kapsamda araştırmanın amacı, kapsamı ve sınırlılıkları, evren ve örnekleme, veri elde etme yöntemi, istatistiksel analizler ve bulgular bu başlık altında verilecektir.

2.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

E4.0 tüm dünyanın sanayi ve üretim alanında eylem planları arasına girmiş ve gerekli çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Türkiye için bakıldığında, E4.0 konusunda farkındalık düzeyi ülkemizde oldukça yükselmiş ve bu devrimin kesinlikle kaçırılmaması gerektiği araştırmacılarca belirtilmiştir (TUBİTAK, 2016). E4.0 ile ilgili yol haritaları, stratejik planlar ve platformlar oluşturulmaya başlanmıştır. Devletin, ekonomi yöneticilerinin ve işletme yöneticilerinin ortak mücadeleleri sonucunda dijital dönüşüm konusunda önemli adımlar atılmaya başlanmıştır. Türkiye'de birçok işletme E4.0 konusunda

hazırlık, başlangıç ve geçiş gibi farklı düzeylerde E4.0'a adapte olmaktadır. Bu bağlamda araştırma, işletmelerin, E4.0 teknolojileri kullanım düzeylerini belirlemek ve buna göre planlamalar yapması açısından önem taşımaktadır. Bununla birlikte literatürde, E4.0 ile ilgili çalışma sayısı artarken araştırmaların çoğunlukla teorik ve farkındalık düzeyinde kaldığı uygulama ve ölçek konusunda önemli bir boşluğun olduğu görülmektedir. Bu açıdan çalışmanın alana katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2.2. Araştırmanın Kapsamı ve Sınırlılıkları

Bu çalışma Türkiye'de E4.0 teknolojilerini kullanan ve E4.0 konusunda yatırımlar yapan işletmeleri kapsamaktadır. Bu açıdan bakıldığında dünyada E4.0'a tamamen bir geçiş söz konusu değildir. E4.0 teknolojilerini kullanan, bunlara geçiş veya yatırım yapan işletmeler bulunmaktadır. Bu bağlamda araştırmanın en temel sınırlılığını E4.0'a tamamen geçmemiş olan işletmeler oluşturmaktadır. Ayrıca Türkiye'deki tüm işletmelere ulaşmak zaman ve maliyet açısından mümkün olmadığı için alan sınırlandırılmasına gidilmiştir. Bu sınırlandırma "Türkiye'nin Dijital Yol Haritası" doğrultusunda Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2018)'nin Türkiye'de işletmelerin dönüşümünde önemli rol oynaması düşündüğü beş şehir olarak yapılmıştır. Bu şehirler İzmir, Ankara, Kayseri, Konya ve Mersin'dir. Bu şehirler ölçek açısından incelenmiş, uygulama için Kayseri ili seçilmiştir. Kayseri tercihindeki daha dar kapsamlı nedenlere bakıldığında, gelişmiş bir sanayi şehri olması, önemli üretim markalarını şehrinde barındırması, E4.0 farkındalığı yüksek bir organize sanayi bölgesine sahip olması ve bölgedeki işletmelerin veri elde etme konusunda araştırmacılara destek sağlamasıdır.

2.3. Evren ve Örneklem

Bu araştırmanın evreni Kayseri'de faaliyet gösteren E4.0 teknolojilerini kullanan işletmelerdir. Bu işletmeler içinde araştırma için en uygun işletmeler organize sanayi içinde toplanan sanayi ve üretim işletmeleridir. Bu araştırma Mart-Aralık 2019 tarihleri arasında yürütülmüş, gerek büyüklük gerekse teknoloji kullanımının yoğun olmasından dolayı Kayseri OSB tercih edilmiştir. Bu tarihler aralığında, Kayseri OSB'nde 1180, Mimar Sinan OSB'nde 380, İncesu OSB'nde 41 ve Kayseri Serbest Bölgesi'nde 76 işletme, toplamda ise 1677 işletme bulunmaktadır.⁴ Daha öncesinde bu işletmelerden ne kadarının E4.0 teknolojilerini kullandığına dair yetkililer tarafından bir araştırma yapılmamıştır. Tahminler ve işletme ziyaretleri sonrasında, bu sayının yaklaşık olarak %4-%5 aralığında olabileceği belirtilmiştir. %5 kabul edildiğinde toplam işletmelerden (1677*%5=84) 84'ü evreni oluşturmaktadır. Araştırma için teknolojileri kullanan tüm işletmelere ulaşılmaya çalışılmıştır, fakat bu mümkün olmamış, basit tesadüfi örnekleme yöntemi kullanılarak, 79 işletmeden veri elde edilmiştir. Örneklem büyüklüğü evreni temsil edebilecek niteliktedir, temsil sınırı %95 güven aralığında ve % 5' lik hata payında 70 işletme olarak hesaplanmıştır.

2.4. Veri Elde Etme Yöntemi

Araştırmada veriler büyük bir çoğunlukla işletmelerin üst düzey yöneticileriyle yüz yüze görüşmelerle elde edilmiştir. Görüşmelerde veriler anket tekniği ile toplanmıştır. Anket soruları E4.0 ile ilgili çok sayıda kaynağın taranması, okunması ve uzman görüşlerinden faydalanarak oluşturulmuştur. Anket formunun ilk kısmında kurumsal bilgiler bulunmaktadır. İkinci kısım ise E4.0 teknolojileri kullanım düzeyini ölçümlemeyi hedefleyen teknolojilere ait alt uygulamaları içermektedir. E4.0 teknoloji bileşenleri olan, robot uygulamalar, üç boyutlu baskı, bulut bilişim, büyük veri, siber fiziksel sistemler, artırılmış gerçeklik ve nesnelerin interneti teknolojilerine ait alt uygulamaların hangi düzeyde kullanıldığı bu kısımda incelenmektedir. Teknoloji bileşenlerinin işletmelerdeki gerçekleştirilme düzeyleri "Gerçekleştirilmedi, Hazırlık Aşamasında, Fikrim Yok, Kısmen Gerçekleştirildi, Tamamen Gerçekleştirildi" yanıtları ile ortaya konmaya çalışılmıştır. Bunlara ek olarak işletmeleri E4.0 konusunda zorlayan nedenleri öğrenmek içinde sorular sorulmuştur.

2.5. Verilerin Analizi ve Bulguları

Araştırma verilerinin analizi yapılırken SPSS 25 ve SPSS Amos programı kullanılmıştır. Analiz yapılmaya başlanmadan önce Malatya OSB'de işletmelerde pilot uygulama yapılmıştır. Pilot uygulama sonucunda anket sorularının güvenilirlik (alpha 0,888) ve yapı geçerliliği (KMO 0,738, sig 0,000) kabul edilmiştir ve araştırmaya başlanmıştır. Araştırma için hazırlanan anket sorularının güvenilirlik testi sonucu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Güvenilirlik Testi

Güvenilirlik Analizi	Soru Sayısı	Alpha Değeri
E4.0 Teknolojileri Kullanım Düzeyi Ölçeği	41	,862

Cronbach's Alpha (0,862) değerinin 0,7 den büyük olduğu anketin güvenilirliğini göstermektedir (Pallant, 2011).

⁴ <https://www.kayseriosb.org/tr>

Veri setinin faktör analizi için uygun olup olmadığını belirlemek için KMO testi ve Barlett testi uygulanır. Bu test örnek birim sayısının büyüklüğünün uygunluğunu test etmektedir. Faktör analizinin yapılabilmesi için KMO testi sonucunda elde edilen rakamın 0,50'den büyük olması gerekmektedir. Barlett testi ise veri matrisinin uygunluğunu incelemektedir. Barlett testinin anlamlı olması verilerin çok değişkenli normal dağılan bir ana kütteden alınıp alınmadığı da test edilmiş olur. P değeri 0.05'ten küçük ise veriler çoklu normal dağılımlı ana küttedir ve analiz için uygundur (Gürüş ve Astar, 2014: 368). KMO ve Bartlett's test sonuçlarına göre, ölçeğin geçerliliği 0,698, sig için 0,000 değeri bulunmuştur. Aksu vd. (2017)'ne göre bu sonuçlar orta düzeyde anket formunun geçerli ve anlamlı olduğu sonucunu göstermektedir. Sonuçlar Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. KMO ve Bartlett's Testi

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,698
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	1615,047
	Df	465
	Sig.	,000

2.5.1. İşletmelerin Kurumsal Bilgilerine ve E4.0 Teknolojilerine Dair Genel Bilgiler

E4.0 ölçeğinin faktör analizi değerlendirmelerine geçmeden önce anket formunun uygulandığı işletmelerin kurumsal bilgilerine ve E4.0 teknoloji bileşenlerine ait frekanslar, yüzdeler ve ortalamalar bu başlık altında verilecektir.

Tablo 3. İşletmelerin Kurumsal Bilgilerine Ait Frekans ve Yüzdeler

Yönetim Yapısı	Frekans	Yüzde (%)	Toplam Yüzde(%)
Aile Bireyleri	35	44,3	44,3
Aile Dışı Ortak	16	20,3	64,6
Profesyonel Yönetim	28	35,4	100,0
Toplam	79	100,0	
Ortalama Ciro	Frekans	Yüzde (%)	Toplam Yüzde(%)
1 milyon TL'den az	3	3,8	3,8
1-4 milyon TL	5	6,3	10,1
5-25 milyon TL	27	34,2	44,3
25 milyon TL'den fazla	44	55,7	100,0
Toplam	79	100,0	
Çalışan Sayısı	Frekans	Yüzde (%)	Toplam Yüzde(%)
10-49 kişi arası	13	16,5	16,5
50-249 kişi arası	25	31,6	48,1
250 kişi ve üzeri	41	51,9	100,0
Toplam	79	100,0	
Anketi Cevaplayan Kişilerin Çalıştığı Pozisyon	Frekans	Yüzde (%)	Toplam Yüzde(%)
Alt Yönetici	2	2,5	2,5
Orta Yönetici	30	38,0	40,5
Üst Yönetici	45	57,0	97,5
Diğer	2	2,5	100
Toplam	79	100,0	
Faaliyet Alanı	Frekans	Yüzde (%)	Toplam Yüzde(%)
Gıda	7	8,9	8,9
Tekstil	12	15,2	24,1
Çelik Kapı	18	22,8	46,8
Makine	10	12,7	59,5
Mobilya	22	27,8	87,3
Plastik	5	6,3	93,7
Diğer	5	6,3	100,0
Toplam	79	100,0	
Ar-Ge D. Varlığı	Frekans	Yüzde (%)	Toplam Yüzde(%)
Evet	72	91,1	91,1
Hayır	7	8,9	100,0
Toplam	79	100,0	

Tablo 3 incelendiğinde, anketlerin uygulandığı işletmelerin yarısından fazlasının büyük işletme olduğu ve geriye kalanların çoğunlukla orta büyüklükteki işletmelerden oluştuğu görülmektedir. Çalışan sayıları KOBİ (250+ çalışan) değerinin üzerindedir ve çoğunlukla 1000 kişinin üzerindedir. İşletmelerin sektörel alanlarına bakıldığında çelik kapı ve mobilya sektörlerinin yoğunlukta olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni ise Kayseri OSB'nin çelik kapı ve mobilya konusunda Türkiye'de önemli markaları bünyesinde barındıran bir merkez olmasıdır. Bu nedenle araştırmada sayıları fazladır. Anketler için, konunun uzmanlık gerektiren bir konu olmasından dolayı, çoğunlukla üst yöneticiler (%57) ile görüşülmüştür. Anketler yüz yüze ve birebir açıklanarak ve görüşler alınarak cevaplandırılmıştır. Araştırma konusuyla çok yakından ilişkili olduğu düşünülen ar-ge departmanının varlığı ile ilgili soruya ise işletmelerin %91'nden olumlu cevap gelmiştir. Genel olarak bakıldığında ar-ge departmanı olan işletmelerin E4.0 farkındalığının yüksek olduğu düşünülebilir.

Çoğunlukla büyük üretim işletmelerinden oluşan işletmelerin E4.0 teknolojilerine sahiplik durumları ve kullanım düzeylerine ait elde edilen veriler ise Tablo 4'teki gibi özetlenebilir.

Tablo 4. İşletmelerin Sahip Oldukları E4.0 Teknolojileri ve Kullanım Düzeyleri

Gerçekleştirilme Düzeyi	Frekans	Yüzde (%)	Toplam Yüzde(%)
Nesnelerin İnterneti (IoT)			
Uygulanmadı	1	1,3	1,3
Hazırlık Aşamasında	13	16,5	17,7
Başlangıç Aşamasında	12	15,2	32,9
Kısmen Uygulandı	25	31,6	64,6
Tamamen Uygulandı	28	35,4	100,0
Toplam	79	100,0	
Siber Fiziksel Sistemler (CPS)			
Uygulanmadı	1	1,3	1,3
Hazırlık Aşamasında	15	19,0	20,3
Başlangıç Aşamasında	16	20,3	40,5
Kısmen Uygulandı	23	29,1	69,6
Tamamen Uygulandı	24	30,4	100,0
Toplam	79	100,0	
Büyük Veri			
Uygulanmadı	1	1,3	1,3
Hazırlık Aşamasında	15	19,0	20,3
Başlangıç Aşamasında	9	11,4	31,6
Kısmen Uygulandı	24	30,4	62,0
Tamamen Uygulandı	30	38,0	100,0
Toplam	79	100,0	
Bulut Bilişim			
Uygulanmadı	10	12,7	12,7
Hazırlık Aşamasında	17	21,5	34,2
Başlangıç Aşamasında	14	17,7	51,9
Kısmen Uygulandı	21	26,6	78,5
Tamamen Uygulandı	15	19,0	97,5
5 Yıl İçinde Uygulanacak	2	2,5	100,0
Toplam	79	100,0	
Robotik Uygulamalar			
Uygulanmadı	10	12,7	12,7
Hazırlık Aşamasında	12	15,2	27,8
Başlangıç Aşamasında	3	3,8	31,6
Kısmen Uygulandı	34	43,0	74,7
Tamamen Uygulandı	18	22,8	97,5
5 Yıl İçinde Uygulanacak	2	2,5	100,0
Toplam	79	100,0	
3 Boyutlu Baskı/Yazıcı			
Uygulanmadı	16	20,3	20,3
Hazırlık Aşamasında	19	24,1	44,3
Başlangıç Aşamasında	10	12,7	57,0
Kısmen Uygulandı	10	12,7	57,0
Tamamen Uygulandı	13	16,5	98,7
5 Yıl İçinde Uygulanacak	1	1,3	100,0
Toplam	79	100,0	
Arttırılmış Gerçeklik (AG)			
Uygulanmadı	11	13,9	13,9
Hazırlık Aşamasında	14	17,7	31,6
Başlangıç Aşamasında	11	13,9	45,6
Kısmen Uygulandı	28	35,4	81,0
Tamamen Uygulandı	14	17,7	98,7
5 Yıl İçinde Uygulanacak	1	1,3	100,0
Toplam	79	100,0	

Tablo 4 incelendiğinde işletmelerin ortalama olarak 3-4 teknolojik bileşene sahip olduğu görülmektedir. IoT teknolojisini kullanan işletmelerin oranı %60'lardadır. Bu durum işletmede akıllı nesnelerin birbiriyle bağlantı da olduğunu, nesnelerin birbiriyle internet aracılığıyla haberleştiğini göstermektedir. Bu durum yöneticilerin uzaktan faaliyetleri izlemesini ve takibini kolaylaştırmaktadır. CPS teknolojisini kullanan işletmelerin oranı %60'a yakındır ve farkındalık çok yüksektir. CPS ile fiziksel ortamdaki işlerin sanal ortamda entegrasyonu sağlanmıştır ve yöneticiler bu sayede işletmeyi uzaktan yönetebilmektedir. Özellikle üretim süreçlerinin uzaktan takip edilmesi, gerçek zamanlı veriler elde etme konusunda avantaj sağlayan bu teknoloji yöneticilere kalite konusunda avantajlar sağlamaktadır. Büyük veri teknolojisi kullanan işletmelerin oranı %60'lardadır. Son zamanlarda çağın petrolü olarak adlandırılan büyük veri yöneticilerin karar vermesinde önemli bir rol oynayarak, anlamsız ve ham haldeki veriyi, anlamlı veriler haline dönüştürmektedir. Verilen kararların isabet derecesini arttıran büyük veri yöneticiler için önemli bir kalite silahıdır denebilir. Büyük veriyi depolamak için kullanılan ve işletmeleri zaman ve yer kavramını sınırından kurtaran bulut teknolojisini araştırma grubumuzdaki işletmelerin %50'ye yakını kullanmaktadır ve farkındalık düzeyi diğer işletmelerde de yüksektir. İşletmeler çoğunlukla kendi bulut alanını kurmak yerine dışardan (Turkcell gibi) hizmetleri kullanmayı daha avantajlı bulmaktadır. İşletmesinde robotik uygulamalar (robot kol, otonom robotlar ve kendi kendine iş yapabilen otonom taşıma araçları) işletmelerin oranı da %60'lardadır. Özellikle üretim işletmelerinde robot teknolojiler vazgeçilmez bir takım arkadaşısıdır. Üretim süreçlerini kısaltan, insanların işlerini kolaylaştıran, tekrarlı basit işleri yapan ya da ağır ve riskli görevleri üstlenen robotlar, insanların iş yerlerinde görmeye alıştığı, hatta insan-robot işbirliğinin konuşulduğu teknolojilerdir. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanan işletmelerin sayısı işletmemizde diğer teknolojileri kullananlara göre daha azdır (%30). Bu durumun nedeni bu teknolojiye ihtiyaç duyan işletmelerin OSB içinde sayılarının az olmasından kaynaklanmaktadır. Prototip üretiminde önemli zaman ve maliyet avantajı sağlayan bu yazıcılar, üretim departmanlarının geleceğinde önemli yer edinecektir. Son olarak araştırmamızda AR teknolojisi kullanan işletmelerin oranı %50'lerdedir. Genelde bu teknoloji eğitim vermek, üretim süreçlerini görmek ve oryantasyon için kullanılmaktadır. Özet olarak, tabi ki tüm teknolojilerin aynı anda bir işletmede toplanması çok zordur. Bu durum işletmenin sektörüne, teknolojiye duyduğu ihtiyaca ve ürettiği ürüne göre farklılık göstermektedir.

Antalya Ticaret ve Sanayi Odası (2017) tarafından yapılan "Antalya Firmalarına Yönelik Endüstri 4.0 Durum Tespiti, Ölçeğin Geliştirilmesi ve Pilot Uygulama Projesi" kapsamında, işletmelerin E4.0 konusunda farkındalık/olgunluk düzeylerini ölçmek için "Dışarıda Kalmış, Acemi, Orta Seviye, Tecrübeli, Uzman ve En İyi Uygulama Örneği" şeklinde bir sınıflandırma yapmıştır. Buna göre işletmelerin kendilerini E4.0 konusunda kendilerini nerede gördükleri sorulmuş ve işletmelerin teknolojilere sahiplik ve kullanım düzeyleri ve buna bağlı olarak kendilerini E4.0 konusunda hangi seviyede gördüğüne dair elde edilen veriler Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. İşletmelerin E4.0 Olgunluk Düzeylerini Belirlemeye Yönelik Frekans ve Yüzdelere

E4.0 Aşaması	Frekans	Yüzde (%)	Toplam Yüzde(%)
Dışarıda kalmış	1	1,3	1,3
Acemi	13	16,5	17,7
Orta seviye	39	49,4	67,1
Tecrübeli	17	21,5	88,6
Uzman	9	11,4	100,0
En İyi Uygulama Örneği	0	0	100,0
Toplam	79	100,0	
	Frekans	Yüzde (%)	Toplam Yüzde(%)
Stratejik Ar-ge ve İnovasyon Hedefleri			
Evet	79	100,0	100,0
Stratejik E4.0 Hedefleri			
Evet	79	100,0	100,0
Toplam	79	100,0	

Yine Tablo 5 incelendiğinde, işletmelere stratejik planlarında, hedeflerinde E4.0 ile ilgili bir hedeflerinin olup olmadığı da sorulmuştur. Nitekim stratejik planlar bir işletmenin gelecekteki durumunu tahmin edebilmek için önemli bir araçtır. Buna göre 79 işletmenin tamamı stratejik planlarına ar-ge ve inovasyon hedeflerini koyduğunu ve tamamının E4.0 konusunda hedeflerinin stratejik planlarında olduğunu belirtmişlerdir. Teknolojilere sahip olan veya nispeten sahip olan bu işletmelerin E4.0 konusunda farkındalıklarının yüksek olduğu ve gelecek planlarında ulaşmak istedikleri bir hedef olduğu açıktır. Nitekim bu hedef tüm dünyanın ve Türkiye'nin de temel hedefleri arasındadır.

İşletmelere ait temel olan bu bilgilerden sonra, işletmelerin E4.0 ölçeği için teknoloji bileşenlerine ait alt uygulamalar ve bunların ortalamaları işletmelerde E4.0 teknolojileri kullanım düzeylerini göstermesi açısından önemlidir. Bu uygulamalara ait veriler Tablo 6'daki gibidir.

Tablo 6. E4.0 Teknoloji Bileşenlerine Ait Uygulamaların Frekans ve Yüzdeleri

E4.0 Teknoloji Bileşenleri	Ortalama	Standart Sapma	Gerçekleştirilmedi		Hazırlık Aşamasında		Fikrim Yok		Kısmen Gerçekleştirildi		Tamamen Gerçekleştirildi	
			F	%	F	%	F	%	F	%	F	%
Robotik Uygulamalar												
İşletmemizde robotik özellikli cihazlar veya endüstriyel robotlar kullanılmaktadır.	3,54	1,534	16	20,3	7	8,9	1	1,3	28	35,4	27	34,2
İşletmemizde robotlar, beklenmedik durumlarda kendi kendine karar verebilmektedir.	3,08	1,448	17	21,5	16	20,3	2	2,5	32	40,5	12	15,2
İşletmemizde robotlar ve çalışanlar uyum içinde çalışmaktadır.	3,51	1,458	13	16,5	11	13,9	1	1,3	31	39,2	23	29,1
İşletmemizde robotlar ve bunların eylemleri uzaktan kontrol edilebilmektedir.	3,53	1,422	13	16,5	9	11,4	1	1,3	35	44,3	21	26,6
Üç Boyutlu Yazıcı												
İşletmemizde katmanlı üretim için 3D teknolojisine sahip yazıcılar kullanılmaktadır.	2,52	1,376	21	26,6	31	39,2	0	0	19	24,1	8	10,1
İşletmemizde 3D yazıcılar ile hızlı ve esnek prototipleme ve üretim sistemleri oluşturulmuştur.	2,22	1,247	28	35,4	29	36,7	2	2,5	17	21,5	3	3,8
İşletmemizde 3D yazıcılar ile kişiselleştirilmiş üretim yapılmaktadır.	2,30	1,314	27	34,2	28	35,4	2	2,5	17	21,5	5	6,3
3D yazıcılar ile yaratıcı ürün tasarımları yapılmaktadır.	2,32	1,296	27	34,2	27	34,2	1	1,3	21	26,6	3	3,8
Bulut Bilişim												
İşletmemizde bulut bilişim ile hızlı veri transferi ve yedekleme sağlanmaktadır.	3,16	1,523	15	19	20	25,3	1	1,3	23	29,1	20	25,3
İşletmemizde bulut bilişim alt yapısı, yazılım veya platformlarından birisi bulunmaktadır.	3,06	1,564	17	21,5	21	26,6	2	2,5	18	22,8	21	26,6
İşletmemiz dışarıdan (Turkcell, TTNET, iClouds vb.) bulut hizmetlerinden faydalanmaktadır.	3,28	1,593	18	22,8	12	15,2	4	5,1	20	25,3	25	31,6
İşletmemiz çalışanları bulut bilişim ile istenilen bilgilere kolaylıkla her yerden erişebilmektedirler.	3,06	1,488	14	17,7	24	30,4	2	2,5	21	26,6	18	22,8
Büyük veri												
İşletmemizde veri tabanı yönetim sistemi bulunmaktadır.	4,41	,994	2	2,5	5	6,3	2	2,5	20	25,3	50	63,3
İşletmemizde büyük veri ile ortaya çıkan sorunlar tespit edilmektedir.	4,32	,941	1	1,3	6	7,6	2	2,5	28	35,4	42	53,2
Büyük veri, karar alma yöntemlerinde kullanılmaktadır.	4,16	1,006	0	0	11	13,9	1	1,3	31	39,2	36	45,6
Büyük veri ile, ürünün kalitesi ve tam zamanında teslimatı ile ilgili tahmin yapılmaktadır.	4,14	1,034	1	1,3	10	12,7	1	1,3	32	40,5	35	44,3
Siber Fiziksel Sistemler												
İşletmemizde siber fiziksel sistemlere uygun olarak yalın üretim sistemi oluşturulmuştur.	4,05	1,239	5	6,3	9	11,4	1	1,3	26	32,9	38	48,1
İşletmemizde otomatik kumanda ve taşıt sistemleri kullanılmakta ve sanal sistemlerden takibi yapılmaktadır.	3,47	1,413	8	10,1	20	25,3	2	2,5	25	31,6	24	30,4
İşletmemizde gerçek zamanlı (anlık) veriler elde edilerek, sanal ve fiziksel ortamın entegrasyonu kurulmuştur.	3,87	1,265	5	6,3	12	15,2	2	2,5	29	36,7	31	39,2
Müşteri isteklerine CPS ile hızlı geri dönüş sistemi oluşturulmuştur.	3,90	1,326	5	6,3	14	17,7	1	1,3	23	29,1	36	45,6
Arttırılmış Gerçeklik												
Fiziksel üretim süreçlerimizin bilgisayar ortamında sanal kopyaları vardır.	4,16	1,265	5	6,3	9	11,4	0	0	19	24,1	46	58,2

İşletmemizde artırılmış gerçeklik cihazları (sanal gerçeklik gözlüğü, optik projeksiyon sistemleri, monitörler, el ya da insan vücuduna takılan görüntüleme cihazları vb.) kullanılmaktadır.	3,61	1,295	7	8,9	13	16,5	6	7,6	31	39,2	22	27,8
İşletmemizde artırılmış gerçeklik ile ürün süreçlerinde yaratıcılık ve zenginleştirme sağlanmaktadır.	3,51	1,386	9	11,4	16	20,3	2	2,5	30	38	22	27,8
İşletmemizde bazı çalışan eğitimleri (acil durumlar, makine kullanımı, tatbikatlar vb.) bilgisayar ortamında yapılabilmektedir.	3,78	1,278	6	7,6	12	15,2	2	2,5	32	40,5	27	34,2
Nesnelerin İnterneti												
İşletmemizde akıllı cihazlar (tablet, telefon, makine vs.) arasında internet ağ sistemi kurulmuştur.	4,54	,903	5	6,3	14	17,7	1	1,3	23	29,1	36	45,6
İşletmemizde ileri teknoloji sayesinde üretim süreçlerinde güvenlik sağlanmıştır.	4,63	,624	0	0	2	2,5	0	0	23	29,1	54	68,4
İşletmemizde akıllı ölçüm teknikleri (akıllı sayaç, uzaktan ölçüm vb.) kullanılmaktadır.	4,25	1,103	2	2,5	9	11,4	1	1,3	22	27,5	45	57,0
İşletmemizde nesnelerin interneti lojistik (taşıma, depolama vb.) faaliyetlerinde kullanılmaktadır.	4,15	1,145	5	6,3	5	6,3	1	1,3	30	38	38	48,1
İşletmemizdeki makinalarda radyo frekans tanımlama etiketleri bulunur.	3,33	1,366	9	11,4	21	26,6	0	0	33	41,8	16	20,3

Tablo 6' da elde edilen sonuçlar, teknolojilere ait belirlediğimiz alt uygulamaların ne olduğu ve bu alt uygulamaların işletmelerde ne düzeyde uygulandığı ile ilgili verileri göstermektedir. Örneğin robotik uygulamalar teknolojisi altında, işletmelerin robotlar veya robotik özellikli cihazlar kullanıp kullanmadığı, otonom robotlar veya diğer robotların insanlar ile etkileşim içinde çalıştığı, robotların beklenmedik durumlarda karar verip veremediği ve bu robotların uzaktan kontrolü ile ilgili uygulamaların varlığı ve ne düzeyde uygulanabildiği sorgulanmaktadır. Örneğin büyük veri teknolojisinin altında yer alan uygulamalara bakıldığında, %4 gibi bir ortalama ile bu teknolojinin işletmeler tarafından sahip olunduğu, % 63 gibi bir oranla veri tabanı yönetim sistemine sahip oldukları, %53 gibi yüksek bir oranla ortaya çıkan sorunları büyük veri ile çözemediği görülmektedir. Yine yöneticilerin büyük veri teknolojisini %45 oranla karar alma süreçlerinde kullandığı, %44 gibi bir oranla üretim süreçleri ve teslimat gibi operasyonları bu teknoloji ile takip edebildiğini ve tahmin yapabildiklerini belirtmişlerdir.

Genel bilgiler içerisinde son olarak bu işletmeleri E4.0 konusunda en fazla zorlayan nedenleri görmek, konuyla ilgili yapılacak gelecek çalışmalar açısından kritik önemdedir. Bu bağlamda işletmelere ait veriler Tablo 7'de verilmiştir. İşletmeleri en fazla zorlayan nedenlere bakıldığında %44' lük bir oranla nitelikli çalışanların olmaması işletmeleri E4.0 konusunda zorlayan bir durumdur. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye içinde nitelikli çalışan yokluğu ve çalışanların dönüşümü üzerinde durulması gereken oldukça önemli bir konudur. Özellikle Eğitim 4.0 ve yeni çalışan becerileri, dijital beceriler ve benzeri konulara önem verilmesi mevcut çalışanların E4.0 koşullarına cevap verebilecek hale dönüştürülmesi, öğrencilerin ise ders müfredatı ve uygulamalar ile gelecek çalışma koşullarına hazırlanması oldukça önemlidir.

Tablo 7. İşletmeleri E4.0 Konusunda En Fazla Zorlayan Nedenlere Ait Frekans ve Yüzde

Nedenler	Frekans	Yüzde (%)	Toplam Yüzde(%)
Nitelikli Çalışan Yokluğu	35	44,3	44,3
Araştırma ve Eğitim Maliyetleri	16	20,3	64,6
Bilgi Eksikliği	9	11,4	76
Finans Yetersizliği	6	7,6	83,6
Standartlaşmama	6	7,6	91,2
Siber Güvenlik	6	7,6	98,8
Diğer	1	1,3	100,0
Toplam	79	100,0	

2.5.2. Keşfedici Faktör Analizi Bulguları

E4.0 teknolojileri kullanım düzeyi ölçeğinin geçerliği ile ilgili istatistiksel kanıtlar sunmak amacıyla keşfedici faktör analizi yapılmıştır. Bu analizler yapılmadan önce verilerin normal dağılıp dağılmadığına dair Kolmogorov-Smirnov anlamlılık değeri (p) veya basıklık ve çarpıklık katsayılarına bakılmıştır. Normal dağılım için değerlerin +1 ile -1 arasında bir değer alması gerekmektedir (Gürbüz, 2019; Aksoğan, 2020). Tablo 8'de görüldüğü üzere verilerin basıklık ve çarpıklık değerleri normal dağılıma uygundur.

Tablo 8. Normallik Testi Sonuçları

Kurtosis (Basıklık)	Skewness (Çarpıklık)
0.041	-0.156

E4.0 teknolojileri kullanım düzeyi ölçeğinin faktörlerine ait özdeğerler ve açıkladıkları varyans miktarları Tablo 9'da gösterilmiştir. Tablo 9 incelendiğinde, faktör analizi sonucunda 7 faktör belirlenmiştir. Belirlenen 7 faktöre ait toplam varyans miktarı ise %68,118'dir. Birinci faktöre ait varyans miktarı %17,546'dır. İkinci faktöre ait varyans %14,242'dir. Üçüncü faktör %10,228, dördüncü faktör %9,381, beşinci faktör %6,846, altıncı faktör %5,057, yedinci faktöre ait varyans miktarı ise %4,817'dir. Özdeğeri 1 ya da 1'den daha büyük olan faktörler önemli faktörler olarak alınmıştır. Tavşancıl (2010)'a göre, faktör analizi sonunda elde edilen varyans oranları ne kadar yüksek olursa, ölçeğin faktör yapısı da o kadar güçlü olmaktadır. Sosyal bilimlerde çok yüksek varyans oranlarına ulaşmak mümkün olmamakta, %40 ile %60 arasında değişen varyans oranları yeterli kabul edilmektedir. Buna göre, %68,118'lik bir toplam varyansın oldukça güçlü olduğu ifade edilebilir.

Tablo 9. Faktörler ve Açıkladıkları Varyans Miktarları

Faktörler	Özdeğer	Varyans	Yığılmalı Toplam
1	5,439	17,546	17,546
2	4,415	14,242	31,789
3	3,171	10,228	42,017
4	2,908	9,381	51,398
5	2,122	6,846	58,244
6	1,568	5,057	63,300
7	1,493	4,817	68,118

Maddelerin faktörlere göre dağılımını belirlemek için yapılan Varimax dik döndürme analizi sonuçları ise Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. E4.0 Teknolojileri Kullanım Düzeyi Ölçeğinin Faktör ve Madde Yükleri

E4.0 Teknolojileri Kullanım Düzeyi Ölçeği	Faktörler						
	Robotik Uygulamalar	3D Yazıcı	Bulut Bilişim	Siber Fiziksel Sistemler	Büyük Veri	Artırılmış Gerçeklik	Nesnelerin İnterneti
1. İşletmemizde robotlar ve çalışanlar uyum içinde çalışmaktadır.	,924						
2. İşletmemizde robotik özellikli cihazlar veya endüstriyel robotlar kullanılmaktadır.	,879						
3. İşletmemizde robotlar ve bunların eylemleri uzaktan kontrol edilebilmektedir	,872						
4. Robotlar, beklenmedik durumlarda kendi kendine karar verebilmektedir	,663						
5. 3D yazıcılar ile yaratıcı ürün tasarımları yapılmaktadır.		,877					
6. İşletmemizde katmanlı üretim için 3D teknolojisine sahip yazıcılar kullanılmaktadır.		,839					
7. İşletmemizde 3D yazıcılar ile hızlı ve esnek ürün prototipleme ve üretim sistemleri oluşturulmuştur.		,811					
8. İşletmemizde 3D yazıcılar ile kişiselleştirilmiş üretim yapılmaktadır.		,804					
9. İşletmemiz bulut bilişim ile istenilen bilgilere kolaylıkla her yerden erişebilmektedir			,922				
10. İşletmemizde bulut bilişim alt yapısı, yazılım veya platformlarından birisi bulunmaktadır			,872				
11. İşletmemiz dışarıdan (Turkcell, TTNET, iClouds vb.) bulut hizmetlerinden faydalanmaktadır			,835				
12. İşletmemizde bulut bilişim ile hızlı veri transferi ve yedekleme sağlanmaktadır.			,703				
13. Müşteri isteklerine CPS ile hızlı geri dönüş sistemi oluşturulmuştur.				,877			

14.	İşletmemizde siber fiziksel sistemlere uygun olarak yalın üretim sistemi oluşturulmuştur.				,869			
15.	İşletmemizde gerçek zamanlı (anlık) veriler elde edilerek, sanal ve fiziksel ortamın entegrasyonu kurulmuştur.				,754			
16.	İşletmemizde otomatik kumanda ve taşıt sistemleri kullanılmakta ve sanal sistemlerden takibi yapılmaktadır	,433			,663			
17.	İşletmemizde büyük veri ile ortaya çıkan sorunların temel nedenleri kısa sürede belirlenmektedir				,866			
18.	Büyük veri, karar alma ve geleceği daha isabetli tahmin etme yeteneği sağlamaktadır				,777			
19.	Büyük veri ile ürünün kalitesi ve tam zamanında teslimatı ile ilgili öngörüş elde edilebilmektedir.				,766			
20.	İşletmemizde veri tabanı yönetim sistemi vardır.				,639			
21.	İşletmemizde artırılmış gerçeklik ile ürün süreçlerinde yaratıcılık ve zenginleştirme sağlanmaktadır.					,894		
22.	İşletmemizde bazı çalışan eğitimleri (acil durumlar, makine kullanımı, tatbikatlar vb.) bilgisayar ortamında yapılabilmektedir.					,757		
23.	Fiziksel üretim süreçlerimizin bilgisayar ortamında sanal kopyaları vardır.					,649		
24.	İşletmemizde artırılmış gerçeklik cihazları (sanal gerçeklik gözlüğü, optik projeksiyon sistemleri, monitörler, el ya da insan vücuduna takılan görüntüleme cihazları vb.) kullanılmaktadır					,488		
25.	İşletmemizde nesnelerin interneti ile lojistik (taşıma, depolama vb.) faaliyetlerinde verimlilik sağlanmıştır.						,788	
26.	İşletmemizde ileri teknoloji sayesinde üretim süreçlerinde güvenlik sağlanmıştır.						,777	
27.	İşletmemizde akıllı ölçüm teknikleri (akıllı sayaç, uzaktan ölçüm vb.) kullanılmaktadır.						-,725	
28.	İşletmemizde akıllı cihazlar (tablet, telefon, makine vs.) arasında internet ağı sistemi kurulmuştur						,455	
29.	İşletmemizdeki makinalarda radyo frekans tanımlama etiketleri bulunur.				,477			,520

Tablo 10 incelendiğinde, varimax dik döndürme tekniği kullanılarak maddelerin faktörlere dağılımına bakıldığında, ölçeğin özdeğeri 1'den büyük 7 faktörde toplandığı, tüm maddelerin girdikleri faktörde kabul edilebilir yük değerlerine sahip (en düşük madde yük değerinin 0.455; en yüksek madde yük değerinin 0.924) olduğu görülmüştür. Faktörlerin dağılımı bozan, sapma gösteren ve çıkarılan soru bulunamamıştır. Bu doğrultuda, elde edilen sonuçlara göre maddelerin ağırlıklı olarak yığıldıkları faktörler dikkate alınarak, maddelerin ifade ettikleri anlama göre isimlendirme yapılmıştır. Buna göre birinci faktör robotik uygulamalar, ikinci faktör üç boyutlu yazıcı, üçüncü faktör bulut bilişim, dördüncü faktör siber fiziksel sistemler, beşinci faktör büyük veri, altıncı faktör artırılmış gerçeklik ve yedinci faktör nesnelerin interneti olarak isimlendirilmiştir.

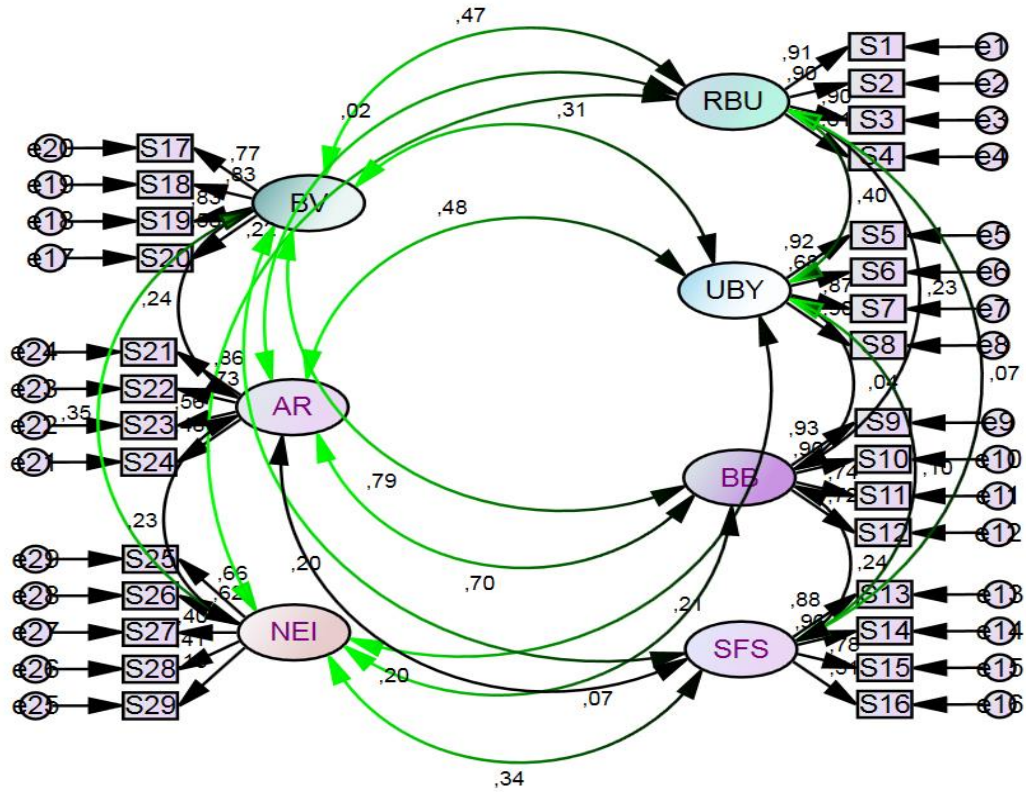
Tablo 10'a göre aynı faktör altında toplanan uygulamalar, faktöre ait ortak yönleri ve soruları içermektedir. Örneğin, birinci faktörde yer alan robotik uygulamaların (robot kol, otonom robotlar, robotik özellikli endüstriyel cihazlar) içerisinde bu teknolojiye ait sorular toplandığı görülmektedir. İşletmenin robot teknolojilere sahip olup olmadığı, robotların beklenmedik durumlar için karar verip veremediği, bu teknolojileri uzaktan kullanabilmesi, robot çalışan işbirliği gibi soruların bu faktörde toplandığı görülmektedir. Aynı durum diğer teknoloji bileşenleri içinde geçerlidir. Teknolojilere ait alt uygulamalar ilişkili oldukları teknoloji başlığı altında toplanmaktadır. Bu tablo ile, bu ölçeği kullanmak isteyen yöneticilerin ve araştırmacıların ölçmek istedikleri teknolojilerin hangi sorularla ölçülmesi gerektiğine dair bir katkı sağlamaktadır. Örneğin, üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile ilgili araştırma yapan bir araştırmacının, işletmede üç boyutlu yazıcıların kullanıp kullanılmadığını, yazıcılar ile hızlı ve esnek ürün prototipleme ve üretim sistemleri oluşturulup oluşturulmadığını, yazıcılar ile kişiselleştirilmiş üretim ve yaratıcı ürün tasarımları yapılıp yapılmadığını sorgulaması doğru olacaktır. Bunlarla birlikte, örneğin işletmesinde bulut bilişim teknolojisini kullanmak isteyen bir yöneticinin bulut bilişim alt yapısı, yazılım veya platformlarından en az birini kullanması gerektiği, kendisinin bu hizmeti oluşturması ya da dışarıdan (Turkcell, TTNET, iClouds vb.) bulut hizmetlerinden faydalanmasının gerektiği, bulut bilişim ile hızlı veri transferi ve yedekleme ve işletme bilgilerine her yerden ulaşabilme imkanlarını çalışanlarına sağlaması gerekmektedir.

Keşfedici faktör analizine göre yedi faktöre ayrılan bu ölçeğin sağlam kuramsal temellere oturtulması için, yapısal ve faktöriyel geçerliliğini ortaya koymak açısından doğrulayıcı faktör analizinin yapılması gerekmektedir (Gürbüz, 2019: 51). Bu bağlamda araştırmanın doğrulayıcı faktör analizi yapılmıştır.

2.5.3. Doğrulayıcı Faktör Analizi Bulguları

Bir ölçekteki gözlenen değişkenlerin birden fazla faktör altında toplanmasına çok faktörlü doğrulayıcı faktör analizi modeli denir. Bu modelde, ortak varyansları birbirine benzeyen gözlenen değişkenler aynı faktör altında toplanmaktadır.

Dolayısıyla aynı faktör altında yer alan maddeler birbiri ile bağlantılı iken diğer faktördeki değişkenlerden nispeten bağımsızdır (Gürbüz, 2009: 55). Bu kapsamda araştırmanın doğrulayıcı faktör analizi görseli Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Doğrulayıcı Faktör Analizi

Doğrulayıcı faktör analizi sonuçlarına dair istatistiksel veriler Tablo 11 ve 12’de verilmiştir. Tablo 11 incelendiğinde, yedi alt boyut ve 29 maddeden oluşan E4.0 teknolojileri kullanım düzeyi ölçeği SPSS Amos programında analiz edilmiştir. Doğrulayıcı faktör analizi yapıldıktan sonra ve parametreler tahmin sonra modelin veriye uygun olup olmadığı ve modeldeki ilişkilerin anlamlılığı araştırılır. Modelin elde edilen veriyi ne kadar iyi açıkladığı uyum iyiliği indeksleri ile belirlenir. Uyum iyiliği testleri modelin kabul ve reddedilme kararının verildiği aşamadır. Yapılan doğrulayıcı faktör analizi ile literatürde kabul edilen uyum iyiliği değerlerine ulaşılmıştır. (Schermele vd., 2003). Bu sonuçlar E4.0 ölçeğinin öngörülen kurumsal yapısının doğrulandığını göstermiştir.

Tablo 11. E4.0 Teknolojileri Kullanım Düzeyi Ölçeğine Ait Doğrulayıcı Faktör Analizi Sonuçları

Model	Ki-kare Değeri	Ki-kare/Sd	NNFI (Normlandırılmamış Uyum)	NFI (Normlandırılmış Uyum)	CFI (Karşılaştırmalı Uyum İndeksi)	RMSEA (Kök Ortalama Kare Yaklaşım Hata)	GFI (Uyum İyiliği Endeksi)
Ölçek Faktörleri	1658,50	1,85	,96	,95	,96	,07	,87
Standartlar		≤ 3	,95≤NNFI≤,97	≥,90	,95≤CFI≤,97	,05<RMSEA<,10	≥,85

Kaynak: (Schermele vd. 2003, standartlar)

Uygunluk istatistikleri tasarlanan modelin gerçek ile ne derece uyduğunu test eder, dolayısıyla modelin yapısal geçerliliğini (construct validity) ortaya koymaktadır. Yapılan doğrulayıcı faktör analizine göre elde edilen tahmin değerleri ise Tablo 12 ’de verilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere, p değerlerinin anlamlı olduğu, standardize regresyon katsayılarının da 0,5’ in üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum ölçeğimizin anlamlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 12. Doğrulayıcı Faktör Analizine Yönelik Tahmin Değerleri

			Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
RBU	<---	RBU	1,000				
RBU	<---	RBU	1,038	,084	12,370	***	
RBU	<---	RBU	,960	,078	12,324	***	
RBU	<---	RBU	,661	,108	6,152	***	
UBY	<---	UBY	1,000				
UBY	<---	UBY	,781	,107	7,282	***	
UBY	<---	UBY	,904	,078	11,544	***	
UBY	<---	UBY	,985	,079	12,437	***	
BB	<---	BB	1,000				
BB	<---	BB	1,018	,086	11,785	***	
BB	<---	BB	,853	,103	8,248	***	
BB	<---	BB	,796	,100	7,928	***	
SFS	<---	SFS	1,000				
SFS	<---	SFS	1,016	,086	11,841	***	
SFS	<---	SFS	,848	,096	8,786	***	
SFS	<---	SFS	,619	,128	4,831	***	
BV	<---	BV	1,000				
BV	<---	BV	1,495	,289	5,180	***	
BV	<---	BV	1,442	,279	5,162	***	
BV	<---	BV	1,260	,253	4,979	***	
AR	<---	AR	1,000				
AR	<---	AR	1,148	,340	3,373	***	
AR	<---	AR	1,504		3,815	***	
AR	<---	AR	1,935	,496	3,905	***	
NEI	<---	NEI	1,000				
NEI	<---	NEI	1,036	,456	6,100	***	
NEI	<---	NEI	2,025	,483	5,093	***	
NEI	<---	NEI	1,808	,498	6,139	***	
NEI	<---	NEI	3,514	,397	4,142	***	

*** X'in tahmininde x için regresyon ağırlığı 0,001 düzeyinde sıfırdan önemli ölçüde farklıdır. Bu ifadeler, uygun varsayımlar altında büyük numuneler için yaklaşık olarak doğrudur.

Faktörler altında yer alan alt uygulamalara ait soruların dağılımı ve korelasyon değerleri ise Tablo 13' de verilmiştir. Gürbüz (2019) ifade ettiği gibi, aynı faktör altında yer alan değişkenler birbirine bağlı ve yüksek korelasyonlara sahipken, değişkenler arası korelasyonlar nispeten düşük ve bağımsızdır. Korelasyon değerlerinin kural olarak 0,5'in üstü olması anlamlılık açısından önemlidir. İfadeler arası korelasyonların 0,3'ten yüksek olması beklenen bir durumdur, önerilen ise 0,4'ten büyük olmasıdır (Yaşlıoğlu, 2017).

Tablo 13. Doğrulayıcı Faktör Analizine Göre Soruların Korelasyon Değerleri

Faktör	Soru	Korelasyon Değeri	Faktör	Soru	Korelasyon Değeri
Robotik Uygulamalar	S1	,90	Büyük Veri	S17	,77
	S2	,91		S18	,83
	S3	,90		S19	,83
	S4	,61		S20	,59
3D Yazıcı	S5	,92	Arttırılmış Gerçeklik	S21	,86
	S6	,68		S22	,73
	S7	,87		S23	,56
	S8	,90		S24	,48
Bulut Bilişim	S9	,93	Nesnelerin İnterneti	S25	,66
	S10	,90		S26	,62
	S11	,74		S27	,40
	S12	,72		S28	,41
Siber Fiziksel Sistemler	S13	,88		S29	,19
	S14	,96			
	S15	,78			
	S16	,51			

Tablo 13 incelendiğinde, tüm faktörlere ait korelasyon değerlerinin (S29 hariç) 0,4'ün üzerinde olduğu görülmektedir. Özellikle robotik uygulamalar, büyük veri, üç boyutlu yazıcı, bulut bilişim, ve siber fiziksel sistemler teknolojilerine ait korelasyon değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum aynı faktör altında toplanan soruların birbiriyle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Soruların güvenilir olduğunu göstermesi açısından korelasyon değerleri bu açıdan oldukça önemlidir. Açıklayıcı ve doğrulayıcı faktör analizine göre elde ettiğimiz sonuçların literatür ile ilgili bir karşılaştırması yapılacak olursa aşağıdaki gibi bir tartışma ve değerlendirme yapılabilir.

Sonuç ve Değerlendirme

İşletmelerin E4.0 hedeflerini ne derece hayata geçirdikleri, E4.0 teknolojileri kullanım düzeyleri, hazırlık düzeyleri ve olgunluk düzeyleri gibi modeller ile ölçülmektedir. Sürecin henüz yeni olması ve sonuçların öngörülebilmesi E4.0 konusunda bir kafa karışıklığı bulunmaktadır. E4.0'daki önemli ve zor bir araştırma konusu, E4.0 olgunluğu, E4.0 hazırlığı, E4.0 teknolojileri kullanım düzeyi gibi yapılarının tanımı ve doğrulanması ile ilgilidir (Koh vd., 2019). E4.0'a geçiş işletmenin stratejisi, organizasyonu, operasyonları ve ürünleri hakkında geniş bir bakış açısı gerektirmektedir ve bu nedenle E4.0 oldukça karmaşık bir algı yaratmaktadır. E4.0 faydaları ve maliyetleri açısından projelerin sonuçlarına ilişkin belirsizlik, işletmenin E4.0 mevcut durumunu ve yeteneğini belirleyememesi ve E4.0 iyileştirmesi için stratejik rehber eksikliği bu karışıklık algısına neden olmaktadır (Schumacher vd., 2016). Bu anlamda, E4.0 için modellerin geliştirilmesine yönelik deneysel bir çalışma eksikliği bulunmaktadır ve daha fazla ölçek ve modellerin üzerine çalışılması gerekmektedir (Caiado vd., 2021). Son çalışmalardan biri olan Tortora vd. (2021) çalışmalarında E4.0'a geçiş konusunda işletmelerin hazırlık, olgunluk ve teknoloji seviyesinin belirlenmesinin öneminden bahsetmektedir. Bu kapsamda bu çalışmada üretim işletmelerinin E4.0 teknolojileri kullanım düzeylerini ölçen spesifik bir model önerilmektedir.

Üretim sektöründeki birçok işletme E4.0 kavramına çok ilgi duyuyor gibi görünse de, E4.0'ı anlamının ve tanımlamanın tek bir yolu bulunmamaktadır. Bu durum birçok faktöre ve konuya bütüncül bir bakış ile odaklanmayı gerektirmektedir. Özellikle E4.0 için belirleyici ölçeklerin ve modellerin araştırılması konuyu daha somut hale getirmektedir. E4.0 teknoloji seviyesi, hazırlık ve olgunluk düzeyinin belirlenmesi üzerine yapılan bazı araştırmalar şu şekilde özetlenebilir. Schuh vd. (2017) araştırmasında, işletmelerin dönüşümü sırasında stratejilerini düzenlerken dört kritere dikkat etmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu kriterler; bilgi sistemleri, kaynaklar, organizasyon yapısı ve kültürdür. Bu araştırmaya göre, işletmelerin E4.0'a geçiş modellerini bu dört boyuta göre oluşturmaları ilk önce bilişim alt yapısı ve kaynak donanımını tamamlayarak örgüt yapısı ve kültürünü E4.0 sürecine uyumlaştırmaları gerekmektedir. Çünkü, E4.0 sadece makine ve ekipman gibi somut kaynakların değil, aynı zamanda çalışanların nitelikleri, örgütün kültürü, sahip olduğu yapı ve iklim gibi soyut kaynaklarını da kapsayan ve değiştiren bir devrimdir. E4.0 dönüşümünde Ganzarain ve Errasti (2016) üç aşamalı bir olgunluk modeli ortaya koymuştur. Bunlar, E4.0 vizyonu, E4.0 yol haritası ve E 4.0 projeleridir. Buna göre, işletmeler ilk olarak bir E4.0 için bir vizyon ve hedef belirlemeli buna göre stratejilerini ortaya koymalıdır. Daha sonra bu stratejiler doğrultusunda planlamalar yaparak bir yol haritası çizmeli ve projeler üretmelidir. Bu doğrultuda işletmeler yol haritalarını hazırlarken, ilk önce mevcut durumlarını ve teknolojileri kullanım düzeylerini belirlemeleri oldukça önemlidir. Schumacher vd. (2016) araştırmalarında, işletmelerin E4.0 teknolojileri ve kullanım ve olgunluk düzeyleri konusunda, strateji, liderlik, müşteriler, ürün, operasyon, kültür, insan, hükümet, teknoloji başlıkları çerçevesinde kendilerini hazırlamaları ve dönüştürmeleri gerektiğini ifade etmişlerdir. Örneğin, müşteri başlığında, müşteri verilerinin kullanılması, satışların/hizmetlerin dijitalleşmesi, müşterinin dijital medya yetkinliği, operasyon başlığında, süreçlerin merkezi olmayan yapısı, modelleme ve simülasyon, disiplinler arası bölümler arası işbirliği, kültür başlığında, bilgi paylaşımı, açık inovasyon ve şirketler arası işbirliği, işletmede bilgi ve iletişim değeri konularında E4.0'a uyumlaştırılması gerekmektedir. Ariffin ve Ahmad (2021) ise E4.0 olgunluk düzeylerinin belirlenmesinde, işletmelerin örgütsel göstergeleri olan insanları, süreci, teknolojiyi, yeteneği ve kalite iyileştirme uygulamalarına uyum sağlama istekliliğine dikkat çekmektedir.

Yine, Lichtblau vd. (2015) E4.0'a hazırlık düzeyinde, altı boyut altında 18 maddeli bir araştırma sonucu sunarken aynı zamanda, E4.0 önündeki engelleri ve çözüm yollarını da analiz etmektedir. Klötzer ve Pflaum (2017) E4.0 olgunluk düzeyinde, üretim tedarik zincirlerinde dijitalleşmeyi ölçen bir olgunluk modeli önermiştir ve bu araştırma siber-fiziksel sistemler, akıllı ürünler ve büyük veri analitiği gibi alanları kapsamaktadır. Bibby ve Dehe (2018) E4.0 olgunluk düzeyi çalışmalarında, akıllı fabrikalar, insan ve kültür ve strateji boyutları temelinde, E4.0 olgunluk değerlendirmesi yapmışlardır. Akıllı fabrikalar için, 3 boyutlu yazıcı ile katmanlı üretim, bulut bilişim, üretim yürütme sistemi, nesnelerin interneti, siber-fiziksel sistemler, büyük veri, sensörler, e-değer zinciri ve otonom robotların kullanımını araştırmışlardır. Nemeth vd. (2018) çalışmalarında E4.0 olgunluk düzeyi için, işletmelerin kestirimci ve önleyici bakım stratejilerinin veri bilimi ile desteklenerek dijitalleşmesini hedef alan bir olgunluk modeli önermektedirler. Paccini vd. (2019) E4.0 hazırlık düzeyi üzerine yaptıkları çalışmalarında, araştırmacılar, IoT, büyük veri, bulut bilişim, siber fiziksel sistemler, otonom robotlar, eklemeli imalat, artırılmış gerçeklik ve yapay zeka gibi E4.0 teknolojileri için işletmelerin hazırlık düzeyini ölçen bir model önermişlerdir. Santos ve Martinho (2019) E4.0 olgunluk modeli çalışmalarında, örgütsel strateji, yapı ve kültür, işgücü, akıllı fabrikalar, akıllı süreçler, akıllı ürünler ve servisleri temel alan bir olgunluk modeli geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada literatürü destekleyecek şekilde, E4.0 teknolojileri kullanım düzeyinde yedi boyutlu (nesnelerin interneti, siber fiziksel sistemler, büyük veri, üç boyutlu yazıcı, bulut bilişim, otonom robotlar ve artırılmış gerçeklik) 29 maddeli bir ölçek önermektedir. Özellikle üretim işletmelerinin teknolojileri kullanım düzeyinin belirlenmesinde yardımcı olacak bu ölçeğin, diğer bağımlı değişkenler ile birleştirilerek yeni çalışmalara temel hazırlayacağı düşünülmektedir.

Bu araştırmanın amacı, E4.0 teknolojileri kullanım düzeyinin belirlenmesi için bir ölçek geliştirmektir. Bu ölçek işletmelerin, özellikle üretim işletmelerinin, teknolojileri kullanımları konusunda hangi düzeyde olduklarını görmeleri açısından E4.0 alanına önemli bir katkı sağladığı düşünülmektedir. Bu noktada amacımız, teknolojilerin ve bu teknolojilere bağlı olarak

belirlenen alt uygulamaların işletmelerde ne düzeyde gerçekleştiğini görmek, buna göre teknoloji düzeyini hazırlık, başlangıç, olgunluk düzeyi gibi seviyelerle tanımlayabilmektir.

Bu kapsamda E4.0 teknoloji kullanım düzeylerinin belirlenmesi için kurumsal bilgilerle toplamda 41 soru, teknolojilere ait ölçek için analiz edilen 29 soru-7 boyuttan oluşan bu ölçeğin istatistiksel açıdan yeterli koşulları sağladığı görülmüştür. Elde edilen bulgular doğrultusunda her teknolojiye ait alt uygulamalar, faktör yükleri ile teknoloji boyutları altında toplanmıştır. Bulgular sonucunda elde edilen yedi faktörlü bu ölçekte, her faktör bir teknoloji bileşenine denk gelmektedir. Buna göre aynı teknoloji içerisinde yer alan uygulamalar birbiriyle bağlıdır, diğer boyutlar ile nispeten bağlı veya bağımsızdır. Yapılan keşfedici ve doğrulayıcı faktör analizine göre ölçek istatistiksel açıdan anlamlı ve güvenilirdir.

Türkiye E4.0 konusunda, E2.0 ile E3.0 arasında bir olgunluk düzeyine sahiptir. İşletmelerin kullandıkları teknolojiler E4.0 ile tam olarak uyumlu değildir. Türkiye’de E4.0’a tam olarak geçen her anlamda uygulayan işletmelerin sayısı parmakla sayılabilecek kadardır. Özellikle Türkiye ekonomisinin can suyunu oluşturan KOBİ’lerin E4.0 yolculukları oldukça sıkıntılıdır. Buna rağmen, uluslararası rekabet için E4.0’a geçiş kritik bir önem taşımaktadır. Bu nedenle işletmelerin dönüşümü, teknoloji bileşenlerini kullanmaya başlaması hem hükümetin hem de işletmelerin gündemindedir. Özellikle Türkiye’deki işletmelerin %95’ inden fazlasını oluşturan KOBİ’lerin E4.0 konusunda önemli desteklere ihtiyacı bulunmaktadır. KOBİ’ler finans, çalışan ve ar-ge maliyetleri konusunda dezavantajlı gruptadır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde büyük işletmeler E4.0’a geçişte daha avantajlı durumdadır. Dezavantajların avantaja dönüşebilmesi için gerekli planlamaların, teşviklerin ve analizlerin yapılması önem taşımaktadır. İşletmelerin mevcut durumlarını görmesi ve buna göre gelecek yatırımlarını yapması gerekmektedir. Bu bağlamda, E4.0 konusunda hangi düzeyde, hazırlıkta veya olgunlukta olduklarını bilmek sürecin ilk aşamasıdır. Bu aşamada E4.0 teknolojilerine sahip olmak ve bu teknolojilerin kullanım düzeylerinin belirlenmesi mevcut durumu görmeyi sağlamaktadır. Bu noktada E4.0 teknolojileri kullanım düzeyinin belirlenmesi için ölçek ve modellere ihtiyaç duyulacaktır. Bu çalışma özellikle bu aşamada girişimcilere ve uygulayıcılara fayda sağlayacaktır.

Ülkemizde E4.0 konusunda yapılan çalışmaların sayısı ne kadar fazla olursa farkındalık düzeyi de o kadar yükselecektir. Özellikle uygulamalı çalışmaların sayısı sınırlıdır. Bunun nedeni konunun yeni olması, karmaşık ve kapsayıcı olması ve örnek çalışmaların ve henüz ölçeklerin geliştirilmemiş olmasından kaynaklanmaktadır. Bu araştırma, araştırmacılara hazır bir ölçek olması açısından fayda sağlayacak, anket oluşturma sürecini ortadan kaldırarak araştırma sürecini kısaltacaktır. Bu açıdan gelecek araştırmalar için E4.0’ın farklı değişkenlerle ilişkilendirilmesi ve yeni ölçeklerin hazırlanmasına birikim oluşturmaktadır. Gelecek araştırmalarda, E4.0 teknolojileri kullanım düzeyi ölçeğinin geliştirilmesi için farklı alt uygulamalar ve daha büyük örneklem grupları kullanılarak güvenilirliği ve geçerliliği artırılabilir. Özellikle bu ölçek kullanılarak, işletmelerin performansları, verimlilikleri, kalite ve çalışanlar üzerine etkileri konularında çalışılabilir. Teknolojik işsizlik, yeniliğe direnç, çalışanların niteliklerinde dönüşümler, işletme işlevlerinin 4.0’a adaptasyonu, toplum 5.0, akıllı çalışanlar vb. gibi değişkenlerle ilişkilendirilerek işletme alanına yeni katkılar sağlanabilir.

Kaynakça

- Akdil, K. Ustundag, A. ve Çevikcan E. (2018). Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation* (Edt: Ustundag A. ve Çevikcan E.)pp 61-94, Newyork: Springer.
- Aksoğan, M. (2020). Opinions of students about distance education in the pandemi process. *MTU Journal of Engineering and Natural Sciences, Special Issue*, 1-9. doi:10.46572/nat.2020.11.
- Aksu, G., Eser M.T. ve Güzeller C.O. (2017). *Açıklayıcı ve doğrulayıcı faktör analizi ile yapısal eşitlik modeli uygulamaları*. Ankara: Detay yayıncılık.
- Antalya Ticaret ve Sanayi Odası (2017). Antalya firmalarına yönelik Endüstri 4.0 Durum tespiti, ölçeğin geliştirilmesi ve pilot uygulama projesi. ATSO, Akdeniz Üniversitesi TTO, Antalya Bilim Üniversitesi TTO, Antalya, <https://www.atso.org.tr/yukleme/dosya/b5397a8cdd23159c064f2957c269fbe4.pdf>.
- Ariffin, K. A. Z., ve Ahmad, F. H. (2021). Indicators for maturity and readiness for digital forensic investigation in era of industrial revolution 4.0. *Computers & Security*, 105, 102237.
- Bai, C., Dallasaga, P., Orzes, G., ve Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 229, 107776.
- Basl, J. (2016). The pilot survey of the industry 4.0 principles penetration in the selected czech and polish companies. *Journal Of Systems Integration*, 7(4), 3-8.
- Benešová, A. ve Tupa J.(2017), Requirements for education and qualification of people in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 2195-2202.

- Bibby, L., ve Dehe, B. (2018). Defining and assessing industry 4.0 maturity levels–case of the defence sector. *Production Planning & Control*, 29(12), 1030-1043.
- Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2018). Türkiye'nin sanayi devrimi; Dijital Türkiye, Türkiye'nin sanayi devrimi yol haritası. <https://www.sanayi.gov.tr/tsddtyh.pdf>. erişim tarihi 10.04.2021.
- Caiado, R. G. G., Scavarda, L. F., Gavião, L. O., Ivson, P., de Mattos Nascimento, D. L., ve Garza-Reyes, J. A. (2021). A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 231, 107883.
- Damiani, L., Demartini, M., Guizzi, G., Revetria, R., ve Tonelli, F. (2018). Augmented and virtual reality applications in industrial systems: A qualitative review towards the industry 4.0 era. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 624-630
- Dopico, M., Gomez, A. D. L. Fuente, D., García, N., Rosillo, R. & Puche, J. (2016). A vision of industry 4.0 from an artificial intelligence point of view. *Int'l Conf. Artificial Intelligence, ICAI'16*, 407-413.
- Drath, R. & Horch A. (2014), Industrie 4.0: Hit or hype?, *IEEE Industrial Electronics Magazin*, 56-58.
- Enrique, D. V., Druczkoski, J. C. M., Lima, T. M., ve Charrua-Santos, F. (2021). Advantages and difficulties of implementing Industry 4.0 technologies for labor flexibility. *Procedia Computer Science*, 181, 347-352.
- Frank, A. G., Dalenogare L.S. & Ayala N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 15-26, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>.
- Ganzarain, J. ve Errasti, N. (2016). Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(5), <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.2073>.
- García, S. G. & García M. G. (2019). Industry 4.0 implications in production and maintenance management: An overview. *Procedia Manufacturing*, 41, 415-422, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.027>.
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The industrial internet of things*. New York: Springer Publishing, Apress Media.
- Görçün, Ö. F. (2017). *Dördüncü sanayi devrimi, endüstri 4.0*. İstanbul: Beta Yayıncılık.
- Guzmán, V.E., Muschard B., Gerolamo M., Kohl H. & Rozenfeld H. (2020). Characteristics and skills of leadership in the context of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 43, 543–550, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.167>.
- Gürbüz, S. (2019). *AMOS ile yapısal eşitlik modellemesi*. Ankara: Seçkin Kitabevi.
- Güriş S. ve Astar M. (2014). *SPSS ile istatistik*. İstanbul: Der Yayınları
- Hermann, M., Pentek T. & Otto B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *49th Hawaii International Conference on System Sciences*, 3929-3937.
- Jeschke, S., Brecher, C., Meisen, T., Özdemir, D., ve Eschert, T. (2017). Industrial internet of things and cyber manufacturing systems. *In Industrial Internet of Things* (pp. 3-19). Springer, Cham.
- Kagermann, H., Wahlster W. & Helbig J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0. ACATECH– *National Academy of Science and Engineering*.
- Kiangala, K. S., ve Wang, Z. (2019). An Industry 4.0 approach to develop auto parameter configuration of a bottling process in a small to medium scale industry using PLC and SCADA. *Procedia Manufacturing*, 35, 725-730.
- Klötzer, C., ve Pflaum, A. (2017). Toward the development of a maturity model for digitalization within the manufacturing industry's supply chain. *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*. Doi:10.24251/hicss.2017.509.
- Koh, L., Orzes, G. Ve Jia, F. (2019). The fourth industrial revolution (Industry 4.0): Technologies disruption on operations and supply chain management. *International Journal of Operations & Production Management*, 39, 817–828.
- Lasi, H., Kemper, H.G., Fettke, P., Feld, T. & Hoffmann, M., 2014. Industry4.0. *Springer Fachmedien Wiesbaden*, 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>, <http://www.wirtschaftsinformatik.de>.
- Li, X., Li D., Wan J., Vasilakos, A.V., Lai C.F. & Wang S. (2017). A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0. *Wireless Network*, 23, 23-41. doi 10.1007/s11276-015-1133-7.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, R., Bleider, M., ve Millack, A. (2017). IMPULS, Industry 4.0 readiness, VDMA.https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/26342484/Industrie_40_Readiness_Study_1529498007918.pdf/0b5fd521-9ee2-2de0-f377-93bdd01ed1c8.

- Malik, A. A. ve Bilberg, A. (2019). Collaborative robots in assembly: A practical approach for tasks distribution. *In 52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 81, 665-670.
- Meissner, H., Ilse R. & Aurich J.C. (2017). Analysis of control architectures in the context of industry 4.0. *Procedia CIRP* 62, 165-169.
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., ve Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal Of Manufacturing Systems*, 49, 194-214.
- Mrugalska, B. & Wyrwicka M.K. (2017). Industry 4.0-towards opportunities and challenges of implementation. *24th International Conference on Production Research*, doi: 10.12783/dtetr/icpr2017/17640.
- Nemeth, T., Ansari, F., Sihn, W., Haslhofer, B., ve Schindler, A. (2018). PriMa-X: A reference model for realising prescriptive maintenance and assessing its maturity enhanced by machine learning. *Procedia CIRP*, 72, 1039-1044.
- Özdoğan, O. (2017). *Endüstri 4.0, dördüncü sanayi devrimi ve endüstriyel dönüşümün anahtarları*. İstanbul: Pusula 20 Teknoloji ve Yayıncılık A.Ş.
- Pacchini, A. P. T., Lucato, W. C., Facchini, F., ve Mummolo, G. (2019). The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. *Computers in Industry*, 113, 103125.
- Pallant, J. (2011). *SPSS survival manual: A step by step guide to data analysis using the SPSS program*. (4th Edition), Mc Graw Hill: Open University Press.
- Pan M. Sikorski J. Kastner C.A. Akyord., Mosbach S., Lau, R. & Kraft, M. (2015). Applying Industry 4.0 to the Jurong Island eco-industrial park. *The 7. international conference on applied energy*, ICAE, 75, 1536-1541.
- Roblek, V., Meško M. & Krapež A. (2016). A complex view of industry 4.0. *Sage Open*. 1-11, doi: 10.1177/2158244016653987.
- Santos, M.Y., Sá J.O., Andrade C., Lima F.V., Costa E., Costa, C., Martinho B. & Galvão J. (2017). A big data system supporting Bosch Braga industry 4.0 Strategy. *International Journal of Information Management*, 37, 750-760.
- Santos, R. C., ve Martinho, J. L. (2019). An Industry 4.0 maturity model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5). <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-09-2018-0284>.
- Schermelleh-Engel, K., Moosbrugger, H., & Müller, H. (2003). Evaluating the fit of structural equation models: Tests of significance and descriptive goodness-of-fit measures. *Methods of Psychological Research-Online*, 8(2), 23-74.
- Schuh, G., Gausemeier J. ve Wahlster W. (2017). *Industrie 4.0 maturity index*. ACATECH, Germany. https://boundariesys.com/wp-content/uploads/2021/03/Acatech_Maturity_Index_2020-IAN.pdf.
- Schumacher, A., Erol, S., ve Sihn, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 52.
- Schwab, K. (2016). *Dördüncü sanayi devrimi*, *World Economic Forum*. (Zülfü Dicleli. Çev.), İstanbul: Optimist Yayınları.
- Shafiq, S.I., Sanin C., Szczerbicki E. & Toro C. (2015) Virtual engineering object/ virtual engineering process: A specialized form of cyber physical system for industrie 4.0. *Procedia Computer Science*, 60, 1146-1155.
- Siltanen, S. (2012). *Theory and applications of marker-based augmented reality*. Technical Research Centre of Finland: Julkaisija Utgivare-Publisher.
- Stock, T. & Seliger G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536-541.
- Tavşancıl, E. (2010). *Tutumların Ölçülmesi ve SPSS ile Veri Analizi*. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
- Tortora, A. M., Maria, A., Lannone, R., & Pianese, C. (2021). A survey study on Industry 4.0 readiness level of Italian small and medium enterprises. *Procedia Computer Science*, 180, 744-753.
- TUBİTAK (2016). *Yeni sanayi devrimi akıllı üretim sistemleri teknoloji yol haritası*. Ankara: Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı.
- TÜSİAD & BCG (2017). Türkiye'nin sanayide dijital dönüşüm yetkinliği raporu: Türkiye'nin 4. sanayi devrimi, TÜSİAD-T/2017,12 – 589.

- Wang, L. & Wang G.(2016). Big data in cyber-physical systems, digital manufacturing and industry 4.0. *I.J. Engineering and Manufacturing*, 4, 1-8.
- Yaşlıoğlu, M.M. (2017). Sosyal bilimlerde faktör analizi ve geçerlilik: Keşfedici ve doğrulayıcı faktör analizlerinin kullanılması. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 46, 74-85.
- Zezulka, F. P. Marcon, I. Vesely & Sajdl O. (2016). Industry 4.0-an introduction in the phenomenon. *IFAC-Papers OnLine* 49-25, 8–12.

Extended Abstract

Aim and Scope

This study aims to develop a scale to determine the level of use of I4.0 technologies of enterprises. Determining the I4.0 technologies usage level of enterprises is important in terms of seeing the current situation and planning the future. Determining the I4.0 technologies usage level of enterprises is important in terms of seeing the current situation and planning the future. When the literature is examined, it is seen that while the number of studies on I4.0 is increasing, there is an important gap in practice and scale, and the studies are mostly at the level of theoretical and awareness. In this respect, it is thought that the study will contribute to the field.

This study covers which using and invest enterprises I4.0 technologies in Turkey. "According to "Turkey's Digital Road Map" by the Ministry of Industry and Technology (2018) is thought to play an important role in the transformation of enterprises in Turkey are five cities. These cities are İzmir, Ankara, Kayseri, Konya and Mersin. These cities were examined for scale, and Kayseri province was chosen for the application. When we look at the narrower reasons for choosing Kayseri, it is a developed industrial city, and it has important production brands in its city. Again, I4.0 has an organized industrial zone with high awareness, and businesses in the region support researchers in obtaining data.

Methods

The number of enterprises using I4.0 technologies in Kayseri OIZ is estimated to be 84. 79 of these enterprises have been reached. In these enterprises, most of the senior managers were interviewed, and the data were collected by survey method. The questionnaire questions were created by browsing and reading many sources about I4.0 and benefiting from expert opinions. After the data were obtained, they were analyzed in SPSS and SPSS AMOS program.

Findings

Cronbach's Alpha of the scale was 0.862, KMO and Bartlett's test was 0.698, and 0.000 for sig. It is suitable for reliability and structure validity. It was seen that the data were suitable for normal distribution with the values of skewness and kurtosis. According to the factor analysis results, the scale consists of seven factors. Accordingly, the first factor is robotic applications, the second factor is the three-dimensional printer, the third factor is cloud computing, the fourth factor is cyber-physical systems, the fifth factor is big data, the sixth factor is augmented reality and the seventh factor is the internet of objects. According to the last confirmatory factor analysis, the items' correlation values and goodness of fit values were found within limits accepted in the literature. In this context, the scale was found to be meaningful and reliable.

Conclusion

This study aims to develop a scale to determine the level of use of I4.0 technologies of enterprises. This scale makes an important contribution in determining the level of technology usage of enterprises, especially production companies. In this context, it was observed that this scale consisting of 29 questions-7 dimensions analyzed provides statistically sufficient conditions. In this seven-factor scale obtained as a result of the findings, each factor corresponds to a technology component. Accordingly, applications in the same technology are interconnected, relatively connected or independent with other dimensions. According to the exploratory and confirmatory factor analysis, the scale is statistically significant and reliable.