



Araştırma Makalesi • Research Article

Endüstriyel Dönüşüm Sürecinde AHP Yöntemi ile Performans Kriterlerinin Belirlenmesi *

Determination of Performance Criteria with AHP Method in Industrial 4.0 Transformation

Ercan Öztemel ^a, Semih Özel ^{b,**}, Samet Gürsev ^c

^a Prof. Dr., Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul/Türkiye.

ORCID: 0000-0001-8488-9991

^b Öğr. Gör. Dr., Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul/Türkiye.

ORCID: 0000-0001-8281-2704

^c Dr., Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul/Türkiye.

ORCID: 0000-0003-2609-4095

MAKALEBİLGİSİ

Makale Geçmişi:

Başvuru tarihi: 02 Haziran 2018

Düzeltilme tarihi: 02 Nisan 2019

Kabul tarihi: 14 Mayıs 2019

Anahtar Kelimeler:

Endüstri 4.0

Dijital Dönüşüm

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

ARTICLE INFO

Article history:

Received June 2, 2018

Received in revised form April 2, 2019

Accepted May 14, 2019

Keywords:

Industry 4.0

Digital Transformation

Analytical Hierarchy Process (AHP)

ÖZ

Teknolojik gelişmelerin ışığında mekanik yapılar, büyük oranda dijital sistemlere dönüşmüş ve bu dönüşüm günümüzde endüstri 4.0 devrimi olarak tanımlanmıştır. Endüstri 4.0 dijital devrimin sağladığı imkanlar ile işletmeler, üretim ve hizmet yeteneklerini artırarak rakiplerine oranla daha rekabetçi hale gelmişlerdir. Fakat özellikle üretim sektöründe olan birçok firma, henüz bu baş döndürücü dijital dönüşüme nasıl entegre olunacağı konusunda sıkıntı yaşadıkları anlaşılmaktadır. Bu kapsamda işletmelerin kendilerini değerlendirebilmesi ve endüstri 4.0 dönüşümüne katılabilmeleri için bir yol haritasına ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile Endüstri 4.0 süreci analiz edilerek işletmelerde doğru dönüşümün gerçekleştirilmesini sağlayacak bir yol haritasının oluşturulması amaçlanmıştır. Endüstriyel dönüşüm sürecinde alana özgü yeni parametrelerin belirlenmesi ve bu parametrelere bağlı değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir. Bu amaçla mümkün olduğunca geniş bir literatür incelenmiş ve sonrasında uzmanlar yardımı ile temel kriterler Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca işletmeler için endüstri 4.0 stratejilerini belirlemelerinde yardımcı olabilecek bir yol haritası ve öz değerlendirme çalışması yapılmıştır.

ABSTRACT

In the light of technological advances, mechanical structures are transformed into digital systems and this transformation has been defined as the industry 4.0 revolution. With the opportunities provided by the Industry 4.0 digital revolution, businesses can become more powerful than their competitors by increasing their production and service capabilities. However, many companies, especially in the manufacturing sector, have yet to understand how to integrate into this dizzying digital transformation. In this context, it is seen that a road map is needed for enterprises to evaluate themselves and to participate with the industry 4.0 transformation. In this study, it is aimed to analyze the Industry 4.0 process and to create a road map that will ensure the correct transformation in enterprises. In the process of industrial transformation, it is necessary to determine new site-specific parameters and make evaluations based on these parameters. For this purpose, as wide a possible literature has been examined and then, with the help of experts, basic criteria have been determined using Analytical Hierarchy Process (AHP). In addition, a roadmap and self-assessment study was conducted to help to determine the industry 4.0 strategies for both production and service sector.

1. Giriş

Günümüzün en popüler konularından biri olan 4. Endüstri devrimi, hızlı bir şekilde hayatımıza girmiş ve her yönü ile toplumları etkilemeye başlamıştır. Henüz hızı ve derinliği tam olarak kestirilemeye de tüm dünyada önemli bir kavram haline gelmiş ve üzerinde çok şey yazılıp çizilmektedir.

İnsanlığın yaşam tarzını değiştiren en büyük icadın ateşin kontrol edilmesi olurken hayvanların ehlileştirilmesi ile avcı toplayıcılıktan tarım toplumuna geçiş ile aslında ilk endüstri devrimi 10 bin yıl önce başlamıştır. Zamanla nüfus artışı ile birlikte yeni ihtiyaçlar ortaya çıktıkça insanların problemleri çözme eğilimleri artmış ve böylece yeni buluşlar

* Bu çalışma, 28-29 Nisan 2018 tarihlerinde İstanbul'da düzenlenen International Congress of Management Economy and Policy (ICOME'18-Spring) isimli kongrede bildiri olarak sunulmuştur.

** Sorumlu yazar/Corresponding author.

e-posta: semih.ozel@marmara.edu.tr

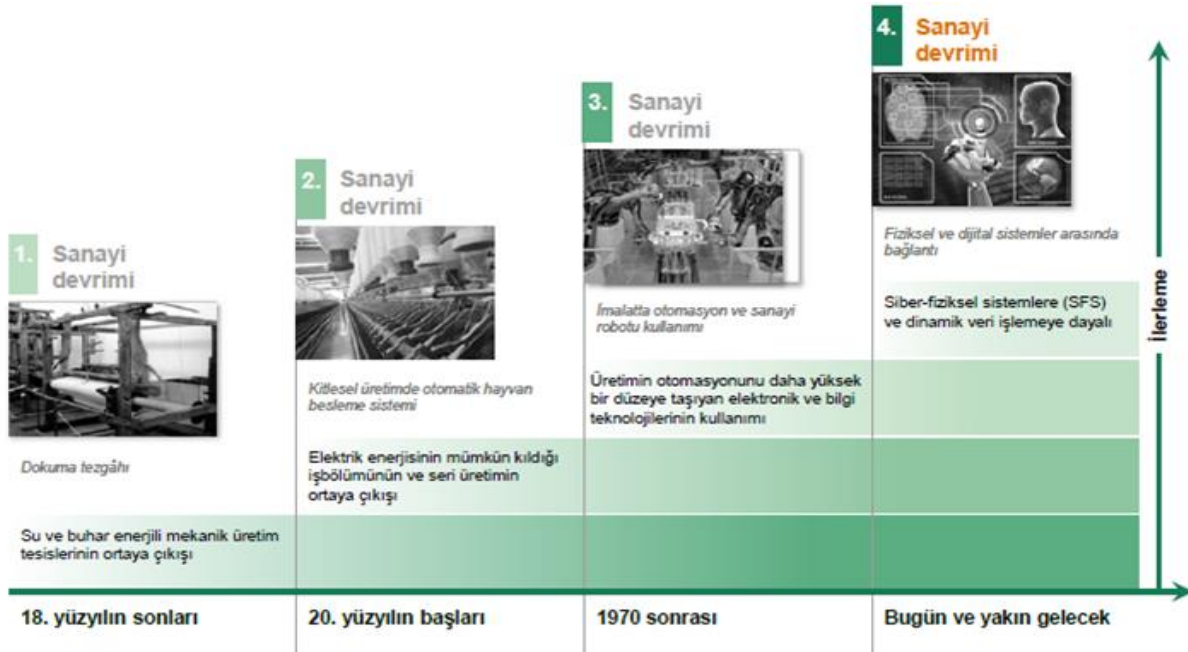
yaşanmıştır. Buhar makinelerinin icadı ile birlikte kas gücü büyük oranda makine gücüne bırakılmış ve tarım devriminin arkasından ilk sanayii devrimi yaşanmıştır. Nihayetinde bugün 4. Sanayii devrimi ile artık makine gücü bilişsel yapıların kontrolüne bırakılmış ve insan gücünün neredeyse en aza inmesi sağlanmıştır. Tüm dünyada dijital teknoloji günlük hayatın her alanında kullanılması mümkün olan sistemler ve ürünlerin geliştirilmesi için çalışmalar son hızıyla devam etmektedir. Günümüzde milyarlarca insan mobil cihazlar yardımıyla internete bağlanarak iletişim kurabilmekte, veri depolama hizmetlerini kullanabilmekte ve yeni geliştirilen yapay zeka algoritmalarıyla desteklenmiş uygulamaları kullanabilmektedirler. Bunların yanında akıllı robotik cihazlar, nesnelerin interneti, 3D yazıcılar, insansız fabrikalar, sanal gerçeklik gibi daha ileri çalışmalar da tüm hızıyla bir çok alanda yürütülmektedir.

İnsanlık tarihi boyunca yeni buluş ve icatların sebep olduğu yenilikler, toplumlar üzerinde özellikle ekonomi ve ticaret alanında ciddi değişimlere sebep olmuştur. Bu değişim belirli dönemlerde hızlı sıçramalar ile diğer başka teknolojilerin gelişmelerini tetiklemiş ve günümüz yeni sanayi devrimi olarak adlandırılan Endüstri 4.0 konseptinin oluşmasını sağlamıştır. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin üretim sistemlerinde yoğun kullanımı dijitalleşmenin yaygınlaşmasına en büyük etkiyi yapmıştır (Peres vd. 2016).

Endüstri devriminin bu noktaya gelmesini sağlayan birçok aşama belirli zamanlarda gerçekleşen teknolojik atılımlar ile gerçekleşmiştir. Özetlenecek olursa şekil 1 de görüldüğü gibi bugün endüstri 4.0 olarak anılan birinci sanayii devrimi 18. yüzyıl sonlarında başlamış ve buharla çalışan mekanik

sistemlerin icadıyla makinelerin yoğun kullanıldığı üretim tesislerinin faaliyete geçmesi ve yaygınlaşması açısından en önemli kilometre taşı oluşmuştur. 1900 lü yıllara gelindiğinde 2. endüstri devrimi elektrik enerjisi üretimi ve kullanımı ile başlamış ve kömürle çalışan buhar makinelerinin yerini elektrikle çalışan motorlu sistemler almıştır. Bu yeni elektrikli sistemlerin daha öncekilerine nazaran daha hızlı ve güçlü çalışması ile kapasitelerin artmasını sağlanmış ve ilk seri üretim sistemlerle üretim gerçekleşmiştir. İkinci sanayi devrimi ile birlikte dünyada büyük ve yıkıcı savaşlar dönemi de başlamış ve bu süreçte özellikle savaş makineleri üretimi ve ulaşım sistemlerinde büyük gelişimler sağlanırken gündelik yaşamları ile insanlar ve toplumlarda derin etkiler bırakan süreçler yaşanmıştır. İkinci dünya sonrası ülkelerin toparlanma süreci ile birlikte özellikle 1960 sonrası seri üretim anlayışı yaygınlaşmış, gelişen bilgisayar teknoloji ile birlikte endüstri 3.0 olarak adlandırılan ve hala günümüz dünyasını büyük oranda etkileyen yeni bir çağ başlamıştır. Bu süreçte verimlilik ve kalite çalışmaları daha da önem kazanmış ve işletmelerde yaygın olarak otomasyon sistemleri ve otomatik robotlar kullanılmaya başlanmıştır. Endüstri 4.0 ile birlikte robotların ve otomasyon sistemlerinin yapay zeka teknolojileri ile daha verimli hale gelmiş ve siber fiziksel sistemlerin kullanımını artırarak üretim ve hizmet sağlamada daha etkin olması hedeflenmektedir. Geçmişte yaşanan her bir sanayi devrimi temel olarak kendinden öncekilerin eksik ve zayıf yönlerini kapatarak evrilmiş ve sebep olduğu yeni teknolojilerin bir öncekinden çok daha verimli, daha hızlı, daha esnek ve daha çevik üretim sistemlerinin gerçekleşmesini sağlamıştır (Adeyeri vd., 2015).

Şekil 1. Sanayi Devrimi Aşamaları



Endüstri 4.0 kavramı ilk olarak 2011 yılında Almanya'da Hannover fuarında kullanıldığı anlaşılmıştır. Aynı felsefe farklı kavramlar kullanılarak ABD, Çin gibi dünyada ki diğer küresel güçlerin stratejik planlarında ve yol haritalarında kullanmaya başlamıştır. Amerika da karanlık fabrikalar olarak çalışmalarda yer alırken İngiltere bu süreci "Akıllı İmalat Koalisyonu", Avrupa Birliği "Geleceğin Fabrikaları", Fransa "Geleceğin Endüstri Girişimi, Japonya ise "Toplum 5.0" olarak isimlendirmiştir. Almanya da konuşulan Endüstri 4.0 tanımı diğer sanayi devrimlerinin aksine daha planlı ve sistematik bir sanayi devriminin bilinçli olarak oluşturulması temeline dayanmaktadır. Daha önceki sanayi devrimleri bir anda ortaya çıkmış ve bir sonraki sanayi devrimi dünyada etkilerini göstermeye başladıktan sonra adlandırılmıştır. Almanya da yapılan ilk endüstri 4.0 tanımlamaları 2011 sonrası yapılacak çalışmaların sonraki en az 20 yıl içerisinde insanlığı taşıyacağı yeni bir üst seviyeyi tanımlamaktadır. Bu anlayışa göre sadece makine ve sistemler değil, toplumların yaşantılarında da büyük değişimler yaşancaktır. Dünya da yaşananlara paralel olarak ülkemizin de bu gelişmelerden uzak kalması mümkün olamayacağından, ekonomik hedefleri bakımından dünyada belli bir sıralama içerisinde olma gayreti ile endüstri 4.0 felsefesine uygun bir yol haritası ve stratejisi belirlemesi büyük önem kazanmaktadır. Özellikle ülkemiz ekonomisinin lokomotifleri olarak işletmeler kendilerini bu yeni endüstri çağına hazırlamak ve adapte olmak durumundadırlar (Özkan vd., 2018).

Bu araştırmanın temel amacı, endüstri 4.0 konusunda Türkiye'de bulunan işletmelerin hangi durumda olduklarını belirlemeye yarayacak olan temel kriterlerin tespit edilmesi ve kriterlerin ağırlıklandırılmasıdır. Bu amaçla 2. bölüm de öncelikle literatürde bu alanda yapılmış çalışmalardan bazıları incelendikten sonra 3. bölümde Türkiye'de ki endüstri 4.0 çalışmaları ve dünyada bu kapsamda yapılan projeler genel olarak anlatılmıştır. Bölüm 4'de uzman görüşleri ve literatür taraması sonucunda elde edilen temel kriterler ve bu kriterlerin AHP metodu kullanılarak performans değerlendirilmesinin nasıl yapıldığı anlatılmıştır. Bölüm 5'de bu kriterler kapsamında özellikle hizmet sektörü odağında yer alan firmalar için bir yol haritası niteliğinde strateji belirleme konusunda öneriler sunulmuştur.

2. Literatür İncelemesi

Endüstri 4.0 ilk anıldığı günden buyana hem özel sektör hem de akademik dünya için büyük bir araştırma konusu olmuş ve hızla yayılmıştır. Verimlilik, hız, yeni iş modelleri ve yeni ekonomi dalları oluşturması akademik dünyada pek çok alanda kendine yer bulmasına yol açmıştır. Endüstri 4.0 ve getirdiği yenilikler ekonomiyi değiştirdiği gibi toplumları, çalışma yaşamını ve ticareti de değiştirmeye başlamıştır. Bu kapsamda yapılan literatür incelemesi ile akademik çalışmalar ortaya konmuş ve her alanda farklı boyutları ile incelenen endüstri 4.0 kavramının daha iyi anlaşılması ve bu çalışmayı desteklemesi sağlanmıştır. Belirli sayıda çalışma incelenmiş olup sonuçları

irdelenmiştir.

Qin vd. (2007) Fabrika, İş süreci, müşteri ve ürünler olmak üzere dört temel başlık altında Endüstri 4.0 in etkilerini analiz etmiştir. Endüstri 4.0 bileşenleri konusunda detaylı bir inceleme yapmıştır. Adeyeri vd. (2015) Endüstri 4.0 kavramlarını ve yarattığı algıyı analiz etmiştir. Filippi and Barattin (2012) Endüstri 4.0 toplum ve sanayi üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde incelemiştir. Sogoti (2014) M2M kavramı ve getirdiği yenilikleri farklı analiz teknikleri kullanarak incelemiştir. Lee vd. (2015) siber fiziksel sistemler olarak adlandırılan bileşeni ve getirdiği yenilikleri, sanayi üzerindeki araştırmıştır. Siber sistemler için bir yol haritası oluşturmuştur. Rosendahl vd. (2016) Endüstri 4.0 ile değer zinciri arasındaki ilişki konusunda çalışmalar yapmıştır. Pan and Kraft (2015) data analizi ve yeni metodları konusunda kapsamlı bir araştırma yapmıştır. Data yönetimi ile verimlilik yönetimi incelemiştir. Tuncel and Polat (2016) 250 farklı firmada yaptıkları çalışma ile firmaların eksiklerini nasıl gidermesi gerektiği konusunda araştırma yaptılar. Tekez and Taşdeviren (2016) yeni sanayi devriminin kriterler ve katmanlarla analiz eden bir model oluşturdu. Schouh vd. (2015) ampirik analizler kullanarak Endüstri 4.0 verimliliği konusunda araştırmalar yaptılar. Schumacher vd. (2016) öğrenen sistemler ve makine öğrenmesi konusunda modelleme ve istatistiksel araştırma yaptılar.

Ruivo vd. (2014) sanal gerçeklik teknolojisinin etkileri ve getirdiği yenilikleri incelediler. Stock and Seliger (2016) Endüstri 4.0 getirdiği yenilikler ve sonrasında oluşması beklenen teknolojiler konusunda araştırma yaptılar. Bourke and Mentis (2014) Endüstri 4.0 sonrası eğitim süreçlerinin analizi amacıyla bir olgunluk modeli oluşturdu. Wahlster (2013) yenilikçi teknolojiler ve değişen iş süreçleri konusunda çalışmalar yaptı. Hecklau vd. (2015) insan kaynakları süreçlerinin yeni teknolojilerden nasıl etkileceğini araştırdılar. Weyer vd. (2015) otomasyon iş süreçlerinin standardize edilmesi konusunda çalışmalar gerçekleştirdi. Yusof vd. (2013) akıllı fabrikalar ve özellikleri incelenmiştir. Bu fabrikaların yönetsel süreçleri ile ilgili modelleme yapılmıştır. Fallera and Feldmüllera (2015) küçük ve orta ölçekli firmalar için Endüstri 4.0 da başarı yol haritası oluşturdu. Baygin vd. (2016) Endüstri 4.0 sonrası eğitim süreçleri konusunda araştırmalar yapmıştır. Giasirani and Sofos (2016) yeni teknolojiler ve değişen süreçler sonrasında eğitimin nasıl olacağı konusunda çalışmalar yapmıştır. Sun (2012) RFID sistemlerin ve IoT sistemlerinin etkilerini analiz etmiştir. Zarte and Pechmann (2016), Peres vd. (2016) bilgi teknolojilerindeki değişimleri analiz etmiştir ve data formları konusunda yapılan çalışmalarını incelemiştir. Xinga vd. (2009) Endüstri 4.0 performansını ölçen ve değerlendiren bir model kurmuştur.

Bagheri vd. (2015) üretim sistemlerinde gelişmiş bir analitik analiz kullanarak kümeleme analizi gerçekleştirmiştir. Angeles (2005) RFID kullanarak yeni nesil tedarik zinciri yönetimini analiz etmiştir. Baheti ve Gill (2011) siber

fiziksel sistemler için kontrol sistemlerinin analiz edilmesini amaçlamıştır. Erol vd. (2016) ve Foehr vd. (2017) Siber fiziksel sistemlerin performans ve verimlilik gelişimine yönelik olarak mimari önerisinde bulunmuştur. Angelo vd. (2017) geniş bir literatür taraması gerçekleştirmiştir. Vallsa vd. (2017) . Septik bir middleware teknolojisinin davranışı ve dağıtılmış düğümlerin etkileşimini ele alma maliyeti başlıklarını incelemiştir. Bellini vd. (2017), Sharma vd. (2016) bulut sistemler ile ilgili geniş bir literatür taraması ve verilerin verimliliği konusunda yürütülen projeler hakkında araştırma yapmıştır.

Higashino vd. (2017), Karmaşık Olay İşleme (CEP) ve Akış İşleme (SP) ve Büyük Veri hız boyutu araştırmış ve bu sistemler için bulut teknolojisinde bir simülasyon sunmuştur. Badawi vd. (2017), katılımcıların fiziksel aktivite düzeyinin olumlu etkisi için toplanan verileri kullanmak için bir model geliştirmiştir. Li vd. (2017) geliştirdikleri model sayesinde ileri analiz ve ön işlem adımları konusunda çalışma yapmışlardır. Jararweha vd. (2017), Chen ve Chiu (2017), bulut bilişim uygulamalarını Yazılım Tanımlı Bulut yaklaşımına göre tanımlamıştır. Ek olarak yeni nesil fabrikaları bulut projelerine uygun benzetim çalışması yapmışlardır. Amato ve Moscato (2017), Forti and Munteanu (2017), Nuñez vd. (2017), bulut sistemlerin mimari katmanlarını, gelişim modellerini, ampirik doğrulama çalışmalarını detaylı olarak analiz etmiştir. Tao ve Gao (2017) laas hizmet olarak altyapı sistemleri hakkında ileri teknoloji özelliklere sahip bir sistem geliştirmiştir. Singh ve Chatterjee (2017), bulut sistemlerde güvenlik ve güvenilirlik konularında analiz yapmıştır. Wang vd. (2017) büyük veri işlemede bulanık kümeleme mantığı ile modelleme araçlarını analiz etmiştir. Ojha vd. (2017), Nawrocki ve Reszelewski (2017), mobil sistemlerde verimlilik ve data transfer tipleri ile ilgili yeni nesil uygulamaları detaylı olarak analiz etmişlerdir. Biral vd. (2015) mevcut hücreli haberleşme sistemlerinde M2M ilgili problemleri incelemiştir. Elmangousha vd. (2015) M2M sistemlerdeki trafik yapısını ve adaptasyon sürecini modellemiştir. Strozzi vd. (2017), Rashid vd. (2012), Akıllı fabrikalar ve ERP kavramları ile ilgili literatür çalışması yapmışlardır. Kurth ve Syleyer (2015) ileri teknoloji cihazlar için standart otomasyon yöntemleri sunmuştur. Shi vd. (2017) cerrahi operasyon için robot kullanımını analiz etmiştir. Koseleva ve Ropaite (2017), büyük veri analizi ve veri modelleme konusunda çalışmalar yapmıştır. Shrimali vd. (2017) veri ağı optimizasyonu ve veri tazeliği konularında araştırma yapmıştır.

Yapılan literatür çalışması sonrasında Endüstri 4.0 tanımlanmasında hala eksikler olduğu, temel bileşenlerin henüz net olarak belirlenmediği, performans ve verimlilik konularında ölçüm parametrelerinin henüz netleşmediği tespit edilmiştir. Endüstri 4.0 kavramının daha önceki sanayi devrimlerinden daha kısa sürede biteceği ve içerdiği bileşenlerin çok büyük bir hızla yeni teknolojiler getirdiği yapılan araştırmaya konu olmuştur. Yapay Zeka Uygulamaları, Robotik, Siber Fiziksel Sistemler konularındaki çalışmalar Endüstri 4.0 konusundaki

gelişimin öngörülenden çok daha hızlı olacağını göstermektedir. Endüstri 4.0 sadece teknolojik gelişmelerin analizi ve değerlendirmesi değil insan, toplum, hukuk ve ticaret ile başlıklara da etki eden bir kavram olarak detaylı olarak incelenmesi gerektiği öngörülmektedir.

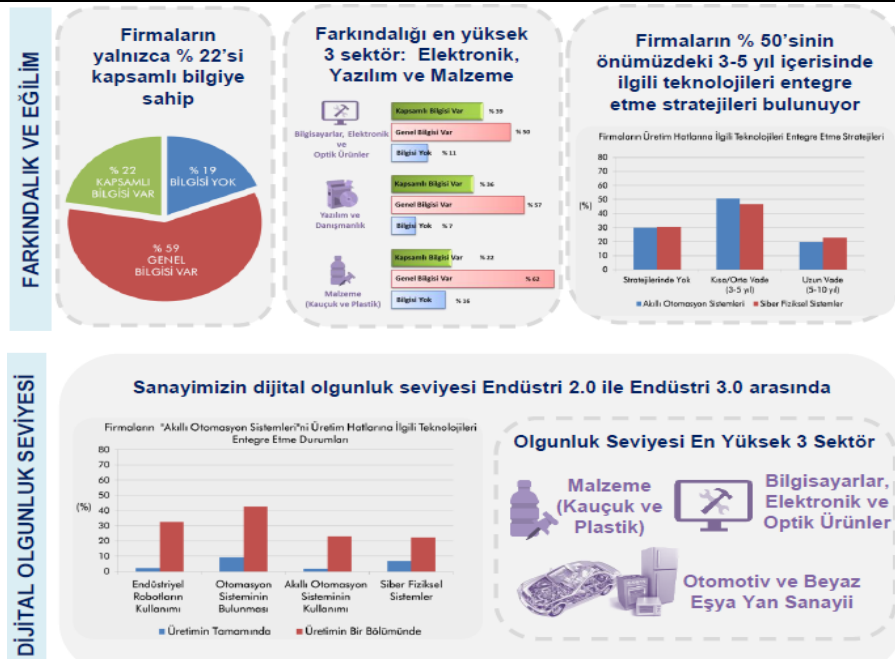
3. Türkiye ve Dünya’da Endüstri 4.0

Ülkemizde Endüstri 4.0 konusunda çalışmalar özellikle akademik ortamda yoğun bir şekilde devam etmekte ve bu kapsamda yapılan çalışmalar yayınlanmaktadır. Kurumlar tüm hızı ile yapılan bu çalışmaları takip ederek kendileri için bir yol haritası oluşturmak ve endüstri 4.0 denilen teknoloji yoğun değişimi olabildiğince yakalamak için uğraş vermektedirler. Ülkemizin en önemli bilim kuruluşlarından Tubitak, işletmelerin teknolojik seviyelerini ve endüstri 4.0 konusunda ki farkındalıklarını ölçen bir analiz çalışması yapmış ve yayınlamıştır. Şekil 2 de görülen bu çalışmaya göre, ülkemizdeki çok az işletme yeni sanayi devrimi hakkında detaylı bilgi sahiptir. Özellikle yüksek teknolojinin kullanılması önemli olan sektörler ve bilişim ağırlıklı sektörler dışında bu farkındalık ve performans seviyeleri daha da düşük olduğu görülmektedir. İşletmelerin çoğu hala eski teknolojileri kullanmakta ve teknolojik yenilik için gerekli olan yol haritasını oluşturmadıkları görülmektedir. İşletmelerde teknolojik yenilenmenin maliyeti yüksek olduğundan bu dönüşüm genellikle göz ardı edilmesi ile sonuçlanmaktadır.

Endüstri 4.0 uygulamalarının stratejik ve organizasyonel etkilerini ölçebilmek için bir çok sayıda proje yürütülmektedir. Bazı firmalar “Smart Factory” yani akıllı fabrika konsepti ile ilgili çeşitli projeler yürütmekte ve ürünlerini şimdiden internet üzerinden pazarlamaktadır (SMT, 2017). Bu tip projeler işletmelerin Ar-Ge faaliyetleri kapsamında ve yenilikçilik odaklı stratejik ve organizasyonel etkiler gözetilerek geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Benzer şekilde bir avrupa birliği mekanizması olan I4MS projesi ile sektör, boyut veya coğrafi konumdan bağımsız olarak, Avrupa’daki herhangi endüstri işletmelerinin inovatif dijital teknolojilere erişimini sağlamak üzere bulut teknolojisi kullanılarak entegre bir dijital yapı projesi önerilmektedir (I4MS, 2016). Geliştirilen örnek dijital fabrikalarda yeni ürün üretimi ve yenilikçi teknolojilerin desteklenmesi, araştırılması ve test edilmesi amacının yanında firmaların özellikle dijital dönüşümüne yardımcı olmak için hizmetler sunabilecek yeterlilik merkezleri oluşturulması planlanmıştır.

Şekil 2. Tubitak Endüstri 4.0 Araştırması



Kaynak: Tubitak (2016)

Yine benzer olarak Festo tarafından geliştirilen ve Almanya Eğitim bakanlığı nca desteklenen ENTOC projesinde standartlaştırılmış bir sanal fabrika tasarım ve otomasyon bileşenleri ile sanal devreye alma süreçlerini modelleyerek bir üretim işletmesi kurulmadan önce sanal olarak kurulmasına ve işletilmesine imkan vermektedir ENTOC (2017). Festo tarafından yürütülen diğer bir proje olan ARIZ projesinde güvenli insan-robot işbirliğinin sağlanması amaçlanmıştır. Projede kapsamlı güvenlik sistemleri ve ilgili sensör teknolojilerine sahip makineler ve robotların aynı ortamda insan işçilerle daha güvenli çalışmanın yolları aranmaktadır. ARIZ projesinde “geleceğin endüstrisinde çalışmak” mottosu kullanılmakta ve gelecekte robotların yoğun çalışacağı alanlarda insan işçilerin zarar görmemesi için yapay zeka destekli sensör temelli sistemler geliştirilmektedir. Bunun yanında insan işçilerin robotlar ile birlikte çalışacağı konularda kapsamlı eğitimlerin verilmesi düşünülmektedir (ARIZ, 2017). MetamoFAB adlı projede ise geleneksel fabrikaların akıllı ve entegre ağlara bağlı fabrikalara dönüştürülmesi için çözümler geliştirmeyi amaçlamaktadır. Projenin parçası olarak insanlar, makineler, iş parçaları ve bilgi teknolojileri yer almakta ve geçiş dönemi aşamalarını ve bu aşamaların uygulanmasının özellikle var olan modernizasyon ve kalkınma planları ile ardışık siber-fiziksel sistemlerin entegrasyonunda kullanılmasını da amaçlamaktadır (MetamoFAB, 2017). ParsiFAI 4.0 araştırma projesinde, proje sponsoru VDI / VDE-IT'nin desteğiyle paydaşlarla birlikt (S3) etiketleri adı verilen ince film şeridi olarak akıllı elektronik sistemlerin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapmaktadırlar (ParsiFAI, 2017).

4.Endüstri devrimi ile kullanımı yaygınlaşan veri madenciliği ile veriler çeşitli akıllı algoritmalar ve sistemler

yardımı ile daha kolay ve etkin bir biçimde gerçekleştirilebilir. Özellikle yaygın olarak kullanılmaya başlayan kaynak planlaması programlarında zeki algoritmaların kullanılması ile firmalar verilerini daha kolay analiz ederek zayıf noktalarını belirleyerek ürünlerde oluşacak hataları önceden tespit ederek önlecek sistemler geliştirilmesi sağlanabilecektir. İnsansız fabrikalarda yapay zeka destekli otonom çalışabilen lojistik araçları ile otomatik nakliye sistemlerinin gelişmesi ile insan hataları minimuma indirilerek işlerin daha hızlı yürütülmesi sağlanacaktır. Akıllı sistemler ve makinelerdeki koruyucu tedbirler olarak emniyet sensörleri ve kameralar yerleştirilecek, çeşitli amaçlarla kullanılacak sensörler ve bunlara bağlı yazılımlar ile çevreyle etkileşim maksimuma çıkarılabilecektir. Geçmişte müşteriler ne üretilirse onu kullanmak durumunda kalırken endüstri 4.0 uygulamaları ile artık müşterilerin kişisel zevkleri ve tercihleri doğrultusunda ürünler geliştirilerek üretilmesi mümkün hale gelecektir. Aynı üretim hattı üzerinde kişiye özel farklı özelliklerde yüzlerce ürünün üretilmesi imkanı olacaktır.

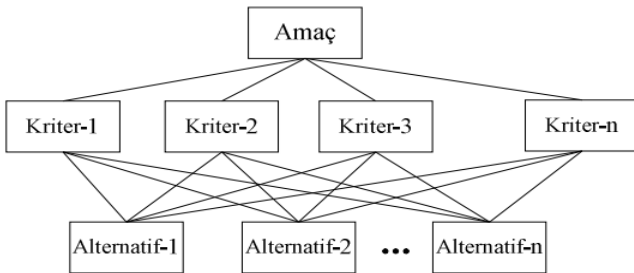
Yeni sanayi devrimi ile birlikte birçok alanda değişim yanacağı gibi geleneksel pazarlama yaklaşımlarında yeni uygulamalar ile birlikte büyük değişimler yaşanması kaçınılmaz hale gelecektir. E marketin günümüzde yaygın kullanımı ile bu değişimi başlatmıştır. Nesnelerin interneti (IoT) konsepti ile birlikte evimizde ki cihazlar internete bağlanarak ihtiyaçlar doğrultusunda kendi siparişlerini verebilecek servis taleplerinde bulunabileceklerdir. Aynı şekilde fabrikalarda makineler bakım süreleri geldiğinde değişmesi gereken parçaları kendileri tespit ederek siparişlerini ilgili birimlere yaparak sürecin kısılmasını ve hızlanmasını sağlayabileceklerdir.

Bütün bunlar gösteriyor ki birçok insanın çocukluğunda oyun oynayabilmek için televizyona bağlanarak ve eski tip teyp kasetlerinden programların yüklenmesinin gerektiği Commodore 64 tipi bilgisayarlardan, günümüzde avucumuza sığacak büyüklükte mobil telefonlarımızdan çok daha karmaşık uygulamaları kullanabildiğimiz, görsel olarak çok daha zengin oyunlarla keyifler dakikalar geçirdiğimiz çok daha güçlü bilgisayarları kullanabiliyorsak gelecekte sanal ortamlarda fiziksel etkileşimi dahi mümkün hale getirecek ürünlerin geliştirilmesi ve kullanılmasının mümkün hale geleceği çok uzak olmayan bambaşka bir dünyaya doğru yol almaktayız.

4. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Uygulaması ve Kriter Değerlendirme

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), 80'li yıllarda Pensilvanya Üniversitesinde matematikçi Thomas Saaty tarafından geliştirilmiş ve dünyaya tanıtılmıştır. Karmaşık karar verme problemlerinde kriterlerin önceliklendirilmesi ve en iyi alternatifin belirlenebilmesi amacıyla geliştirilen matematiksel teori, verdiği başarılı sonuçlar ile karar vermede en çok kullanılan yöntemlerden biri haline gelmiştir. Kriterler arasında uzmanlar yardımı ile yapılan ikili karşılaştırmalar kriterlerin birbirlerine olan üstünlüklerini belirlemek için yapılır. Problem amacına göre ana kriter ve alt kriter ağırlıkları belirlenerek aralarından seçim yapılması beklenen alternatifler ile karşılaştırılarak en iyi alternatif belirlenir (Saaty ve Niemira, 2006).

Şekil 3. AHP Hiyerarşik Yapısı

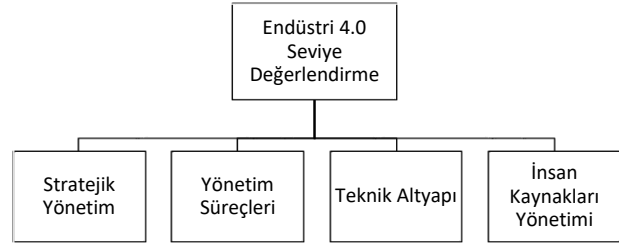


4.1. Seçim Kriterlerinin Belirlenmesi

Endüstri 4.0 kriterlerinin belirlenebilmesi için ülkemizde ve dünyada yapılan projeler, akademik yayınlar ve sektörel yayınlar detaylı bir biçimde incelenmiş ve özetlenmiştir. Bu detaylı incelemede ayrıca sektörün önde gelen yönetici ve akademisyenlerinden alınan görüşler de eklenmiştir. Endüstri 4.0 kavramının tüm detayları ile anlaşılması ve sürecin doğru olarak ölçülmesi konusunda temel bazı kriterler saptanmıştır. Kriterler belirlenirken dünya çapında yapılmış değerlendirme modelleri, oluşturulmuş standartlar ve ulusal araştırma raporları da detaylı olarak incelenmiştir. Geniş çapta bir literatür taraması yapılmış olup elde edilen detayların tüm sektörleri kapsayacak şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kriterler yapılan AHP uygulaması ile de ağırlılandırılmak istenmiştir. Böylece işletmeler üzerinde

yol haritası belirlerken öncelik verilecek adımlar daha doğru bir şekilde aktarılabilir.

Şekil 4. Endüstri 4.0 Değerlendirme Ana Kriterleri



Şekil 4'te AHP'ye konu olan ana kriterler paylaşılmıştır. Bu kriterler aşağıda sırası ile açıklanmıştır.

Stratejik yönetim, içerisinde firmanın endüstri 4.0 bakış açısını, inovasyon ve teknoloji yönetimini, liderlik özelliklerini ve yeni teknoloji rol haritasını içermektedir.

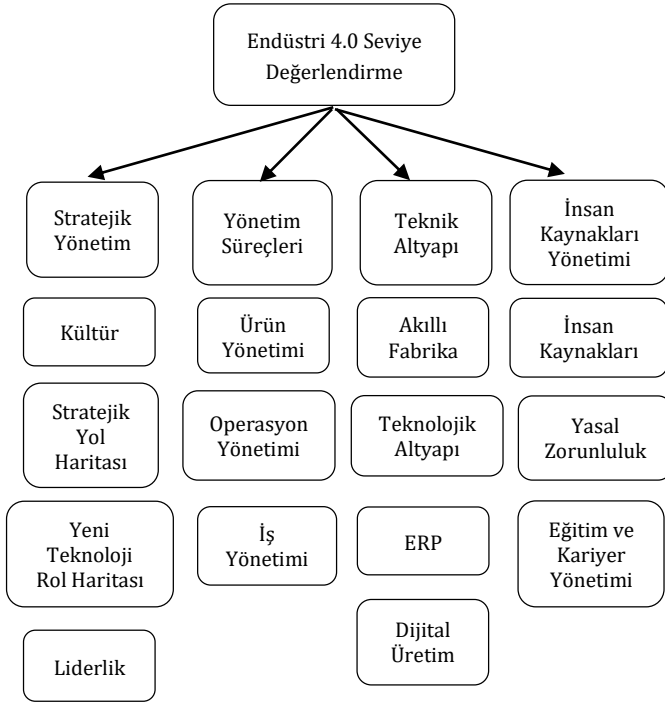
Yönetim Süreçleri, içerisinde operasyon, ürün ve iş süreçlerinin tüm detayları ile yeni sanayi devriminin özelliklerine uygun olarak aktarılmasını içermektedir. Şirketler tüm süreçleri ile yeni teknolojiye entegre olmalıdır.

Teknik Altyapı, içerisinde endüstri 4.0'ın 9 bileşeni olan mobil cihazlar, IoT, 3d yazıcılar, akıllı sensörler, akıllı fabrikalar, veri madenciliği, artırılmış gerçeklik, yapay zeka, bulut bilişim konuları içermektedir.

İnsan kaynakları içerisinde tüm kariyer planlama, eğitim, iş kanunları ve performans yönetimi başlıklarını içermektedir. Dördüncü sanayi devrimi sonrası operasyonel işlerde insanlar yerini makineler alacak olması nitelikli ve bilgisi yüksek personel ihtiyacını doğuracaktır. Bu sebeple tüm insan kaynakları yönetimi süreçleri kendini revize etmelidir.

Geniş çapta yapılan literatür taraması ve uzman görüşleri sonrası Şekil 5 'de görüldüğü gibi ana kriterler altında alt kriterler de oluşturulmuştur. Burada AHP veya benzeri bir metot kullanılarak tüm alt kriterler için ayrı ayrı değerlendirmeler ve oranlar yapılması literatüre büyük katkı sağlayacaktır. Biz çalışmamızda sektörde uzman kişilerden özellikle ana kriterleri ağırlıklandırma konusunda görüşlerini alıp analiz ettik. Alt kriterler de aslında üçüncü bir katman olarak en alt kritere inmektedir. Böylece değerlendirme çalışması çok daha etkili olabilecektir. Elde ettiğimiz kriterleri alt katmanlara indikçe değerlendirme daha başarılı sonuçlar gösterecektir. Ancak alt kriterler devreye alındığında değerlendirme modeli üzerinde işletmenin büyüklüğü, üretim tipi, bulunduğu sektör göz önüne alınarak bazı ek kural dizinleri ve elemeler yapılması gerekebilir. Özellikle Teknik alt yapı kriteri alt kriterleri sektör bazlı olarak düşünülüp detaylı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Şekil 5. Endüstri 4.0 Ana Kriterleri ve Alt Kriterler



4.2. AHP ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Analitik hiyerarşi süreci birden fazla amacın olduğu yerlerde karar verme konusunda destek olan bir yöntemdir. Çok sayıda alt amaç varsa, kriter sayısı fazla ise ikili mukayese için bu değerlendirme yapılır. Kriter sayısı fazla olduğunda kriterlerin etkileri eşit değilse ikili kıyaslama ile doğru bir karar verilmesi konusunda AHP kullanılır. Hiyerarşi oluşturularak, ikili karşılaştırmalar ile öncelik faktörleri hesaplanır.

Hiyerarşi oluşturmada kriterler karar verecek kişilere göre ikili gruplanır. Temel mantık kriterleri ikili karşılaştırma üzerine kuruludur. Karar kriterleri karşılaştırmasında Saaty nin oluşturduğu bir ölçek kullanılır. Bu ölçeğe göre 1 ile 9 arasındaki değerler ile kıyaslama yapılır. Tablo 1 de ikili karşılaştırma ölçeği gösterilmiştir.

Tablo 1. İkili Karşılaştırma Ölçeği

Önem Değeri	Belirteç
1	Eşit derece
3	Daha Önemli
5	Kuvvetli Önemli
7	Çok Kuvvetli Önemli
9	Aşırı Derecede Önemli
2,4,6,8	Ara Değerler

Adım 1: Karar Verme Probleminin Tanımlanması

Öncelikle karar verme noktası belirlenir. İşlem kaç sonuç üzerinden yapılacak ve hangi faktörler kullanılacak ise en başta belirlenir. M kadar karar noktası ve n kadar faktör olduğu kabul edilir. İkili kıyaslama bu hesaplamaların doğru

yapılmasına bağlıdır.

Adım 2: Faktörler Arası Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması

Faktörler arası karşılaştırma matrisi $n \times n$ boyutlu bir matrisden oluşur. Köşeye değeri 1 olarak hesaplanır.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Karşılaştırma matrisi bileşenleri $i=j$ olduğunda 1 değeri olur. Kıyaslama sahip olunan önem değerine göre birebir ve karşılıklı olur.

Bir örnek vermek gerekirse $i=1, j=3$ değeri ise sonuç 3 değeri olacaktır. Aksi durum uygulandığında bu oran 1/3 olacaktır.

Kıyaslama köşegen olan 1 değeri üstünde kalan alan için yapılır.

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (2)$$

Denklemden gösterilen değerler dikkate alınır karşılaştırma matrisi $i=1, j=3$ için 3 değeri alırsa, $i=3, j=1$ için de 1/3 değeri olacaktır.

Adım 3: Faktörlerin Yüzde Önem Dağılımları Belirlenir

Kıyaslama yaparken önem ağırlıkları hesaplamak için sütun vektörü kullanılır. N adet ve n bileşen içeren B sütun vektörü bu hesaplamaya yardımcı olur.

Aşağıda bu vektör gösterilmiştir:

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

B sütun vektörlerinin hesaplanmasında (2) formülünden yararlanılır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (4)$$

Örneğin değerlendirme faktörlerinin birbirleriyle karşılaştırılmalarını gösteren A karşılaştırma matrisi aşağıdaki gibi tanımlanmışsa ve B_I vektörü hesaplanmak isteniyorsa

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 5 \\ 3 & 1 & 4 \\ 1/5 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

bu durumda B_I vektörünün b_{11} elemanı, $b_{11} = \frac{1}{1+3+0,2}$

olarak hesaplanacaktır. Benzer olarak B_I vektörünün diğer elemanları hesaplandığında, vektör aşağıdaki gibi elde edilir ve sütun vektörü bileşenlerinin toplamı 1'e eşit olduğu görülecektir.

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0,238 \\ 0,714 \\ 0,048 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Faktörler sayısı kadar sütun vektörü olması beklenmektedir. N adet B sütun vektörü bir araya getirilerek C matrisi oluşur.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nm} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Yukarıdaki örnek göz önüne alındığında C matrisi aşağıdaki gibi oluşur.

$$C = \begin{bmatrix} 0,238 & 0,210 & 0,500 \\ 0,714 & 0,632 & 0,400 \\ 0,048 & 0,158 & 0,100 \end{bmatrix} \quad (8)$$

C matrisinden yararlanarak, faktörlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımları elde edilebilir. Bunun için C matrisini oluşturan satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınarak formül (9) da gösterildiği gibi öncelik vektörü W sütun vektörü elde edilir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (9)$$

W vektörü aşağıda gösterilmiştir.

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (10)$$

Örnek incelendiğinde vektörün elemanları hesaplaması için aşağıdaki denklem kullanılır. Burada ilk faktör ağırlığı 0,32 olarak bulunmuştur. Matrisdeki diğer değerler de sırasıyla diğer oranları vermektedir.

$$W = \begin{bmatrix} \frac{0,238+0,210+0,500}{3} \\ \frac{0,714+0,632+0,400}{3} \\ \frac{0,048+0,1580+0,100}{3} \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} 0,32 \\ 0,58 \\ 0,10 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Adım 4: Faktör Kıyaslamalarındaki Tutarlılığın Ölçülmesi

AHP sonuçları doğru olup olmaması konusunda bir tutarlılık ölçümü yapılmalıdır. AHP tutarlılık oranı CR verilen bir değer ile hesaplanır. Burada hem hesaplama doğruluğu hem de karar vericinin kıyaslama yaparken ne kadar doğru karar verdiği incelenir. λ' nin hesaplanması için öncelikle A karşılaştırma matrisi ile W öncelik vektörünün matris çarpımından D sütun vektörü elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (12)$$

D sütun vektörü ile W vektörü karşılıklı elemanlarının bölümünden her bir değerlendirme faktörüne ilişkin temel değer elde edilir. Bu değerlerin aritmetik ortalaması karşılaştırma için lamda değerini verir.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (i=1,2, \dots, n) \quad (13)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (14)$$

λ hesaplandıktan sonra Tutarlılık Göstergesi (CI), (15) formülünden yararlanarak hesaplanabilir.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (15)$$

Tutarlılık hesaplanmasında kullanılacak olan CI değeri, (RI) olarak simgelenen standart düzeltme oranına bölünerek formül (16) da görülen CR değeri elde edilir. RI değeri kriter sayısı (n) göz önüne alınarak tablo 2 de görülen faktör oranına karşılık gelen sayı seçilir.

Tablo 2. RI Değerleri

N	RI	N	RI
1	0	8	1,41
2	0	9	1,45
3	0,58	10	1,49
4	0,90	11	1,51
5	1,12	12	1,48
6	1,24	13	1,56

$$CR = \frac{C}{RI} \quad (16)$$

Hesaplanan tutarlılık değerinin (CR) 0.10 dan küçük olması karar verici tarafından yapılan karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir. CR değerinin 0.10' dan büyük olması durumunda hesaplama hatasını ya da karar vericinin karşılaştırmalarındaki tutarsızlığını gösterir.

Adım 5: Her Bir Faktör İçin, m Karar Noktasındaki Yüzde Önem Dağılımların Bulunması

Faktör açısından karar noktalarının önem derecesi matris işlemleri n kez tekrarlanır. G karşılaştırma matrisinde mxn boyutlu olacaktır. Mx1 boyutlu matrisler üzerinden karar noktalarına göre yüzde oranları veren S sütun vektörleri hesaplanır.

$$S_i = \begin{bmatrix} s_{11} \\ s_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ s_{m1} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Adım 6: Karar Noktalarındaki Sonuç Dağılımının Bulunması

S sütun vektöründen meydana gelen ve mxn boyutlu K karar matrisi oluşturulur. Karar matrisi aşağıda tanımlanmıştır:

$$K = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \quad (18)$$

W sütun vektörü işlem gördükten sonra m elemanlı L sütun vektörü elde edilir. Karar noktalarının yüzde dağılımı ve önem sırası bu şekilde hesaplanarak bulunur.

$$L = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} \\ l_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ l_{m1} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Yapılan analiz ve hesaplama sonrasında Tablo 3 te görülen değerler elde edilmiştir. CR oranı da yukarıda belirtildiği şekilde 0.11 olarak hesaplanmış, dolayısı ile sonuçların başarılı ve tutarlı olduğu görülmüştür. Tablo 3 te daha önce belirlenen 4 ana kriterin ağırlıkları hesaplanarak gösterilmiştir. Araştırma başlangıcında insan kaynakları ve yönetim süreçleri ile ilgili başlıkların değerlendirme içerisinde çok daha düşük değerler alacağını düşünülmüş olmasına rağmen uzman görüşleri değerlendirildiğinde bu iki kriterin de çok daha yüksek öneme sahip olduğu tespit edilmiştir. Teknik altyapı değeri beklenildiği gibi yüksek öneme sahip ve belirleyici bir kriter olarak görülmektedir.

Tablo 3. AHP Değerlendirmesi Sonrası Kriter Ağırlıkları

	Kriterler (C _i)	Ağırlık (w _i)
1	Stratejik Yönetim	0,19
2	Yönetim Süreçleri	0,23
3	Teknik Altyapı	0,40
4	İnsan Kaynakları Yönetimi	0,18

5. Hizmet Sektörüne Yönelik Yol Haritası

Günümüz dünyasında ülkelerin belirleyici lokomotifleri eskisi gibi sanayi ve finans ağırlıklı sektörlerden Ar-Ge inovasyon ağırlıklı bilişim teknolojisi hizmetleri üreten firmaların yükselişte olduğu görülmektedir. Özellikle bilişim sektöründeki firmaların diğer sektörlerle oranla her alanda görülen etkileri ile çok daha hızlı büyüdüğü açıktır. Hem üretim hem de hizmet sektöründe ki firmalar rekabetin en yüksek noktalara ulaştığı ortamda yatırımlarını en doğru şekilde planlamak ve kaynaklarını verimli kullanmak zorundadırlar. Endüstri 4.0 felsefesi ile birlikte mevcut üretim içerisinde işsizliğin artacağı korkusu yaşansa da ister istemez toplumsal bir dönüşümün yaşandığı yüksek teknoloji üretime katkısı bulunacak alanlarda eğitilmiş iş gücü artacaktır. Değişen bu yapı içerisinde artık insanlar sürekli kendini tekrar eden verimsiz operasyonel işlerde zaman geçirmeyip kendi yaratıcılık ve yeteneklerini keşfettikleri daha yüksek nitelikli işlerde çalışmayı tercih edeceklerdir. Hizmet sektöründe de bu değişim tüm hızıyla öncelikle hizmet kalitesini artırarak mobil uygulamaların etkili olacağı bir hizmet anlayışı ortaya çıkacak ve hizmetin boyutu müşteriye verdiği erişim imkanı ile ölçülecektir.

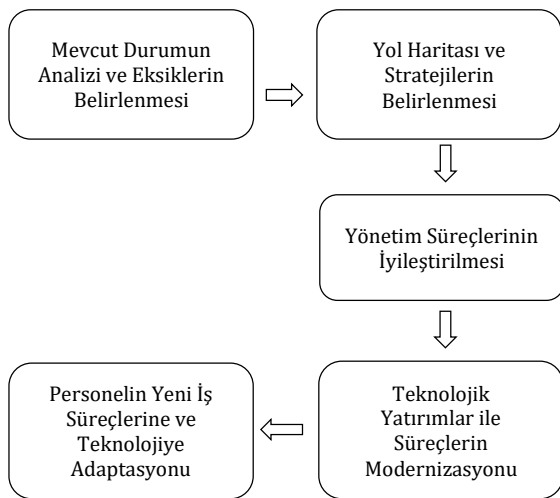
Endüstri 4.0 felsefesi odağında, hizmet sektörü için bir yol haritası oluşturulabilmesi için tanımlanan 4 ana kriter ile

yapılan analizlerde hizmet sektöründe yer alan işletmelerin bu kapsamda sahip olması gereken nitelik ve izlenmesi gereken süreçler şu şekilde özetlenmiştir;

- (i) İşletmenin misyonu, vizyonu ve hedefleri doğru şekilde tanımlanmış, stratejik planında teknoloji yönetimi ve Ar-Ge inovasyon ve entelektüel birikimi ön plana çıkarmış kurum kültürünü benimsemiş olmalıdır.
- (ii) Geliştirilen süreç ve ürünler müşteri talepleri doğrultusunda çeşitlendirilebilir ve kişiselleştirilebilir olmalıdır.
- (iii) Operasyonlar kalite süreçleri ve ürün/hizmet maliyetleri optimum değerlerle ilerlemelidir.
- (iv) Bilgi güvenliği, veri entegrasyonu, büyük veri analizi konularında çalışmalar yapılmalıdır.
- (v) Ürünler ve süreçler benzetim teknikleri kullanılarak önceden tasarlanmalı ve test edilmelidir.
- (vi) Yeni iş modelleri oluşturulmalı ve tüm iş süreçleri tek elden yönetilmelidir.
- (vii) Müşteriye mobil erişim ve personelin mobilite kabiliyeti mümkün oldukça fazla olmalıdır.
- (viii) Endüstri 4.0 ile hayatımıza giren tüm yeni teknolojileri doğru bir şekilde analiz etmeli ve hizmet verilen alanlarda ilgili uygulamalar devreye alınmalıdır.
- (ix) İnsan Kaynakları yönetiminde personel söz sahibi edilmeli, kişilerin yaratıcılığı ön plana çıkaracak bir çalışma ortamı hedeflenmelidir.

Pazarlama süreçlerinde müşteri veri analizi, artırılmış gerçeklik gibi yeni teknolojilerden mutlaka faydalanılmalıdır.

Şekil 6. Endüstri 4.0 Dönüşüm Adımları



Şekil 6'de görüleceği üzere sektör ve işletme fark etmeksizin etkin ve verimli süreçlere sahip olmak için doğru strateji, doğru yönetim anlayışı ve doğru teknoloji seçimi büyük önem taşımaktadır. Personelin süreçlere ve yeni teknolojiye hızlı uyumu ile işletmenin rekabet gücünü artırarak

işletmenin büyüme hızı ve karlılığı artacaktır. Endüstri 4.0 sadece üretim ve ticareti değil tüm sosyal yaşamı etkileyecek büyük bir değişimdir. Eğitim sistemi, hukuk sistemi ve insanların gündelik yaşamları bu etkili sürecin getirdiği parametrelerden etkilenecektir.

6. Endüstri 4.0 Sonrasında İş Yaşamı

Bu araştırma sonucunda elde edilen bilgilere göre endüstri 4.0 ile ilgili gelişmelerin iş yaşantısını ve meslekleri büyük oranda değiştirme eğilimini göstermiştir. İşsizliğin yükseldiği dönemlerde işsizlik korkusu ile toplumda birçok alışkanlıkların ve eğilimlerin değiştiği görülmüştür. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde bu durum çok daha etkileyici bir hal alabilmektedir. Endüstri 4.0 sonrasında operasyonel süreçlerin otomasyona dönüşmesi ile ucuz iş gücü ile beslenen ekonomilerin büyük bir darbe alacağı düşünülmektedir. Özellikle insan gücüne dayalı üretim tüm dünya üzerinde hızla gerilemektedir. Emeğe dayalı imalat işlerinin kaybolması yetmezmiş gibi gittikçe daha verimli hale gelen tarım teknikleri ile tarım işçilerinin zor durumda bırakabilecektir. En kötü senaryo ile ekonomik belirsizlik, artan kıtlık ve gıda fiyatlarının etkileri sosyal ve siyasi istikrarsızlıklara yol açabilecek olmasıdır.

Gelişmekte olan yeni teknolojiler ülkelerin ekonomilerini ve dolayısı ile ülkeleri kaosa sürükleyen bir yapıda olması izin verilmeyip teknolojinin sunacağı fırsatların doğru kullanılması hedeflenmelidir. İstihdam politikalarının doğru yapılması, genç bireylerin değişen teknoloji konusunda daha iyi eğitilmiş olmalarını sağlamaktadır. Endüstri 4.0 in getirdiği yeniliklerin insanları umutsuzluğa ve işsizliğe değil daha yüksek refah ve gelişmişlik düzeyine getirmesi amaçlanmalıdır. İnsanların operasyonel iş süreçlerinde kendilerini geliştirmeden yaşamlarına engel olup çok daha girişimci, yenilikçi ve kendi yeteneklerini geliştirmekte olan bireyler üzerinden bir toplum kurulması hayal edilmelidir.

İmalat sektöründe uzmanlaşmış kişilere göre, başarılı bir dijital dönüşüm için tek seferlik basit bir teknoloji uygulamalarının yeterli olamayacağı, çalışanların faydalarını en üst seviyeye çıkarmak için yeni teknolojik dinamiklerini anlama yeteneğinin kazanılması önemlidir. Örneğin, ilişkisel veritabanları, basit bir Excel dosyalama sisteminden büyük bir veri analitiği sunucusuna geçmek isteyen üreticiler için temel sağlayabilir. Bu dönüşüm basit gibi görülmese de potansiyel olarak müşterileri için yeni hizmetler ve çözümler getirmektedir. Ancak, doğru bilgi olmadan yapılan uygulamalar ile teknolojiler yalnızca faydasız miktarda veri sağlayabilmektedir. Herhangi bir teknolojinin uygulanmasını en üst düzeye çıkarmak için, şirketlerin bütünü görerek doğru soruları sorabilecek yetenekli bireylerin istihdamını getirecektir.

Her üretici verilerini kendi yöntemiyle kullanır. Ancak, büyüme potansiyelleri kullanım verimliliğine bağlıdır. Üreticiler için Büyük Veri ve Yapay Zeka teknolojilerinin kullanılması, doğru soruları sormalarına ve en gerçekçi çözümleri sunmak için çok sayıda yapılandırılmamış veri kullanmalarına izin vermelidir. Aslında, sadece veri

işlemede zaman kazanmak değil, aynı zamanda insan beyninin kapasitesinin ötesinde analizin doğruluğunu ve kalitesini artırmakla da ilgilidir. Bir imalatçı şirketin yöneticileri, iş veya üretim süreçlerini etkileyecek değişikliklere dahil olan tek kişi olmamalıdır. Çalışanların katılımı, değişimin ön saflarında yer aldıkları için çok önemlidir. İşçiler ve yöneticiler, robotların, büyük verilerin ve yapay zekanın kullanılmasının sektörlerde istihdamı büyük oranda etkileyeceğini düşünmektedir. Etkili bir işbirliği oluşturmak için tüm çalışanların dijital dönüşüm projelerinin uygulanmasında yer alması ve şirketin geleceği içindeki yerini anlaması önemlidir. Çalışanlar ve robotlar arasındaki başarılı işbirliği, fabrikaların daha çevik ve dolayısıyla daha rekabetçi ve daha üretken olmalarını sağlamak için anahtar değişimlerdir. Üstelik, robotlar için çoğu ile başa çıkabiliyor olmasına rağmen yine de insanların gözetiminde olması kaçınılmazdır. Fabrikalarda üretim işleri kaçınılmaz olarak köklü değişiklikler yaşanacak fakat insan faktörü hiçbir zaman yok olmayacaktır. Süreçler daha yetenekli sonuçlar üretecek, doğru soruları sormaya ve büyük sorunları tanımlamaya odaklanacaktır. Büyük verinin etkili kullanılabilmesi için daha fazla insan işgücüne ihtiyaç duyacaktır. Şirketlerde ki insan kaynakları yöneticileri gelecekte ihtiyaç duyulacak yeni beceri ve yetenekler gerektiren işler için yeni pozisyonlar tanımlamalıdır. Yeni çalışma yöntemleri geliştirilmeli ve bu süre zarfında, üretim aksatılmadan çalışmalar devam etmelidir.

7. Sonuç ve Değerlendirme

Yapılan geniş literatür çalışması ve uzman görüşleri alındığında Endüstri 4.0 yaklaşımı sadece teknolojik gelişmelerden ibaret olmadığı tespit edilmiştir. Endüstri 4.0 da başarılı olabilmek için firmaların stratejik yönetimlerinin, iş süreçlerinin ve insan kaynakları yönetimlerinin de Endüstri 4.0'a uygun olması gerekmektedir. Stratejik Yönetim ve Yönetim süreçleri kriterlerinin toplamda teknolojik altyapı kadar etkili olduğu görülmüştür.

İşletmelerin belirlenen bu dört ana kriterler kapsamında kendilerini dönüştürmeleri beklenmektedir. Gelecekte fabrikalar tüm üretim bileşenlerini (robotlar, sensörler, makineler, konveyörler vb.) içeren ve yönetebilen bir yapıda olmalarına ek olarak ürün tasarımı, üretim süreci, üretim planlaması gibi tüm süreçleri uçtan uca kontrol edecek bir yapıda olması sağlanacaktır. Akıllı fabrikalar denilen tüm süreçlerin merkezi bir şekilde uçtan uca kontrol edilmesi için gerekli teknolojik ve yönetsel değişimler sağlanacaktır. En önemli kriter ise eksiksiz bir iletişim ağına sahip olmalarıdır. Tüm tedarikçiler ve bileşenler birbirine entegre ve iletişim halinde olacaktır. İsrar Endüstri 4.0 için kabul edilemez bir unsurdur. Maliyetler, çevre kirliliği, hammadde sorunu gibi başlıkların da çözümleneceği öngörülmektedir. Endüstri 4.0 seviyesindeki kuruluşlar piyasada müşteri memnuniyetini maksimum noktaya getirecek yüksek performanslı rekabet ortamı oluşturacaktır.

Endüstri 4.0 ürün özelliklerini ve müşteri bakış açısını da tamamen değiştirecektir. Ürünler teknolojik olarak

kullanıcıya zengin veri akışı sağlayan, geleceğe yön veren özellikler taşıması beklenmektedir. Yapılan literatür çalışmasında yeni ürün bakış açısının akıllı teknolojiler etkisiyle müşteriye anlık bilgi paylaşımı, geçmiş kullanım tecrübelerini analiz etme, kullanıcı hatasına engel olma gibi bazı özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Bir önceki Endüstri çağında başlamış olan ürün kişiselleştirme özelliği Endüstri 4.0 ile çok daha üst noktaya ulaşacaktır. Artık aynı ürün üzerinde her bir müşteri için binlerce farklı tasarım özelliği ve ürün özellik kombinasyonları yer alacaktır. Müşteriler binecekleri arabaları, giyecekleri kıyafetleri istedikleri gibi değiştirebilmeye sahip olacaklardır. Ürün rekabetçiliğinin ürün maliyeti ve kalitesinden çok ürün üzerindeki değişikliklere imkan vermesi, ürünün müşteri beklentisini karşılaması konusuna yoğunlaşacağı ön görülmektedir.

Bu çalışmada Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanarak endüstri 4.0 dönüşümün değerlendirilmesini sağlayacak kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Analiz edilen değerler istenilen güven aralığında olduğu hesaplanmış olup çıkan sonuçlar değerlendirme ve karar verme sürecinde etkili olması beklenmektedir. Kriter ağırlıklarını alt kriter değerlerini de içeren daha detaylı bir çalışma ile belirlemek daha ayrıntılı değerlendirmeler sunması açısından önemli sonuçlar verebilecektir.

Kaynakça

- Adeyeri, S., Kanisuru, M., Khumbulani, M., & Olukorede, T. (2015). Integration of agent technology into manufacturing enterprise: A review and platform for industry 4.0. In: *Proceedings of the 2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Dubai, United Arab Emirates*, 1625-1635.
- Amatoa, F., & Moscato, F. (2017), Exploiting cloud and workflow patterns for the analysis of composite cloud services. *Future Generation Computer Systems*, 67, 255-265.
- Angeles, R. (2005). RFID technologies: Supply-chain applications and implementation issues. *Information systems management*, 22, 51-65.
- Ângelo, A., Barata, J., da Cunha, P. R., & Almeida, V. (2017). Digital transformation in the pharmaceutical compounds supply chain: Design of a service ecosystem with e-labeling. In *European, Mediterranean, and Middle Eastern Conference on Information Systems*, 307-323.
- ARIZ (2017). Human-machine cooperation in Industry 4.0. (Erişim: 30.08.2018), <https://www.festo.com/group/en/cms/12690.htm>
- Badawi, H., Dong, H., & El Saddika, A. (2017). Mobile cloud-based physical activity advisory system using biofeedback sensors. *Future Generation Computer Systems*, 66, 59-70.
- Bagheri, B., Yang S., Kao, H. A., & Lee, J. (2015). Cyber-physical systems architecture for selfaware machines in industry 4.0 environment. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1622-1627.

- Baheti, R., & Gill, H. (2011). Cyber-physical systems. *The impact of control technology*, 12, 161-166.
- Baygin, M., Yetis, H., Karakose, M., & Akin, E. (2016). An effect analysis of industry 4.0 to higher education. *15th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, July 10-12, 2017, Ohrid, Macedonia.
- Bellini, P., Bruno, I., Cenni, D., & Nesi, P. (2017). Managing cloud via smart cloud engine and knowledge base. *IEEE 8th International Conference on Cloud Computing*, 27 June-2 July 2015, New York, USA.
- Biral, A., Centenaro, M., Zanella, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2015). The challenges of M2M massive access in wireless cellular networks. *Digital Communications and Networks*, 1(1), 1-19.
- Bourke, R., & Mentis, M. (2014). An assessment framework for inclusive education: integrating assessment approaches. *Assesment in Education*, 21(4), 384-397.
- Chen, T., & Chiu, M. (2017). Development of a cloud-based factory simulation system for enabling ubiquitous factory simulation. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 45, 133-143.
- Elmangousha, A., Coricib, A., Steinkeb, R., Coricib, M., & Magedanz, T. (2015). A framework for handling heterogeneous M2M traffic. *Procedia Computer Science*, 63, 112-119.
- ENTOC (2017). *Behaviour models of components for virtual commissioning*. (Erişim: 30.08.2018), <https://www.festo.com/group/en/cms/12827.htm>
- Erol, S., Jäger, A., Hold P., Ott, K., & Sihm, W. (2016). Tangible industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. *Procedia CIRP*, 54, 13-18.
- Fallera, C., & Feldmüllera, D. (2015). Industry 4.0 learning factory for regional SMEs. *The 5th Conference on Learning Factories*, 32, 88-91.
- Filippi, S., & Barattin, D. (2012). Classification and selection of prototyping activities for interaction design. *Intelligent Information Management*, 4, 147-156.
- Foehr, M., Vollmar, J., Calà, A., Leitão, P., Karnouskos, S., & Colombo, A., W. (2017). Engineering of next generation cyber-physical automation system architectures. In *MultiDisciplinary Engineering for Cyber-Physical Production Systems*, 185-206. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56345-9_8.
- Forti, T., & Munteanub, V. (2017). Topics in cloud incident management. *Future Generation Computer Systems*, 72, 163-164.
- Giasiranis, S., & Sofos, L. (2016). Production and evaluation of educational material using augmented reality for teaching the module of "Representation of the information on computers" in junior high school. *Creative Education*, 7, 1270-1291.
- Higashino, W., Capretz, M., & Bittencourt, L. (2017). CEPsim: Modelling and simulation of complex event processing systems in cloud environments. *Future Generation Computer Systems*, 65, 122-139.
- I4MTS (2016). *From Industry 4.0 to Digitising Manufacturing An End User Perspective*. (Erişim: 30.08.2018), <http://www.the-mtc.org/pdf/Industry-4-Report-2016-e.pdf>
- Jararweha, Y., Al-Ayyoub, M., Darabseh, A., Benkhelifa, E., Vouk, M., & Rindos, A. (2017). Software defined cloud: Survey, system and evaluation. *Future Generation Computer Systems*, 58, 56-74.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative industry 4.0: Final report of the industry 4.0 working Group. *Cloud based health system, Computer Science*, 18, 989-1000.
- Koseleva, N., & Ropaite, G. (2017). Big data in building energy efficiency: understanding of big data and main challenges. *Procedia Engineering*, 172, 544-549.
- Kurth, M., & Syleyer, C. (2016). Smart factory and education, *IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 5-7 June 2016, Hefei, China, 110-119.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. (2015). A cyber systems architecture for Industry 4.0 based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
- Li, Z., Shen, H., Li, H., Xia, G., Gamba, P., & Zhang, L. (2017). Multi-feature combined cloud and cloud shadow detection in GaoFen-1 wide field of view imagery. *Remote Sensing of Environment*, 191, 342-358.
- MetamoFAB (2017). *Metamorphosis to intelligent and networked factory*. (Erişim: 30.08.2018), <https://www.festo.com/group/en/cms/10275.htm>
- Nawrocki, P., & Reszelewski, W. (2017). Resource usage optimization in mobile cloud computing. *Journal Computer Communications*, 99, 1-12.
- Nuñez, D., Fernández, G., & Luna, J. (2017). Cloud System. *Procedia Computer Engineering*, 62, 149-164.
- Ojha, T., Misra, S., & Raghuvanshi, N. (2017). Sensing-cloud: Leveraging the benefits for agricultural applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 135, 96-107.
- Özkan, M., Al, A., & Yavuz, S. (2018). Uluslararası politika ekonomi açısından dördüncü sanayi-endüstri devrimi'nin etkileri ve Türkiye. *International Journal of Political Science & Urban Studies*, 6(2).
- Pan, M., & Kraft, M. (2015). Applying industry 4.0 to the Jurong Island Eco-Park. *Energy Procedia*, 75, 1536-1541.
- ParsiFAI (2017). *Intelligent foils for Industry 4.0*. (Erişim: 30.08.2018), <https://www.festo.com/group/en/cms/12002.htm>
- Peres, R., Parreira-Rocha, M., Rocha, A., Barbosa, J., Leitão, P., & Barata, J. (2016). Selection of a data exchange format for industry 4.0 manufacturing systems. In: *Industrial*

- Electronics Society*, 42nd Annual Conference of the IEEE, 23-26 Oct. 2016, Florence, Italy.
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenora, R. (2007). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. *Virtual Production*, 52, 173-178.
- Rashid, M., Riaz, Z., Turan, E., Haskilic, V., Sunje, A., & Khan, N. (2012). Smart factory: e-business perspective of enhanced ERP in aircraft manufacturing industry. In: *Proceedings of Technology Management for Emerging Technologies (PICMET'12)*, 29 July-2 Aug. 2012, Vancouver, BC, Canada, 3262-3275.
- Rosendahl, R., Schmidt, N., Lüder, A., & Ryashentseva, D., (2016). Industry 4.0 value networks in legacy systems. In: *Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)*, IEEE 20th Conference on 8-11 Sept. 2015, Luxembourg.
- Ruivo, P., Oliveira, T., & Neto, M. (2014), ERP post-adoption: value impact on firm performance. In: *Information Systems and Technologies (CISTI)*, 7th Iberian Conference on 20-23 June 2012, Madrid, Spain.
- Saaty, T.L., & Niemira, M.P. (2006). A framework for making a better decision. *Research Review*, 13, 1-100.
- Schouh, G., Gartzten, T., & Marks, A. (2015). Promoting work-based learning through Industry 4.0. *CIRP Conference on Learning Factorie*, 32, 82-87.
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihna, W. (2016). A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Reconfigurable & Virtual Production*, 52, 161-166.
- Sharma, A., & Gupta, S. (2014). Identifying the role of ERP in enhancing operational efficiency and supply chain mobility in aircraft manufacturing industry. In: *Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques* International Conference on, 7-8 Feb. 2014, Ghaziabad, India, 330-333.
- Shi, Y., Lin, L., Zhou, C., Zhu, M., Xie, L., & Chai, G. (2017). A study of an assisting robot for mandible plastic surgery based on augmented reality. *Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies*, 26(1), 23-30.
- Shrimali, R., Shah, H., & Chauhan, R. (2017). Proposed caching scheme for optimizing trade-off between freshness and energy consumption in name data networking based IoT. *Advances in Internet of Things*, 7, 11-24.
- Singh, A., & Chatterjee, K. (2017). Cloud security issues and challenges: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 79, 88-115.
- SMT (2017). *Smart Factory*. (Erişim: 30.08.2018), <http://www.asm-smt.com/en/asm-smt/smart-factory>
- Sogoti (2014). Industry 4.0 report. (Erişim: 30.08.2018), <https://www.fr.sogeti.com/globalassets/global/downloads/reports/vint-research-3-the-fourth-industrial-revolution>
- Stock, T., & Seliger, G. (2016), Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *School of Economy*, 40, 536-541.
- Strozzi, F., Colicchia, C., Creazza, A., & Noe, C. (2017). Literature review on the smart factory concept using bibliometric tools. *International Journal of Production Research*, 1-20.
- Sun, C. (2012). Application of RFID technology for logistics on internet of things. *Procedia Computer Science*, 1, 106-111.
- Tao, C., & Gao, J. (2017). On building a cloud based mobile testing infrastructure service system. *Journal of Systems and Software*, 124, 39-55.
- Tekez, E., & Taşdeviren, G. (2016). A model to assess leanness capability of enterprises, *Procedia Computer Science*, 100, 776-781.
- TUBİTAK (2016). Endüstri 4.0 yeni sanayi devrimi yol haritası, 3-4 Kasım 2016. Ankara: Tubitak.
- Tuncel, C., & Polat, A. (2016). Sectoral system of innovation and sources of technological change in machinery industry: an investigation on Turkish machinery industry. *Innovation and Business Management*, 229, 214-225.
- TUSIAD (2016). *Tusiad industry 4.0 in Turkey as an imperative for global competitiveness an emerging market perspective*. (Erişim: 23.05.2017), http://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/download/7848_180faab86b5ec60d04ec929643ce6e45
- Vallsa, M., Calva, C., Puenteb, J., & Alonsob, A. (2017). Adjusting middleware knobs to assess scalability limits of distributed cyber-physical systems. *Computer Standards*, 51, 95-103.
- Wang, X., Zhu, Y., Ha, Y., Qui, M., Huang, T., Si, X., & Wu, J. (2017). An energy-efficient system on a programmable chip platform for cloud applications. *Journal of Systems Architecture*, 76, 117-132.
- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular multi-vendor. *Production Systems*, 48(3), 579-584.
- Xinga, Y., Malcolm, R., Hornera, W., El-Harama, M., & Bebbingtonb, J. (2009). A framework model for assessing sustainability impacts of urban development. *Accounting Forum*, 33(3), 209-224.
- Yusof, M., Othman, M., Omar, Y., & Yusof, M. (2013). The study on the application of business intelligence in manufacturing: A review. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 10(1), 317-324.
- Zarte, M., & Pechmann, A. (2016). Building an Industry 4.0-compliant lab environment to demonstrate connectivity between shopfloor and IT levels of an enterprise. *Industrial Electronics Society*, IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE, 23-26 Oct. 2016, Florence, Italy.