

## ENDÜSTRİ 4.0'A DÖNÜŞÜM SÜRECİ: AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİNİN PERFORMANSI ÜZERİNE AMPİRİK BİR ANALİZ

Hayriye ATİK\*  
Fatma ÜNLÜ\*\*

### Öz

*Dördüncü Endüstriyel Devrim veya Endüstri 4.0, son dönemlerde AB ülkelerinde en çok araştırma yapılan konulardan biridir. Bir taraftan üye ülkeler son gelişme aşamasını temsil eden Endüstri 4.0'a geçiş için çaba sarfederken, diğer taraftan AB bu süreci hızlandıracak ortak politikalar geliştirmektedir. Makalenin amacı, AB ülkelerinin Endüstri 4.0'a dönüşüm sürecindeki göreceli performanslarını belirlemektir. 28 AB ülkesine ait 12 Endüstri 4.0 göstergesinden faydalanılarak kümeleme ve ayırma analizleri gerçekleştirilmiştir. Kümeleme analizinde hiyerarşik kümeleme analizlerinden Ward yöntemi tercih edilmiştir. Elde edilen bulgular, AB ülkelerinin altı farklı performans düzeyine sahip olduğunu ve BirliĐin bu açıdan homojen bir görünüm sergilemediğini ortaya koymuştur.*

**Anahtar kelimeler:** Endüstri 4.0, AB, Kümeleme Analizi.

## THE TRANSITION PROCESS TOWARDS INDUSTRY 4.0: AN ANALYSIS ON THE PERFORMANCE OF THE EUROPEAN UNION COUNTRIES

### Abstract

*Fourth Industrial Revolution or Industry 4.0, has become one of the more frequently discussed topics in the EU countries recently. On the one hand the EU members tries to transform Industry 4.0, on the other hand the EU develops*

\* Prof. Dr., Erciyes Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, e-posta: atik@erciyes.edu.tr

\*\* Dr. Öğr. Üyesi, Erciyes Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, e-posta: funlu@erciyes.edu.tr

*some policies to transform this process. The aim of this article is to determine there relative performance of the EU countries towards the transformation to Industry 4.0. 12 Industry 4.0 indicators for 28 EU countries are used in cluster and discriminant analyses. Ward method which is one of the hierarchical cluster analysis methods was used. The evidences indicated that the EU countries have six different performance levels and the Union does not represent a homogenous structure.*

**Keywords:** *Industry 4.0, EU, cluster analysis.*

## Giriş

Endüstri 4.0 olgusu, son dönemlerde iktisatçıların, işletmecilerin ve mühendislerin üzerinde en fazla çalıştıkları konulardan biri haline gelmiştir. Özellikle bu üç grubun bu konu ile yakından ilgilenmelerinin nedeni, Endüstri 4.0'ın yeni bir üretim ve tüketim anlayışını gündeme getirmesidir. Kavram, ilk kez 2011 yılında Almanya'da gerçekleştirilen Hannover Fuarı'nda gündeme gelmiştir. Üretimin planlanmasında en önemli unsur haline gelen tüketici talebi, esnek üretim süreçlerinin gündeme gelmesine yol açmıştır. Endüstri 4.0 düşüncesinin temelinde, otonom olarak faaliyette bulunan makineler ve üretim sistemleri yer almaktadır. Bu sayede üretim süreçlerinde insan faktörüne olan ihtiyacın azaltılması, üretim sistemleri ve fabrikaların daha akıllı hale gelmesi, kendi kendini yönetebilen üretim süreçlerinin oluşturulması, insan kaynaklı hataların azaltılması ve üretim süreçlerinde tam bir standardizasyona gidilmesi hedeflenmektedir. Böylelikle maliyetlerin düşürülmesi, kaynak verimliliğinin sağlanması, inovasyon temelli büyüme sürecine geçiş ile birlikte rekabet gücünün artması beklenmektedir. Bu nedenle özellikle gelişmiş ülkeler başta olmak üzere Endüstri 4.0'a dönüşüm süreci tüm ülkeler için önem arz etmekte olup, AB'nin bu dönüşüm sürecindeki deneyimlerinin gözlemlenmesinin anlamlı olması kanaatiyle bu konu araştırılmaya değer görülmüştür.

Bu çalışmanın amacı, AB ülkelerinin Endüstri 4.0'a dönüşüm sürecinde göreceli performanslarının belirlenmesine katkıda bulunmaktır. Bu bağlamda hangi AB ülkelerinin Endüstri 4.0 performansı açısından benzerlik gösterdiği ve AB ülkelerinin Endüstri 4.0 açısından kaç farklı performans düzeyine sahip olduğu belirlenmek istenmiştir. Literatür incelendiğinde Endüstri 4.0 ile ilgili sınırlı sayıda çalışma olduğu ve bu sınırlı sayıda çalışmanın ağırlıklı olarak kavramsal nitelik taşıdığı görülmektedir. Ancak, önceki çalışmalarda AB ülkeleri ile ilgili firma bazında analizlerin yapılmadığı gözlenmiştir. Çalışma, kullandığı çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleriyle de literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Çalışmada Avrupa Birliği ülkelerine ait dijital ekonomi ile ilgili verilerin yayınladığı Eurostat veri tabanından elde edilen ve 28 AB üyesi ülkeye ait olan

firma bazlı veriler kullanılmıştır. 2015-16 dönemine ait toplam 12 değişken analizlerde kullanılmıştır. Söz konusu veriler ile öncelikle Ward yöntemi kullanılarak kümeleme analizi ardından ise ayırma analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışma esas itibarıyla dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; endüstri devrimleri tarihsel gelişim süreci açısından ele alınmıştır. İkinci bölümde; Endüstri 4.0 olgusunu oluşturan temel unsurlar ve beklenen muhtemel etkiler dikkate alınarak kuramsal çerçeve verilmeye çalışılmıştır. Üçüncü bölüm; Avrupa Birliği'nin Endüstri 4.0 politikası kapsamında sunduğu fon programlarına ayrılmıştır. Son bölümde ise ampirik analiz ve sonuçlarına yer verilmiştir.

### **Endüstri Devrimlerinin Tarihsel Gelişim Süreci**

Endüstri devrimleri ekonomik, siyasi, kültürel ve toplumsal değişimlere yol açan teknolojik ilerlemeleri ifade eder. Söz konusu teknolojik ilerlemeler sadece verimlilik ve üretim artışına yol açarak üretim süreçlerini değiştirmekle kalmayıp, aynı zamanda toplumsal hayatı etkileyen sonuçlar doğurmaktadır. Bir başka deyişle, teknolojinin gelişmesi ile ortaya çıkan sanayi devrimleri beraberinde toplumsal yapının da şekillenmesini sağlamaktadır.

Teknolojik ilerlemeler endüstri devriminden başlayarak endüstriyel verimlilik artışlarına yol açan üç temel aşamanın kat edilmesini mümkün kılmıştır (TÜSİAD, 2016: 19; Qin vd., 2016: 173). İlk aşama; makine çağı olarak adlandırılan Birinci Endüstri Devrimine işaret eder. Bu devrim, 1763 yılında James Watt tarafından buhar gücü ile çalışan makinenin icat etmesi ile başlamıştır. Su ve buhar gücünün daha verimli kullanılmasını sağlayan bu icadın ardından Edmund Cartwright, 1784 yılında mekanik dokuma tezgahını icat ederek mekanik üretime geçişin yolunu açmıştır (Çeliktaş vd., 2016: 24). Böylece insan gücünün yerini ikame eden makineler, küçük atölyelerin fabrikalara dönüşmesini sağlayarak üretim artışını hızlandırmıştır. Buhar gücü endüstrinin yanı sıra ulaştırma alanında da kullanılarak yeni pazarlara ulaşılmasını kolaylaştırmıştır. Bununla birlikte emek ve sermaye ilişkilerini daha belirgin hale getiren bu devrim, sınıflı toplum olgusunu ön plana çıkarmıştır (Görçün, 2016: 11, 18).

İkinci aşama; teknoloji devrimi olarak nitelendirilen ve 1860-1914 yıllarını kapsayan İkinci Endüstri Devrimine işaret eder. 1860 yılında İngiliz Mucit Bessemir tarafından icat edilen ucuz çelik üretim yöntemi ile başlayan bu devrim, elektrik enerjisinin üretim süreçlerinde kullanılması ve seri üretime geçiş ile karakterize edilmiştir (Heng, 2014: 2; Çeliktaş vd., 2016: 24-25). Fordizm olarak da adlandırılan İkinci Endüstri Devrimi, kayan bant sisteminin varlığı sayesinde tek tip üretime dayalı (standart üretim) kitlesel üretimi mümkün kılmıştır (Alçın, 2016: 21). Buna ilaveten, üretimde ciddi verimlilik artışlarına yol açan teknolojik ilerlemeler, ağır sanayinin gelişmesine de imkan

tanımıdır. Bu devrim özellikle ABD ve Almanya gibi gelişmiş ülkelerin iktisadi kalkınma süreçlerinde önemli bir rol üstlenmiştir.

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra gelişmeye başlayan dijital teknolojiler, küreselleşme olgusunun beraberinde getirdiği rekabet kavramı ve değişen tüketici tercihleri endüstriyel süreçlerde üçüncü aşamaya geçişi başlatan temel unsurlar olmuştur. Üçüncü Endüstri Devrimi olarak adlandırılan bu aşama, 1968 yılında ilk kez geliştirilen programlanabilir makinelerin kullanılması ile başlamıştır (Alçın, 2016: 21). Dijital teknolojilere ilaveten iletişim teknolojilerinin gelişmesi de bu sürece katkı sağlamıştır. Böylece, bilgisayar ve iletişim teknolojilerinin üretim süreçlerinde kullanılması ile birlikte değişen şartlara uyum sağlayabilme özelliğine sahip olan esnek üretim sistemlerine geçilmiştir.

Her bir endüstri devrimi üretim süreçlerinde önemli değişmelere yol açmıştır. Bundan önceki endüstriyel devrimler, elektrik ve bilgi teknolojilerinin üretim süreçlerinde kullanılmasını sağlamıştır (Qin vd., 2016: 173-174). İçinde yaşadığımız Endüstri 4.0 sürecinde, siber-fiziksel sistemlere dayalı olarak üretim süreçlerinin internet üzerinden ağ yapıları ile birbirine bağlanmasını sağlayan teknolojiler ön plana çıkmıştır.

### **Endüstri 4.0 ve Kuramsal Çerçevesi**

Küreselleşmenin en son dalgası olarak adlandırılan Endüstri 4.0 olgusunun üretim ve tüketim süreçlerinde köklü değişimlere yol açacağı ileri sürülmektedir (Schwab, 2016: 16). Küreselleşmenin beraberinde getirdiği teknolojik ilerlemeler ve sürekli olarak değişen tüketici taleplerine uyum sağlayarak hızlı bir şekilde cevap verebilen esnek üretim sistemlerine olan ihtiyaç Endüstri 4.0'ı gündeme getiren temel unsurlar arasında yer almaktadır. Söz konusu temel unsurların yanı sıra, ülkeler arasında hem ekonomik hem de sosyal işbirliğinin artması, yükselen yeni ekonomilerin küresel piyasalarda ön plana çıkması, küreselleşme olgusunun giderek yaygınlaşması, bilgi ve iletişim teknolojilerinin bilgi ekonomilerini yönlendirmesi, iklim değişikliğine bağlı olarak çevresel konuların öneminin ve güvenlikle ilgili kaygıların artarak devam etmesi ve kaynak kıtlığı sorununun halen önemini koruması gibi temel faktörler de sürece katkı sağlamaktadır (TÜSİAD, 2016: 20).

Endüstri 4.0 kavramı çeşitli yazarlar ve kurumlar tarafından farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Örneğin; Deloitte (2015) Dördüncü Endüstri Devrimi olarak adlandırdığı kavramı, “*imalat sanayindeki değer zinciri sürecinin yönetimi ve organizasyonundaki ileri gelişimsel aşama*” olarak tanımlamıştır. Görçün (2016) ise, bu kavramı sistem yaklaşımı kapsamında ele alarak “*birçok sistemin bileşiminden meydana gelen bütünlük bir endüstriyel yaklaşım*” olarak değerlendirmiştir. Benzer şekilde, Banger (2016) de Endüstri 4.0'ı bütün aktörlerin karşılıklı etkileşimini ve işbirliğini esas alan bir süreç olarak

değerlendirmekte ve bu olgunun temelinde teknolojinin yer aldığını ifade etmektedir. Qesterreich ve Teureberg (2016) ise firmaların tedarikçileri, ortakları ile ürettikleri ürünler arasındaki etkileşimi sağlamak için dijital değer zinciri yaratılması ve imalat sektöründe otomasyon ve dijitalleşmenin artması olarak tanımlamıştır.

Özetle; Dördüncü Endüstri Devrimine işaret eden bu yaklaşımın özünde, üretim süreçlerinde insan faktörüne gereksinimi azaltarak otonom olarak faaliyette bulunan makineler ve üretim sistemleri yer almaktadır. Üretim sistemleri ve fabrikaların daha akıllı hale geldiği kendi kendini yönetebilen üretim süreçleri oluşturularak insan kaynaklı hataların minimize edilmesi ve üretim süreçlerinde tam bir standardizasyona gidilmesi hedeflenmektedir (Görçün, 2016: 142).

Buradan hareketle Endüstri 4.0'ın temel özellikleri beş başlıkta değerlendirilebilir (Walter vd., 2015: 13; Roblek vd., 2016: 2-3; Smit vd., 2016: 21; Gilchrist, 2016: 197). Bunlardan ilki, *işbirliğidir*. Endüstri 4.0 olgusunun temelinde, üretim ve tüketim süreçlerinde yer alan tüm aktörlerin ve bütün kanalların (lojistik, dağıtım, pazarlama vb.) birbirleri ile iletişim ve etkileşim içinde olması ve ağ yapı mekanizması olarak nitelendirilen bu yapının sürdürülebilir olması düşüncesi yatmaktadır. İkinci temel özellik, gerçek ve sanal dünyanın birbirine yakınlaştırılmasını hedefleyen sanallaştırma olarak adlandırılan faaliyetlere işaret eder. Öncelikle akıllı fabrikaların kopyaları simülasyon modelleri yardımıyla oluşturulur. Sonrasında ise ürünlerin yaşam döngüsü boyunca oluşan her faaliyet internet aracılığıyla ağ sistemleri üzerinden birbirine bağlanır. Üçüncüsü, hiyerarşik sistemin karşıtı olan *merkezsizleşmedir*. Üretim sürecindeki aksaklıkların tespit edilerek giderilmesi ve tüketici taleplerindeki değişiklikler karşısında hızlı bir şekilde uyum sağlayarak cevap verebilme özelliğine sahip siber-fiziksel sistemlerin, firmadaki yöneticilerin yerini aldığı kontrol mekanizmasının varlığına işaret etmektedir. Dördüncüsü ise, akıllı fabrikaların uyum yeteneği ve esnekliğini ön plana çıkaran *modülerlik* özelliğidir. Akıllı fabrikaların değişen tüketici taleplerine uyum sağlayabilecek biçimde, esnek üretim süreçlerine dayalı olarak tasarlanmasını ifade eder. Endüstri 4.0 olgusunun son özelliği, *gerçek zamanlı üretimdir*. Akıllı fabrikalardaki yüksek kullanım oranı, üretim sürecinde kullanılan materyallerin akışının ihtiyaç kriteri temel alınarak düzenlenmesi ve üretim ve stok sürelerinin minimize edilmesi karakterize edilir.

#### *Endüstri 4.0'ı Oluşturan Temel Unsurlar*

Endüstri 4.0'ı oluşturan yedi temel unsur mevcuttur. Bunlar: Akıllı Fabrikalar (*Smart Factory*), Nesnelerin İnterneti (*Internet of Things*), Siber-Fiziksel Sistemler (*Cyber-Physical Systems*), Bulut Bilişim (*Cloud Computing*),

Büyük Veri (*Big Data*), Akıllı Robotlar (*Smart Robots*) ve Üç Boyutlu Yazıcılarıdır (*3D Printing*).

*Akıllı fabrikalar*, Endüstri 4.0'ın en önemli özelliğidir. Akıllı fabrikaları geleneksel fabrikalardan ayıran temel özellik; olağanüstü durumlar haricinde insan faktörünün sistem dışında kalmasıdır (Görçün, 2016: 190). Akıllı fabrikalar, sistemde yer alan bütün bileşenleri otomatik biçimde birbirine bağlama işlevini yerine getirir. Bu fabrikalarda yer alan tüm makinelerin ve üretilen ürünlerin de akıllı olduğu bir yapı söz konusudur (Qin vd., 2016: 174). Ayrıca, akıllı fabrikalar çok karmaşık üretim süreçlerini oldukça hızlı ve sorunsuz olarak yönetebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Akıllı sistemler tarafından üretilen ürünler uzun ömürlü başka bir ifadeyle daha kaliteli olmaktadır (EBSO, 2015: 20).

Endüstri 4.0'ı oluşturan ikinci unsur, *nesnelerin internetidir*. Bu kavram, nesnelerin içinde gömülü halde veya yanında bulunan sensörler aracılığıyla internete bağlanmalarını sağlamak, veri toplayarak iletişim kurabilmek amacıyla oluşturulan ağ sistemlerine işaret eder (Banger, 2016: 95). Söz konusu iletişimin sağlanabilmesi için *RFID*, *NFC*, *Wi-Fi*, *Bluetooth* ve *Zigbee* gibi yerel ağ bağlantıları kullanılır. Bu sistem, firma içindeki yöneticileri, çalışanları, makineleri, bilişim sistemlerini ve mekanları birbirine bağlayarak hız, esneklik ve uyumluluk gibi önemli avantajlar sağlayan dikey entegrasyonları oluşturur. Bunun yanı sıra, firma ve tedarik zincirinde yer alan paydaşları arasında iletişim kurarak yatay entegrasyonların oluşmasına da katkı sağlar. Diğer taraftan, fiziksel ve dijital ürünlerin arasındaki entegrasyonun sağlanması ve bu yolla fiziksel ürünlerin dijital özelliklerinin artırılmasını da mümkün kılmaktadır (Banger, 2016: 95, 100).

*Siber-fiziksel sistemler*, üretim sistemlerinin en önemli bileşenlerinden birisidir ve internet aracılığıyla fiziksel dünyanın siber alan ile birbirine bağlanmasını sağlayan sistemler olarak tanımlanmaktadır. Sensör destekli çalışan bu sistemler, fiziksel dünyadaki hareketleri internet yoluyla toplayarak nesnelere arasındaki etkileşimi sağlamaktadır (Alçın, 2016: 23-24). Akıllı bir şekilde birbirine bağlantılı olan bu sistemler sanal ağlar aracılığıyla sürekli biçimde veri alışverişinde bulunulmasını sağlar. Siber fiziksel sistemler, operatörler ile iletişim kurmak için insanımsı makinelerin ara-yüzlerini kullanır (Stock ve Seliger, 2016: 537).

Dördüncü temel unsur, *bulut bilişimdir*. İnternet tabanlı bilgi işlem yaklaşımına işaret eden bu kavram, bilgisayar özelliği olan cihazlar arasında iletişim kurarak ortak bilgi paylaşımını sağlamaktadır. Bulut bilişim teknolojileri, internete bağlı cihazlar aracılığıyla firmaların sahip olduğu tüm verileri sanal bir sunucuda depolayarak ihtiyaç duyulduğunda bu verilere ulaşılmasını sağlar (Banger, 2016: 60 ve Gilchrist, 2016: 210).

Endüstri 4.0'ı oluşturan beşinci unsur, *büyük veridir*. Banger (2016) tarafından “*verileri tespit etme, depolama, yönetme ve analiz etme açısından mevcut veri tabanı yazılımları ile başarılamayacak büyüklükteki veri kümeleri*” olarak tanımlanan bu olgunun, büyük miktardaki verilerin toplanarak depolanması ve depolanan bu verilerin analiz edilmesi olmak üzere temel iki eksenli vardır. Büyük veri sistemine yüklenecek olan bilgilerin öncelikle dijitalleştirilmiş olması gerekmektedir (Görçün, 2016: 168). Farklı kaynaklardan elde edilen verilerin toplanarak detaylı bir şekilde değerlendirilmesi ve analiz edilmesinin firmalar açısından zamanla standart bir uygulama haline dönüşmesi beklenmektedir. Böylece firmalar açısından üretim sürecinde kalitenin yükselmesi ve enerji tasarrufunun sağlanması da beklenen olumlu etkiler arasındadır (TÜSİAD, 2016: 25).

*Akıllı robotlar*, Endüstri 4.0 olgusunun temelinde yer alan akıllı fabrikalarda insan gücünü ikame eden yeni işçiler olarak nitelendirilmekte ve üretim sürecinin her aşamasında diğer işçiler ile birlikte çalışarak maliyetlerin düşmesine katkı sağlamaktadır. Bu robotların algılama, veri toplama ve analiz etme yetenekleri oldukça yüksek olduğu için değişen şartlara uyum sağlayabilme açısından da yüksek esnekliğe sahiptirler (Stock ve Seliger, 2016: 539). Tüketici taleplerindeki değişimlere ilişkin veriler, siber-fiziksel sistemler aracılığıyla otomatik olarak akıllı robotlara iletilmekte ve akıllı robotlar, operatörlerin herhangi bir müdahalesine ihtiyaç duymadan ilgili veriler doğrultusunda üretimi gerçekleştirmektedir (Görçün, 2016: 189). Bu robotlar aynı zamanda, üretim süreci boyunca oluşabilecek sorunları rapor ederek ağ sistemleri üzerinden bildirirler.

Endüstri 4.0 olgusunun son bileşeni, *üç boyutlu yazıcılardır*. Bunlar, “*üç boyutlu olarak hazırlanan bilgisayar verilerini üç boyutlu nesnelere dönüştürülebilen ve üretim faaliyetlerinde kullanılabilen makineler*” olarak tanımlanmaktadır (Görçün, 2016: 193-194). Bu yazıcılar sahip oldukları teknolojiler sayesinde, bilgisayar ortamında tasarlanan nesnelere üretebilmektedir. Gelecekte kullanım alanlarının artması beklenen üç boyutlu yazıcılar ile daha karmaşık tasarımlara sahip ürünlerin üretilmesi de mümkün olacaktır.

Endüstri 4.0'ı oluşturan bütün unsurlar, üretim sürecinde karşılıklı etkileşim ve işbirliği içinde hareket etmek suretiyle otomasyonu artırmakta ve böylece insan faktörüne olan ihtiyacı en aza indirmeye çalışmaktadır. Diğer taraftan sürekli olarak değişen tüketici ihtiyaçlarına en kısa sürede cevap verebilme yeteneğine sahip akıllı sistemlerin varlığı, esnek üretim modellerini güçlendirmektedir. Akıllı fabrikalarda akıllı sistemlerin işlemesi ile yönetilen süreçler sonucunda oluşan ürünler de akıllı ürünler olarak nitelendirilmektedir. Buradan hareketle, Endüstri 4.0'ın temel felsefesi; ‘akıllı ürünler, akıllı

fabrikalarda yer alan akıllı makineler ve akıllı sistemler tarafından üretilir şeklinde ifade edilebilir.

#### *Endüstri 4.0'ın Beklenen Muhtemel Etkileri*

Her yeni toplumsal gelişme aşaması ekonomi üzerinde bir takım etkilere yol açmıştır. Endüstri 4.0'ın ülke ekonomileri üzerinde yol açtığı etkiler; makro ekonomik etkiler, mikro ekonomik etkiler ve hükümetler üzerindeki etkiler şeklinde gruplandırılabilir.

*Makro ekonomik etkiler*; ülkelerin büyüme oranları, istihdam düzeyleri, fiyatlar genel seviyesi ve gelir dağılımı üzerinde ortaya çıkan etkilerdir. Endüstri 4.0'ın *ekonomik büyüme* üzerindeki etkisi, Tekno-karamsarlar ve Tekno-iyimserler şeklinde ifade edilen iki farklı yaklaşımla açıklanmaktadır (Schwab, 2016: 38). Tekno-karamsarlar, digital devrimin verimlilik üzerindeki etkilerinin sona erdiğini ve böylece ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin sınırlı kalacağını ileri sürmektedirler. Tekno-iyimserler ise, teknolojik gelişmelere bağlı olarak, Endüstri 4.0'ın verimliliği daha da artırarak büyüme üzerinde olumlu etkiye bulunacağını belirtmektedirler.

Endüstri 4.0'ın istihdam üzerindeki etkisi, uzun vadede ekonominin yapısına bağlı olarak şekillenecektir. İlk aşamada istihdam üzerinde beklenen etkiler olumsuz olacaktır. Bunun nedeni, Endüstri 4.0 aşamasında kullanılan teknolojilerin emekten tasarruf sağlamalarıdır. Bu teknolojilerden en yaygın bilineni üretimde kullanılan akıllı robotlardır (Stock ve Seliger, 2016: 539). Sonraki aşamalarda Endüstri 4.0'ın istihdam üzerinde olumlu etkiye yol açması beklenmektedir. Çünkü, emekten tasarruf sağlayan teknolojilerin kullanılması sonucunda işsiz kalan insanlar, beceri ve yeteneklerine uygun olan alanlarda iş bulmaya başladıkça istihdam oranı ve verimlilik artacaktır. Elbette, bu ikinci etki kesin olarak ortaya çıkacak bir etki değildir. İşgücü piyasalarının iş yaratma kapasitesine bağlı olarak ortaya çıkabilecek bir etkidir. Beklenen bu ikinci etkinin ortaya çıkmaması durumunda işsizliğin boyutlarında daha büyük artışlar ortaya çıkacaktır.

Endüstri 4.0, bir taraftan yeni yatırımların yapılması, diğer taraftan mevcut tesislerin yeni sisteme dönüştürülmesi yoluyla yatırımları artıracaktır. Endüstri 4.0'ın temel özelliklerinden biri, akıllı fabrikaların üretim sürecinde kullanılmasıdır. Akıllı fabrikaların ihtiyaç duyduğu ağ sistemleri ve robotların temin edilmesi yatırımları artıracaktır.

Endüstri 4.0 fiyatlar genel düzeyi üzerinde de etkili olacaktır. Otomasyon düzeyinin yükselmesine bağlı olarak sermaye faktörü emek faktörünün yerini alacaktır. Emeğe olan talebin düşmesi, ücretler genel seviyesinde düşüşe yol açacaktır. Ücret düşüşü tüketim düzeyini azaltırken, talep düşmesine bağlı olarak fiyatlar genel düzeyinde düşmeye yol açacaktır (Schwab, 2016).



Endüstri 4.0'ın gelir adaletsizliğini artırması beklenmektedir. Sermayenin emek faktörü yerine ikame edilmesi, sermaye faktörünün ulusal gelirden aldığı payın artmasına yol açacaktır. Endüstri 4.0 olgusu nitelikli emek faktörünün talebini artırırken, niteliksiz emek faktörünün talebinde azalmaya yol açacaktır. Dolayısıyla, sadece sermaye faktörünün ulusal gelirden aldığı pay artmayacak, aynı zamanda nitelikli emek faktörünün aldığı pay da artacaktır. Tam tersine niteliksiz emek faktörünün ulusal gelirden aldığı pay azalacaktır. Böylece, gelir dağılımında ortaya çıkacak bozulma, ekonomik sorunlarla birlikte sosyal sorunları da artıracaktır.

Endüstri 4.0'ın bireyler ve firmalar üzerindeki etkileri mikro etkiler olarak bilinmektedir. Karmaşık problemleri çözebilen, sisteme uyum sağlayabilen bireyler daha fazla ücret alabilecekleri işlerde istihdam edileceklerdir (Schwab, 2016: 53). Endüstri 4.0 sayesinde esnek çalışma saatleri ortaya çıkacak, bireyler bu şekilde kendi gelişimleri için iş dışında daha fazla zaman ayarabileceklerdir.

Endüstri 4.0'ın firmalar üzerindeki etkileri *satışlar, maliyet ve rekabet* ile ilgilidir. Endüstri 4.0 firmaların satış gelirlerinde artışa yol açacaktır. Endüstri 4.0 sayesinde üretilen akıllı ürünler, tüketicilerin bu ürünlere dönük taleplerini teşvik edecek ve bu sayede akıllı ürün üretebilen firmaların satış gelirlerinde artışlar olacaktır. (EBSO, 2015: 25). Akıllı üretim sürecinde hammadde kullanımının azalması, maliyetleri azaltacaktır. Ayrıca, çevre-dostu teknolojiler sayesinde enerji tasarrufu sağlanacaktır (Schröder, 2017: 9-10).

Endüstri 4.0, akıllı üretim sistemleri sayesinde rekabetin daha da artmasına yol açacaktır. Kaliteli ürünler üretebilen firmalar, rekabette daha başarılı olurken, bu firmaların karları da artacaktır. Rekabeti yüksek olduğu pazarlarda inovasyon en önemli konu haline gelecektir (Gilchrist, 2016: 205-206).

Endüstri 4.0, gizlilik ve güvenlikle ilgili konularda hükümetleri de etkileyecektir (Heng, 2014: 9). Hükümetler bir taraftan siber saldırılara karşı mücadele ederken, diğer taraftan kaliteli ve yüksek güvenli internet alt yapısını sağlamakla sorumlu olacaklar.

### **Avrupa Birliği ve Endüstri 4.0**

Endüstri 4.0 ve dijital ekonomiye dönüşüm Avrupa Birliği politikalarının temel öncelikleri arasında yer almaktadır. Nitekim bu kavram ilk kez Almanya'da düzenlenen *Hannover Fuarı'nda* kullanılmış ve Almanya İleri Teknoloji 2020 Girişimi kapsamında Endüstri 4.0 Projesi'ni harekete geçirerek bu konuda adım atan ilk ülke olmuştur.

Avrupa Komisyonu 2012 yılında “Büyüme ve Ekonomik İyileşme için Daha Güçlü Avrupa Sanayisi” adlı sanayi politikasını yayınlamıştır. Bu politika dokümanında, Avrupa Birliği'nde imalat sanayinin katma değerinin 2020 yılına

kadar % 20 oranında artırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda Endüstri 4.0 ile ilgili temel önceliklere (ileri imalat sanayi, kilit teknolojiler (piller, akıllı materyaller, yüksek performanslı üretim süreçleri) ve dijital altyapılar) yer verilmiştir. Avrupa Komisyonu 2014 yılında yayımladığı “Avrupa Sanayi Rönesansı” adlı sanayi politikası güncellemesinde ise dijital teknolojilere Endüstri 4.0 kapsamında yeniden yer vermiştir. Bu teknolojilerin yeni iş modelleri ve yeni ürün ve süreçlerin tanımlanması aracılığıyla Avrupa'nın verimliliğini artıracığı hususuna vurgu yapılmıştır (ERPS, 2015: 7).

Avrupa Parlamentosu Araştırma Servisi (EuropeanParliamentaryResearch Service) tarafından 2015 yılında yayımlanan “Üretkenlik ve Büyüme için Dijitalleşme” adlı rapora göre, Endüstri 4.0'a dönüşüm sürecinin küresel üretimde %6-8 arasında verimlilik artışı sağlayacağı ifade edilmiştir. Endüstri 4.0 kapsamında Avrupa Komisyonu'nun 2015 yayınladığı diğer bir politika dokümanı ise “Avrupa Sanayisini Dijitalleştirme Stratejisi”dir. Bu dokümanda dijital tek pazarın oluşturulmasına ve bu konudaki politika önceliklerine değinilmiştir. Avrupa Komisyonu 2017 yılında yayınladığı “Akıllı, Yenilikçi ve Sürdürülebilir Sanayiye Yatırım: AB için Yeni Bir Sanayi Politikası Stratejisi” adlı dokümanda ise Dördüncü Endüstri Devriminin, ekonomik ve toplumsal alanda yol açacağı değişimlere yer verilmiştir (AB Bakanlığı, 2018).

Avrupa Parlamentosu tarafından 2016 yılında yayınlanan “Endüstri 4.0” adlı dokümanda Avrupa Birliği'nin Endüstri 4.0 'a dönüşüm süreci ile ilgili sahip olduğu güçlü ve zayıf yönler ile tehdit ve fırsatlara (SWOT analizine) yer verilmiştir. Söz konusu analiz sonuçları aşağıdaki gibidir (EuropeanParliament, 2016: 72):

i) *Güçlü Yönler:* Verimlilik artışı, kaynak etkinliği, küresel rekabetçilik ve artan gelir.

ii) *Zayıf Yönler:* Teknoloji direncindeki yüksek bağımlılık, başarı için gerekli olan faktörlere (standartlar, yetenekli işgücü, yatırım ve Ar-Ge vb.) bağımlılık, geliştirme ve uygulama maliyetleri, firma üzerindeki potansiyel kontrol kaybı ve yarı-kalifiye işsizlik.

iii) *Fırsatlar:* İmalat sektöründe giderek artan küresel lider rolü, yeni ürün ve süreçler için öncü piyasaların gelişmesi, demografik sorunlarla mücadele edebilme kabiliyeti ve KOBİ'lerin yeni piyasalara girişinde karşılaşılan engellerin azaltılması.

iv) *Tehditler:* Siber güvenlik, işçilerin, KOBİ'lerin, endüstrilerin ve ulusal ekonomilerin Endüstri 4.0 konusunda farkındalığın henüz yeterince oluşmaması, küresel değer zincirindeki oynaklık ve kırılabilirlik ve yabancı rakiplerin uyumu.

Görüldüğü üzere Avrupa Birliği, dünyanın en rekabetçi ekonomisi olma hedefini Endüstri 4.0 ve dijital ekonomiye dönüşme kapsamında akıllı ve inovatif büyüme stratejisi üzerinden yürütmektedir. Bu amaca yönelik çeşitli politikalar ve hedefler belirleyen Birlik, bu hedeflerin gerçekleştirilmesini sağlayacak fon destek programlarını da sürece dahil etmektedir. Bunlardan ilki, *HORIZON 2020* fon programıdır. Avrupa Birliği'nin 2020 hedeflerinin gerçekleştirilmesi kapsamında Yenilikçilik Birliğinin finansal aracı olan bu fon programı için yaklaşık 80 milyar Euro bütçe ayrılmıştır. Bu kapsamda değerlendirilen "Geleceğin Fabrikaları" adlı girişim, 7. Çerçeve Programı döneminde başlamış ve *HORIZON 2020* kapsamında da devam eden 1,5 milyar Euro ayrılan bir kamu-özel işbirliği girişimidir. Bu kapsamdaki diğer işbirliği ise 0.9 milyar Euro bütçeye sahip olan "Kaynak Etkinliği İle Sürdürülebilir Endüstri Süreçleri" adlı girişimdir. Ayrıca, 7. Çerçeve Programı kapsamında imalat sanayinde faaliyet gösteren KOBİ'lerin dijital ekonomiye dönüşüm sürecinde, özellikle bulut bilişim, robotlar ve simülasyon alanlarındaki faaliyetlerini desteklemek amacıyla oluşturulan fon programı (*ICT Innovation for Manufacturing SMEs*) oluşturulmuş ve 77 milyar Euro bütçe ayrılmıştır. *ESIF (European Structural and Investment Funds)*, Birliğe dahil olan ülkelerin akıllı, sürdürülebilir ve kapsayıcı büyümeyi sağlayabilmeleri için inovasyon alanlarındaki yatırımlarını 100 milyar Euro bütçe ile destekleyen ve Endüstri 4.0 kapsamında değerlendirilen bir fon programıdır.

## Yöntem ve Veri Seti

### Yöntem

Bu çalışmada Avrupa Birliği ülkelerinin Endüstri 4.0'a dönüşüm sürecindeki performansını değerlendirmek amacıyla, çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden kümeleme ve ayırma analizlerinden faydalanılmıştır. Kümeleme analizi, X veri matrisinde yer alan ve doğal grupları önceden kesin olarak bilinmeyen birim ve değişkenleri birbirleriyle benzer alt gruplara ayırmaya yardımcı olan istatistiksel bir yöntemdir (Özdamar, 1999: 257). Kümeleme analizinde N adet gözlemin her birinde P adet ölçümün yapıldığı NxP boyutlu X veri matrisi aşağıdaki gibidir (Çakmak, 1999: 189):

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} & x_{N2} & \dots & x_{Np} \end{bmatrix}$$

Yukarıdaki matriste yer alan Xij'inci değişkenin i'inci gözlem için aldığı değerine karşılık gelmektedir. Kümeleme analizinde bağımlı-bağımsız değişken ayrımı bulunmamaktadır. Bu analizde, aynı grup içinde yer alan gözlemlerin değişkenler bakımından nispeten birbirleri ile benzer olmaları, diğer gruptakiler ile farklı olmaları beklenir. Başka bir deyişle, kümeleme analizi sonucunda küme içi homojenlik yüksek iken, kümeler arası homojenlik düşüktür (Akın ve Eren, 2012: 176). Kümeleme analizi; hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan kümeleme analizi olmak üzere iki gruba ayrılır (Özdamar, 1999: 271). Söz konusu iki yöntemin temel amacı; kümeler içi benzerlikleri ve kümeler arası farklılıkları tespit etmektir. Bu yöntemler arasındaki temel fark; hiyerarşik kümeleme yönteminde küme sayısının analizler sonucu belirlenmesi iken, hiyerarşik olmayan küme analizinde küme sayısının araştırmacının tecrübesine dayanarak önceden belirlenmesidir (Özdamar, 1999: 271; Akın ve Eren, 2012: 176). Çalışmada yer alan analizde küme sayısı ile ilgili ön bilginin olmaması nedeniyle hiyerarşik kümeleme yöntemi tercih edilmiştir. Hiyerarşik kümeleme; tam bağlantı yöntemi, ortalama bağlantı yöntemi ve Ward yöntemi olmak üzere dört farklı şekilde uygulanabilmektedir (Nakip, 2006: 438). Analizde yaygın olarak kullanılan Ward yöntemi tercih edilmiştir. Bu çalışmada kümeleme analizini kullanarak i) *hangi AB ülkelerinin Endüstri 4.0 performansı açısından benzerlik gösterdiği* ve ii) *AB ülkelerinin Endüstri 4.0 açısından kaç farklı performans düzeyine sahip olduğu* belirlenmek istenmiştir.

Ayrırma analizi önceden sınıflandırılmış olan iki ya da daha fazla sayıdaki kümeyi birbirinden ayıran faktörleri tespit etmeye çalışan çok değişkenli istatistiksel bir yöntemdir. Bu analizi kullanarak grup üyeliğini tahmin etmek, ayırma fonksiyonu yardımıyla verilerin gruplara ayrılmasını sağlamak, gruplar arası farkı en iyi belirleyen bağımsız değişkenleri tespit etmek, verilerin doğru sınıflandırılıp sınıflandırılmadığını tespit etmek ve bağımsız değişkenler itibariyle gruplar arasında herhangi bir farkın olup olmadığını test etmek mümkündür (Kalaycı, 2014: 335; Nakip, 2006: 480). Bu çalışmada ayırma analizi i) *kümeleme analizi sonuçlarının doğruluğunu tespit etmek* ve ii) *kümeler arası farklılıkları açıklamada etkili olan değişkenleri belirlemek* amacıyla kullanılmıştır.

#### *Veri Seti*

Bilgi ve iletişim teknolojileri sektörü, Avrupa Birliği için kritik öneme sahiptir. Çünkü bu sektör hem büyüme ve istihdam yaratma potansiyeli açısından hem de kamu sektörü ve özel sektör ile tüketicilere çeşitli fırsatlar sunması açısından dijital ekonomiye dönüşüm sürecinde stratejik bir rol üstlenmektedir. Avrupa Birliğinde Endüstri 4.0 olgusu; dijital ekonomi ile karakterize edilmekte olup, bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımı dijital ekonominin temel unsuru olarak görülmektedir (European Commission, 2015: 7). Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanan *Monitoring the Digital Economy*

& Society 2016-2021 adlı politika dokümanından hareketle, Endüstri 4.0 kapsamında firmaların bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanma düzeylerine ait toplam 12 değişkenden belirlenmiştir. Dolayısıyla Avrupa Birliği ülkelerinin göreceli Endüstri 4.0 performansı, firma bazlı veriler (mikro veriler) kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Söz konusu verilere ilişkin bilgiler Tablo 1’de yer almaktadır.

**Tablo 1:** Analizde Kullanılan Değişkenler

Göstergeler	Yıl	Ölçü Birimi
Kurumsal kaynak planlamasını (KKP) kullanan firmaların payı	2015	%
Müşteri ilişkileri yönetimini (MİY) kullanan firmaların payı	2015	%
Tedarik zincirinde bilgi paylaşımını gerçekleştiren firmaların payı	2015	%
İnternete mobil bağlantı için taşınabilir cihazlar kullanan firmaların payı	2016	%
İnternet üzerinden satınalma işlemi gerçekleştiren firmaların payı	2015	%
İnternet üzerinden sipariş alan firmaların payı	2016	%
Radyo frekansı tanımlama (RFID) aracı kullanan firmaların payı	2011	%
Müşteri İlişkileri Yönetimi (MİY) gibi yazılımlar kullanan firmaların payı	2015	%
MİY gibi pazarlama amaçlı müşterilerle ilgili bilgileri analiz eden yazılımlar kullanan firmaların payı	2014	%
Farklı fonksiyonel alanlar arasında bilgi paylaşmak için kurumsal kaynak planlama (KKP) yazılım paketine sahip olan firmaların payı	2015	%
İş süreçleri, tedarikçilerinin ve / veya müşterilerin iş süreçleriyle otomatik olarak bağlantılı olan firmaların payı	2015	%
Geniş bant erişimi olan firmalar	2015	%

Analizde kullanılan değişkenler, Eurostat tarafından yayınlanan dijital ekonomi göstergelerine ait veri tabanından elde edilmiştir. Analizde kullanılan veriler 2015-2016 döneminin kapsamla birlikte, bazı durumlarda farklı dönemlere ait veriler de kullanılmıştır (bknz, Tablo 1). Ampirik analize 28 Avrupa Birliği ülkesi dahil edilmiştir. Söz konusu ülkeler Tablo 2’de yer almaktadır.

**Tablo 2:** Analize Dahil Edilen Ülkeler

Avusturya	Estonya	İtalya	Portekiz
Belçika	Finlandiya	Letonya	Romanya
Bulgaristan	Fransa	Litvanya	Slovak Cumh.
Hırvatistan	Almanya	Lüksemburg	Slovenya
G. Kıbrıs	Yunanistan	Malta	İspanya

Çekya	Macaristan	Hollanda	İsveç
Danimarka	İrlanda	Polonya	İngiltere

### *Analiz Sonuçları*

Bu çalışmada Endüstri 4.0 performansı açısından hangi AB ülkelerinin açısından benzerlik gösterdiğini ve ülkelerin kaç farklı performans düzeyine sahip olduğunu belirlemek amacıyla, Ward yöntemi kullanılarak kümeleme analizi gerçekleştirilmiştir. Ward yöntemi tercih edilerek gerçekleştirilecek analizde uygun küme sayısının belirlenebilmesi için yığışım tablosu, dendogram ve küme sayısı belirtilerek yapılan analiz sonuçlarının birbiri ile uyumlu olması gerekmektedir.

Tablo 3'te yer alan yığışım tablosundaki ilk sütun, kaç aşama sonunda ülkelerin tek bir küme altında toplandığını göstermektedir. Buna göre analiz, 27 aşamadan oluşmaktadır. Tablodaki ilk satır, kümeleme analizinin ilk aşamasını oluşturmaktadır. Küme 1 ve Küme 2' de yer alan birbirine en yakın iki gözlemin hangileri olduğu "Birleştirilmiş Küme" başlığı altında gösterilir. Gözlemler arasındaki mesafe ile ilgili bilgiler 'katsayılar' sütununda yer alır ve 'Kareli Öklid Uzaklığı' olarak ifade edilir. Yığışım tablosunda yer alan ilgili satırdaki kümenin hangi aşamada oluştuğu bilgisine 'Kümenin İlk Görüldüğü Aşama' sütununda yer verilir. İlgili satırdaki iki gözleme kaçınıcı aşamada bir diğer gözlemin eklendiği ise "Sonraki Aşama" sütununda yer alır.

**Tablo 3:** Yığışım Tablosu

Aşama	Birleştirilmiş Küme		Katsayılar	Kümenin İlk Görüldüğü Aşama		Sonraki Aşama
	Küme 1	Küme 2		Küme 1	Küme 2	
1	14	17	,797	0	0	20
2	6	21	1,793	0	0	10
3	11	25	3,337	0	0	23
4	10	12	5,020	0	0	14
5	18	24	6,884	0	0	18
6	9	16	8,893	0	0	9
7	1	5	11,087	0	0	16
8	13	22	13,317	0	0	14
9	9	20	15,843	6	0	17
10	6	28	19,022	2	0	20
11	2	23	22,277	0	0	13
12	15	26	25,913	0	0	17
13	2	8	29,626	11	0	24
14	10	13	34,008	4	8	18
15	7	27	38,804	0	0	21
16	1	19	43,744	7	0	19
17	9	15	49,860	9	12	22
18	10	18	57,041	14	5	23
19	1	4	64,736	16	0	26
20	6	14	74,044	10	1	24
21	3	7	84,001	0	15	22
22	3	9	100,741	21	17	25
23	10	11	120,269	18	3	25
24	2	6	144,396	13	20	27
25	3	10	170,242	22	23	26
26	1	3	207,589	19	25	27
27	1	2	324,000	26	24	0

Yığışım tablosu kullanılarak küme sayısının belirlenmesi yönteminde, katsayılar sütununda yer alan değerler arasındaki farkların büyüklüğü dikkate alınmaktadır. Buna göre Tablo 3'te yer alan katsayılar sütununa bakıldığında 22. aşamadan sonra katsayılar da önceki aşamalara göre daha büyük bir sıçrama gerçekleştiği görülmektedir. Sıçramalar takip eden aşamalarda da artarak devam etmiştir. Buradan hareketle, küme sayısı altı olarak belirlenebilir.

**Tablo 4:** Küme Sayısı Belirtilerek Elde Edilen Analiz Sonuçları

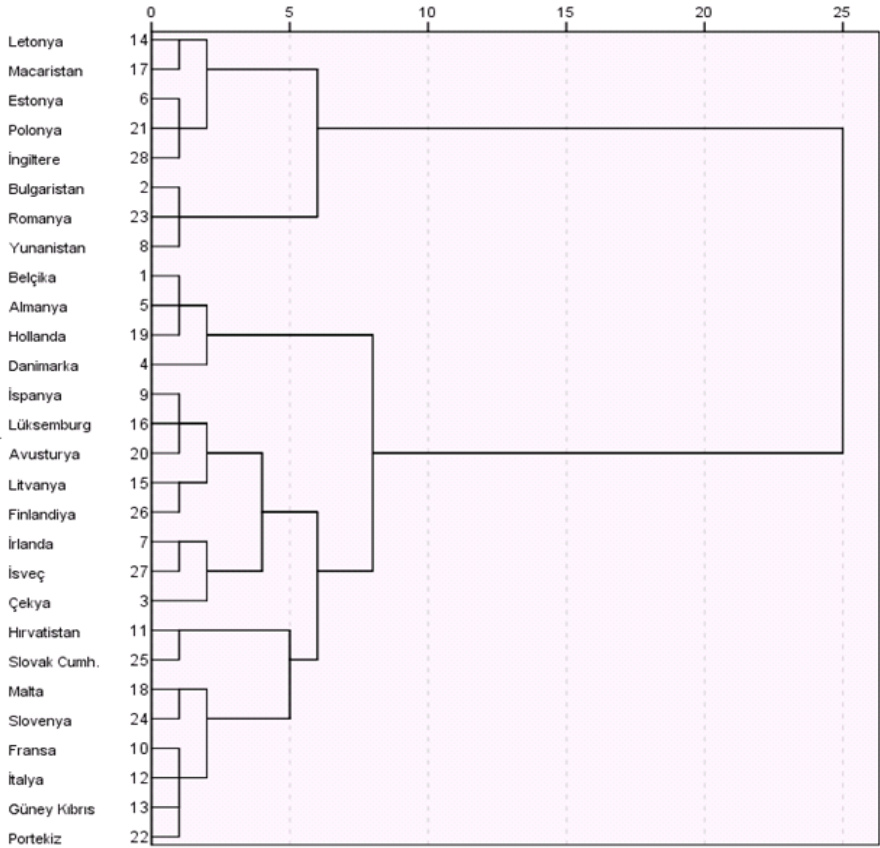
Ülkeler	7 Küme	6 Küme	5 Küme	4 Küme
Belçika	1	1	1	1
Bulgaristan	2	2	2	2
Çekya	3	3	3	3
Danimarka	1	1	1	1
Almanya	1	1	1	1
Estonya	4	4	4	2
İrlanda	3	3	3	3

Yunanistan	2	2	2	2
İspanya	5	3	3	3
Fransa	6	5	5	4
Hırvatistan	7	6	5	4
İtalya	6	5	5	4
Güney Kıbrıs	6	5	5	4
Letonya	4	4	4	2
Litvanya	5	3	3	3
Lüksemburg	5	3	3	3
Macaristan	4	4	4	2
Malta	6	5	5	4
Hollanda	1	1	1	1
Avusturya	5	3	3	3
Polonya	4	4	4	2
Portekiz	6	5	5	4
Romanya	2	2	2	2
Slovenya	6	5	5	4
Slovak Cumh.	7	6	5	4
Finlandiya	5	3	3	3
İsveç	3	3	3	3
İngiltere	4	4	4	2

Yığılım tablosundan elde edilen küme sayısının iki alt ve bir üst küme sayısı dikkate alınarak yapılan analiz sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir. Buna göre yığılım tablosunun öngördüğü altı küme sayısının iki altı ve bir üstü belirlendiğinde yani küme sayıları dört, beş, altı ve yedi olarak belirlendiğinde en uygun küme sayısının altı olduğu görülmektedir. Nitekim, Şekil 1'de yer alan dendogram da bu durumu doğrulamaktadır.



Şekil 1: Ward Yöntemi İle Oluşturulan Ağaç Grafığı



Ward yöntemi ile elde edilen Şekil 1'deki dendograma göre, analize dahil edilen 28 ülke altı kümede toplanmaktadır. Buna göre, Letonya, Macaristan, Estonya, Polonya ve İngiltere birinci kümeyi; Bulgaristan, Romanya ve Yunanistan ikinci kümeyi; Belçika, Almanya, Hollanda ve Danimarka üçüncü kümeyi; İspanya, Lüksemburg, Avusturya, Litvanya, Finlandiya, İrlanda, İsveç ve Çekya dördüncü kümeyi; Hırvatistan ve Slovak Cumhuriyeti beşinci kümeyi ve Malta, Slovenya, Fransa, İtalya, Güney Kıbrıs ve Portekiz altıncü kümeyi oluşturmaktadır. Kümeleme analizinden elde edilen bulgulara göre, Avrupa Birliği ülkeleri Endüstri 4.0 açısından homojen bir görünüm sergilememekte olup; altı farklı performans düzeyine sahiptir.

Kümeleme analizinin ardından, bu analiz sonuçlarının doğruluğunun tespit edilmesi ve ülkeler arasında Endüstri 4.0 performansı açısından farklılıkları açıklamada en etkili olan değişkenlerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen

ayırma analizine ilişkin sonuçlar Tablo 5'te yer almaktadır. Ayırma analizi, 28 AB üyesi ülkeye ait Endüstri 4.0 performansı ile ilgili 12 değişken ve küme numaraları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, ayırma analizi kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen küme üyelikleri ile orijinal küme üyelikleri aynıdır. Başka bir deyişle, kümeleme analizi sonucunda oluşan kümelere ait sınıflandırma %100 doğru sonuç vermiştir.

**Tablo 5:** Ayırma Analizine Göre Sınıflandırma Sonuçları

Küme Numarası		Tahmin Edilen Grup Üyelikleri <sup>a</sup>						Toplam
		1	2	3	4	5	6	
Kümeler	1	4	0	0	0	0	0	4
	2	0	3	0	0	0	0	3
	3	0	0	8	0	0	0	8
	4	0	0	0	5	0	0	5
	5	0	0	0	0	6	0	6
	6	0	0	0	0	0	2	2
%	1	100,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	2	,0	100,0	,0	,0	,0	,0	100,0
	3	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	100,0
	4	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	100,0
	5	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	100,0
	6	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	100,0

<sup>a</sup> Orijinal kümelere göre %100 doğru sonuç vermiştir.

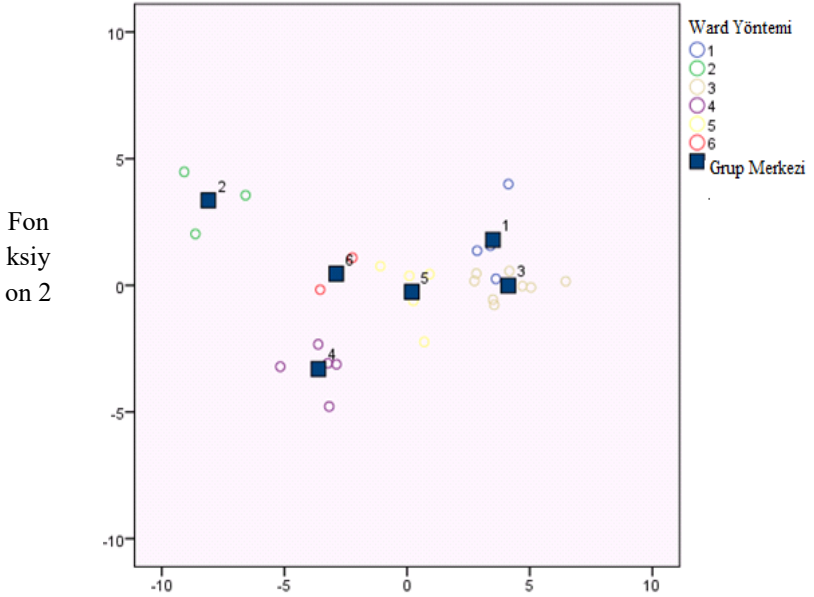
Kümeleme analizi sonucunda oluşan altı kümenin birbirine uzaklığı kanonik ayırma fonksiyonu ile belirlenmektedir. Tablo 6, standartlaştırılmış kanonikdiskriminant fonksiyon değerlerini göstermektedir.

**Tablo 6:** Standartlaştırılmış Kanonik Diskriminant Fonksiyon Katsayıları

	Fonksiyon				
	1	2	3	4	5
Kurumsal kaynak planlamasını (KKP) kullanan firmaların payı	,002	-,770	-1,693	-,525	-,456
Müşteri ilişkileri yönetimini (MİY) kullanan firmaların payı	1,858	-2,166	,554	-1,563	1,562
Tedarik zincirinde bilgi paylaşımını gerçekleştiren firmaların payı	-,084	,347	,237	,799	,757
İnternete mobil bağlantı için taşınabilir cihazlar kullanan firmaların payı	,147	-,391	,272	,156	-,125
İnternet üzerinden satınalma işlemi gerçekleştiren firmaların payı	,833	,314	,587	-,427	,321
İnternet üzerinden sipariş alan firmaların payı	,173	-,245	-,449	,246	,150
Radyo frekansı tanımlama (RFID) aracı kullanan firmaların payı	,223	,170	,725	,260	-,585
Müşteri İlişkileri Yönetimi (MİY) gibi yazılımlar kullanan firmaların payı	-2,136	1,556	-,585	2,603	-,964
MİY gibi pazarlama amaçlı müşterilerle ilgili bilgileri analiz eden yazılımlar kullanan firmaların payı	,768	,396	,049	-1,035	,218
Farklı fonksiyonel alanlar arasında bilgi paylaşmak için kurumsal kaynak planlama (KKP) yazılım paketine sahip olan firmaların payı	,604	1,752	1,292	,066	-,375
Geniş bant erişimi olan firmalar	,633	-,438	-,353	-,065	-,148

Şekil 2, ayırma fonksiyonuna göre küme merkezlerini ve küme elemanlarının dağılımı göstermektedir. Şekle göre, birinci ve üçüncü kümeler birbirine en yakın kümeler olarak görülmektedir. Bu durum söz konusu kümelerde yer alan ülkelerin Endüstri 4.0 performanslarının birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Bu kümelere en uzak küme ise; ikinci kümedir. Bu kümelerde yer alan ülkelerin temel özelliği, AB'ye sonradan katılmaları ve ekonomik gelişmişlik açısından AB ortalamasının altında yer almalarıdır. Diğer taraftan kümelerin birbirine uzaklıkları dikkate alındığında, birinci ve üçüncü kümeler dışındaki kümelerin birbirlerine çok yakın olmadıkları görülmektedir. Bu durum, AB ülkelerinin Endüstri 4.0 performansı açısından heterojen bir görünüme sahip olmakla birlikte ülkelerin performansları arasındaki farklılıkların boyutuna işaret eder.

**Şekil 2:** Ayırma Fonksiyonuna Göre Küme Merkezleri ve Küme Elemanlarının Dağılımı



Ayrırma analizinde her bir değişkenin grupları ayırmadaki önemini ve anlamlılığını gösteren grup ortalaması eşitliği test sonuçları Tablo 7'de yer almaktadır. Tabloya göre, Wilks-Lamdası değeri en küçük olan değişkenler; kümeler arası farklılıkları açıklamada en etkili olan değişkenlerdir. Başka bir deyişle, ülkeler arasında Endüstri 4.0 açısından performans farklılığına yol açan en önemli değişkenlerdir. Buna göre, söz konusu kümeleri birbirinden ayıran en önemli değişkenler sırasıyla; geniş bant erişimi olan firmalar (0,101); farklı fonksiyonel alanlar arasında bilgi paylaşmak için KKP yazılım paketine sahip olan firmaların payı (0,208); kurumsal kaynak planlamasını (KKP) kullanan firmaların payı (0,209); internete mobil bağlantı için taşınabilir cihazlar kullanan firmaların payı (0,257); müşteri ilişkileri yönetimi (MİY) gibi yazılımlar kullanan firmaların payı (0,325); MİY gibi pazarlama amaçlı müşterilerle ilgili bilgileri analiz eden yazılımlar kullanan firmaların payı (0,325); müşteri ilişkileri yönetimini (MİY) kullanan firmaların payı (0,340); tedarik zincirinde bilgi paylaşımını gerçekleştiren firmaların payı (0,351); iş süreçleri, tedarikçilerinin ve / veya müşterilerin iş süreçleriyle otomatik olarak bağlantılı olan firmaların payı (0,351); internet üzerinden satınalma işlemi gerçekleştiren firmaların payı (0,353); radyo frekansı tanımlama (RFID) sistemi kullanan firmaların payı (0,412) ve internet üzerinden sipariş alan firmaların payıdır (0,50).

**Tablo 7:** Küme Ortalamalarının Eşitliği Testi

	Wilks' Lambda	F	sd1	sd2	p-değeri
Kurumsal kaynak planlamasını (KKP) kullanan firmaların payı	,209	16,696	5	22	,000
Müşteri ilişkileri yönetimini (MİY) kullanan firmaların payı	,340	8,524	5	22	,000
Tedarik zincirinde bilgi paylaşımını gerçekleştiren firmaların payı	,351	8,131	5	22	,000
İnternete mobil bağlantı için taşınabilir cihazlar kullanan firmaların payı	,257	12,753	5	22	,000
İnternet üzerinden satınalma işlemi gerçekleştiren firmaların payı	,353	8,082	5	22	,000
İnternet üzerinden sipariş alan firmaların payı	,500	4,401	5	22	,006
Radyo frekans tanımlama (RFID) sistemi kullanan firmaların payı	,412	6,290	5	22	,001
Müşteri İlişkileri Yönetimi (MİY) gibi yazılımlar kullanan firmaların payı	,325	9,130	5	22	,000
MİY gibi pazarlama amaçlı müşterilerle ilgili bilgileri analiz eden yazılımlar kullanan firmaların payı	,325	9,131	5	22	,000
Farklı fonksiyonel alanlar arasında bilgi paylaşmak için KKP yazılım paketine sahip olan firmaların payı	,208	16,781	5	22	,000
İş süreçleri, tedarikçilerinin ve /veya müşterilerinin iş süreçleriyle otomatik olarak bağlantılı olan firmaların payı	,351	8,131	5	22	,000
Geniş bant erişimi olan firmalar	,101	39,099	5	22	,000

## Sonuç

Bu çalışmada Endüstri 4.0 olgusu Avrupa Birliği ülkelerinin göreceli performansı dikkate alınarak incelenmeye çalışılmıştır. Buradan hareketle çalışma, Avrupa Birliği ülkelerinin Endüstri 4.0'a dönüşüm sürecinde göreceli performanslarının belirlemeyi amaçlamıştır. Başka bir deyişle, hangi AB ülkelerinin Endüstri 4.0 performansı açısından benzerlik gösterdiği ve AB ülkelerinin Endüstri 4.0 açısından kaç farklı performans düzeyine sahip olduğu tespit edilmek istenmiştir.

28 AB ülkesine ait 12 Endüstri 4.0 göstergesi kullanılarak, 2015-2016 yılları için çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden kümeleme analizi ve ayırma analizi gerçekleştirilmiştir. Kümeleme analizi, küme sayısı belirtilmeden ve küme sayısı belirtilmek suretiyle iki kez yapılmıştır. Bazı göstergeler bakımından ilgili yıllara ait verilerin bulunmaması sebebiyle 2011 ve 2014 yıllarına ait veriler de kullanılmıştır. Ward yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen kümeleme analizleri ve ayırma analizi sonucunda aşağıdaki temel bulgulara ulaşılmıştır:

- Kümeleme analizlerinden elde edilen sonuçlara göre AB ülkeleri Endüstri 4.0 açısından altı kümede toplanmıştır. Buna göre; Letonya, Macaristan, Estonya, Polonya ve İngiltere birinci kümede; Bulgaristan,

Romanya ve Yunanistan ikinci kümede; Belçika, Almanya, Hollanda ve Danimarka üçüncü kümede; İspanya, Lüksemburg, Avusturya, Litvanya, Finlandiya, İrlanda, İsveç ve Çekya dördüncü kümede; Hırvatistan ve Slovak Cumhuriyeti beşinci kümede ve Malta, Slovenya, Fransa, İtalya, Güney Kıbrıs ve Portekiz altıncı kümede yer almıştır.

- Ayırma analizine göre; birinci ve üçüncü kümeler birbirine en yakın kümelerdir. Yani, bu kümelerdeki ülkeler Endüstri 4.0 performansı açısından birbirine benzerdir. Bu kümelere en uzak olan ikinci kümedeki ülkelerin temel özelliği ise AB'ye sonradan katılmaları ve ekonomik gelişmişlik açısından AB ortalamasının altında yer almalarıdır. Diğer taraftan kümelerin birbirine uzaklıkları dikkate alındığında, kümeler birbirine yakın olmamakla birlikte bu durum ülkelerin performansları arasındaki farklılıkların boyutunu gözler önüne serer.

- Küme ortalamalarının eşitliği testine göre; firmaların geniş bant erişimine, farklı fonksiyonel alanlar arasında bilgi paylaşmak için KKP yazılım paketine, kurumsal kaynak planlamasına (KKP), internete mobil bağlantı için taşınabilir cihazlara, müşteri ilişkileri yönetimi (MİY) gibi yazılımlara ve MİY gibi pazarlama amaçlı müşterilerle ilgili bilgileri analiz eden yazılımlara sahip olup olmamasının ülkelerin eko-inovasyon performansı açısından farklı kümelerde yer almasında belirleyici olduğu tespit edilmiştir.

Avrupa Birliği'nin Endüstri 4.0 performansı açısından homojen bir görünüm sergilememesi ve Birlik açısından altı farklı performans düzeyinin oluşması, Avrupa Birliği'nin bu alandaki politika uygulamalarında başarıya ulaşması için söz konusu farklılığı göz ardı etmemesi gerektiğini göstermektedir. Zira Endüstri 4.0 son yıllarda Avrupa Birliği'nin politikalarına yön veren temel unsurlardan birisidir.

**Kaynakça:**

- Akın, H. B. ve Eren, Ö. (2012) “OECD Ülkelerinin Eğitim Göstergelerinin Kümeleme Analizi ve Çok Boyutlu Ölçekleme Analizi ile Karşılaştırmalı Analizi”, *Öneri Dergisi*, 10 (37): 175-181.
- Alçın, S. (2016) “Üretim İçin Yeni Bir İzlek: Sanayi 4.0”, *Journal of Life Economics*, 8: 19-30.
- Banger, G. (2016) *Endüstri 4.0 ve Akıllı İşletme*, (Ankara: Dorlion Yayınları).
- Çakmak, Z. (1999) “Kümeleme Analizinde Geçerlilik Problemi ve Kümeleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi”, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3: 187-205.
- Çeliktaş, M. S., Sonlu, G., Özgel, S. ve Atalay, S. (2016) “Endüstriyel Devrimin Son Sürümünde Mühendisliğin Yol Haritası”, *Endüstri ve Mühendislik*, 56(662): 24-34.
- Deloitte (2015) “*Industry 4.0: Challenges and Solutions for the Digital Transformation and Use of Exponential Technologies*”, Deloitte, Zurich.
- EBSO (2015) “*Sanayi 4.0: Uyum Sağlayamayan Kaybedecek*”, EBSO, İzmir.
- ERPS (2015) “*Industry 4.0 Digitalisation for Productivity and Growth*”, Briefing, Strasbourg.
- European Commission (2015) “*Monitoring the Digital Economy and Society 2016-2021*”, European Commission, Brussels.
- European Parliament (2016) “*Industry 4.0*”, European Parliament, Brussels.
- Gilchrist, A. (2016) *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*, (Apress: Thailand).
- Görçün, Ö. F. (2016) *Dördüncü Endüstri Devrimi: Endüstri 4.0*, (İstanbul: Beta Basım Yayıncılık).
- Heng, S. (2014) “*Industry 4.0 Upgrading of Germany's Industrial Capabilities on the Horizon*”, Deutsche Bank Research, Current Issues Sector Research.
- Kagermann, H., Wahlster, W. ve Helbig, J. (2013) “*Securing the future of German Manufacturing Industry Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0*”, Acatech, Final Report of the Industrie 4.0 Working Group.
- Kalaycı, Ş. (2014) *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri*, (Ankara: Asil Yayınevi).
- Nakip, M. (2006) *Pazarlama Araştırmaları Teknikler ve (SPSS Destekli) Uygulamalar*, (Ankara: Seçkin Yayıncılık).

- Oesterreich, T. D. ve Teuteberg, F. (2016) "Understanding the Implications of Digitisation and Automation in the Context of Industry 4.0: A Triangulation Approach and Elements of a Research Agenda for the Construction Industry", *Computer in Industry*, 83: 121-139.
- Qin, J., Liu, Y. ve Grosvenor, R. (2016) "A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond", *Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production*, *Procedia CIRP*, 52: 173-178.
- Roblek, V., Meško, M. ve Krapež, A. (2016) "A Complex View of Industry 4.0", *SAGE Pub*, 6(2):1-11.
- Schröder, C. (2017) "*The Challenges of Industry 4.0 for Small and Medium-sized Enterprises*", Division for Economic and Social Policy, Friedrich Ebert Stiftung, Bonn.
- Schwab, K. (2017) *Dördüncü Sanayi Devrimi*, (İstanbul: Optimist Yayıncılık).
- Stock, T. ve Seliger, G. (2016) "Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0", *Procedia CIRP*, 40: 536-541.
- T.C. Avrupa Birliği Bakanlığı (2018) "*Sanayi 4.0 Bilgi Notu*", AB Bakanlığı, Ankara.
- TÜSİAD (2016) *Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0: Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi*, TÜSİAD Yayınları, İstanbul.
- Wolter, M. I., Mönnig, A., Hummel, M., Schneemann, C., Weber, E., Zika, G., Helmrich, R., Maier, T. ve Neuber-Pohl, C. (2015) "*Industry 4.0 and the Consequences for Labour Market and Economy Scenario Calculations in line with the BIBB-IAB Qualifications and Occupational Field Projections*", Institute for Employment Research of the Federal Employment Agency, Research Reports, Nuremberg.