





IMPULS Kriterleri ile Endüstri 4.0 Eğiliminin Değerlendirilmesi: Bir Bulanık Bilişsel Harita Uygulaması

¹Alper Kiraz, ¹Onur Canpolat, ^{*}Enes Furkan Erkan, ¹Özer Uygun

¹Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü

kiraz , onurcanpolat , eneserkan , ouygun@sakarya.edu.tr 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 03.08.2017

Kabul Tarihi: 31.05.2018

Öz

Küresel rekabet teknolojiye dayalı üretimi bir zorunluluk haline getirdiği için Endüstri 4.0'ın kavramsal ve pratikteki karşılığının doğru anlaşılması büyük önem arz etmektedir. Endüstri 4.0 geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla daha esnek, daha verimli ve daha kaliteli bir üretimin gerçekleşmesine imkan sağlayan ve teknolojik gelişmelere dayalı üretim biçimindeki devrimsel gelişmeleri ifade eder. Ancak Endüstri 4.0 ile ilgili çalışmalar konunun anlaşılması açısından henüz yeterli açıklayıcılığa sahip değildir. Firmaların Endüstri 4.0 seviyelerini belirlemeye yönelik literatürde birkaç çalışma olmasına rağmen, gelecekte bu seviyenin nasıl bir seyir izleyeceği konusunda fikir veren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı firmaların Endüstri 4.0 seviyelerini öngöreceği bir model oluşturulmasıdır. Çalışmada IMPULS modeli kriterleri ve Bulanık Bilişsel Haritalama(BBH) yöntemi kullanılarak Endüstri 4.0 seviyesini öngören bir model geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Bulanık Bilişsel Haritalar, Stratejik Yönetim

Assessing Industry 4.0 Tendency with IMPULS Criteria: A Fuzzy Cognitive Map Application

Abstract

The correct understanding of the conceptual and practical content of Industry 4.0 is of great importance since global competition necessitate technology based manufacturing. Industry 4.0 refers to revolutionary developments in the form of production based on technological developments that allow for more flexible, more efficient and higher quality production than conventional production methods. However, Industry 4.0 studies have not yet reached sufficient expositional level in regard to the context. Despite the fact that there are a few studies in the literature on how to determine the Industry 4.0 levels of companies, no study is found about suggesting how this level will change in the future. The aim of this study is to propose a model that will predict the companies' existing and anticipated Industry 4.0 levels. In the study, a model that predicts the Industry 4.0 level was developed using the IMPULS model criteria and the Fuzzy Cognitive Maps method.

Keywords: Industry 4.0, Fuzzy Cognitive Maps, Strategic Management

1.GİRİŞ

Endüstri 4.0, nesnelerin interneti, büyük veri, bulut bilişim, yapay zeka, siber fiziksel sistemler, yenilikçi sensörler, 3D yazıcılar, robot, otomasyon gibi gelişen teknolojiler sayesinde ağ üzerinden birbirine bağlanan insanlar, makineler, ekipmanlar ve veri alışverişine dayanan etkileşimli sistemleri ifade eder. Geleceğin fabrikaları olarak nitelendirilen “insansız” ya da “zeki” fabrikalar oluşturabilmek adına, özellikle imalat teknolojileri başta olmak üzere işletmelerin bütünüyle gözden geçirilmesi ve internet odaklı bilişim sistemlerini günümüz şartlarına uygun

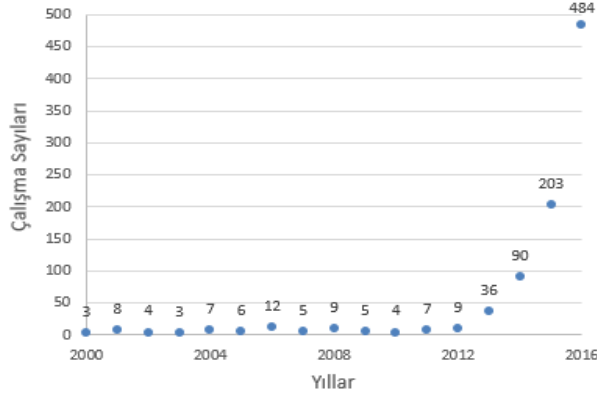
hale getirmesine odaklanan bir kavramdır. Endüstri 4.0 içerisinde bilgi ve iletişim teknolojileri ile gömülü sistemler, internet ve veri hizmetleri, geleceğin çözüm üretme süreçlerinin temel taşlarını oluşturmaktadır [1].

İşletmeler büyümeye devam ettikçe üretim ve tüketim miktarları artış gösterecektir. Bu artışı karşılayabilmek için daha düşük maliyetlere ve daha düşük işgücüne ihtiyaç duyulacaktır. Dolayısıyla, bu ihtiyaçları karşılayabilmek ve rekabet avantajı sağlayabilmek adına işletmelerin iş modelleri değişim gösterecektir. Bu noktada da, temelinde birbirleriyle anlık bağlantı ve iletişim halinde bulunan

*Sorumlu Yazar: Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, eneserkan@sakarya.edu.tr

yapıların sağladığı sürekli akış olan Endüstri 4.0 kavramı öne çıkmaktadır. Endüstri 4.0, esneklik, verimlilik, teknolojik ve kaliteli bir üretim gerçekleştirme hedefleriyle geleneksel üretim yöntemlerinin üzerinde büyük değişimler gerektiren bir olgudur.

Teknolojinin hayatımızdaki öneminin giderek artmasıyla birlikte bir zorunluluk olmaya başlayan teknolojiye dayalı üretim, işletmelere önemli ölçüde rekabet avantajı sağlayacaktır.



Şekil 1. Endüstri 4.0 konusunda yapılan akademik çalışma sayıları (Scopus Veritabanı, 01.08.2017)

Bu nedenle, artık geleneksel fabrika yerini akıllı fabrikaya, niteliksiz işgücü yerini, yüksek eğitim almış ve farklı becerilerle donatılmış vasıflı işgücüne, standart kitlesel üretim yerini ürün farklılaştırmasına ve Ar-Ge'ye, tek bir amaca hizmet eden üretim makineleri yerini, farklı işlevlere sahip ve esnek kullanım imkânı sunan geliştirilebilir akıllı makinalara, kısıtlı ve katı kontrol yerini, otomasyona dayalı sürekli izlenebilir esnek kontrol mekanizmalarına ve kısıtlı bilgiye dayalı üretim kararları yerini büyük veri setlerine dayanan simülasyonlar ve modelleme ile desteklenmiş geniş kapsamlı stratejilere bırakmaktadır. İşletmeler ve hatta ülkeler, bu yeni ve teknolojik dünyada hayatta kalabilmek için kendilerini bir takım değişimlere hazırlamak zorundalardır. Bu değişimlere ayak uyduramayan dev firmalar, endüstriler ve hatta ülkeler mevcut avantajlı konumlarını yitirmektedirler. Endüstri 4.0 devrimi sonucu yaşanan gelişmelere ayak uyduramayan ülkeler düşük katma değerli üretim, işgücü ve ekosistem kalitesinde düşüş, sanayide işsizlik baskısı, pazar payı kaybı ve küresel

rekabette konumunu kaybetmek gibi bir kısır döngüyle karşı karşıya kalırlar.

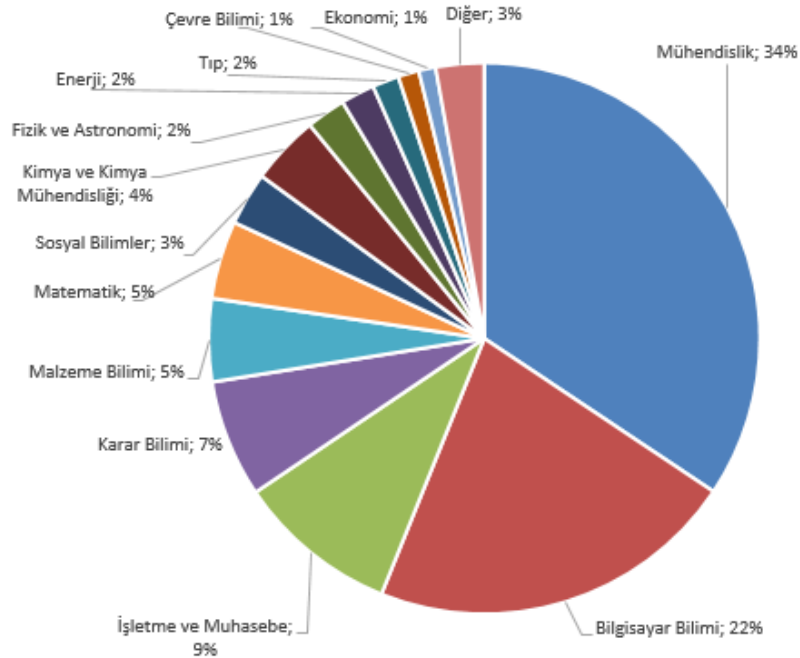
Endüstri 4.0 ile ilgili literatür incelendiğinde kavramın kendisiyle ilgili tam bir uzlaşma oluşmadığı söylenebilir. Bunun en önemli sebeplerinden birisi kavramın çok yakın bir tarihte ortaya çıkmış olmasıdır [2]. Endüstri 4.0, özellikle 2000'li yıllarda ivme kazanmaya başlayan bir kavramdır (Şekil 1).

Endüstri 4.0 kavramının, günümüzde farklı birçok disiplinde hem akademik çalışmalarda hem de sanayi uygulamalarında sıklıkla yer aldığı Şekil 2'de sunulmaktadır.

Kurumların Endüstri 4.0 olgunluk ya da yeterlilik seviyesini belirlemek amacıyla geliştirilmiş modeller Tablo 1'de gösterilmiştir [3].

Tablo 1. Endüstri 4.0 seviyesinin belirlenmesi konusunda var olan modeller

Modelin Adı	Kaynak	Değerlendirme Yaklaşımı
İmalat İşletmelerinin Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli (2016)	[3]	9 ana kriterden ve 62 alt kriterden oluşan bir değerlendirme modeli.
IMPULS (2015)	[4]	6 ana kriterden ve 18 alt kriterden oluşan bir değerlendirme modeli.
Endüstri 4.0 için Güçlenmiş Bir Uygulama Stratejisi (2016)	[5]	Endüstri 4.0 olgunluğunun bir süreç modelinin parçası olarak ele alınması ve hızlı bir şekilde kontrol edilmesi.
Endüstri 4.0 / Dijital Operasyonlar Öz Değerlendirme (2016)	[6]	6 kriter ışığında online öz değerlendirme sistemi.
Bağlantılı Kurumsal Olgunluk Modeli (2014)	[7]	Endüstri 4.0'ı gerçekleştirmek için 4 ana kriter altında 5 aşamalı teknolojiye dayalı bir değerlendirme yaklaşımı.
Endüstri 4.0 Olgunluk Modeli (2015)	[8]	3 ana kriterden ve 13 alt kriterden oluşan bir değerlendirme modeli.
Endüstri 4.0: Dijital İşletmeyi Kurmak (2016)	[9]	Endüstri 4.0 dijitalliğine ulaşılması için işletmelerin yapması gerekenler.



Şekil 2. Endüstri 4.0 çalışmalarının farklı disiplinlerdeki dağılımının grafiği (Scopus Veritabanı, 01.08.2017)

Endüstri 4.0 şirket, ürün ve hizmet çeşitlerinde devrim yaratacak ve çoğunlukla da yıkıcı yeni iş modellerinin uygulanmasına yol açabilecek bir potansiyele sahiptir. Bu değişikliğin boyutu muhtemelen firmaların ve bunların iş yaptıkları ülkelerin ulusal sınırlarını aşacaktır. Yaptıkları işin tam olarak ne anlama geldiğini anlayan ve kendi rekabetçi konumlarını analiz edebilen firmalar ancak bu değişimleri göğüsleyebilecektir. Dolayısıyla firmalar açısından Endüstri 4.0 seviyelerini belirlemek; öz değerlendirme yaparak uygulayacakları aksiyonlar için ihtiyaçlarını belirleyebilmek, rakipleriyle kendilerini kıyaslayabilmek ve gelecek plan ve stratejilerini doğru belirleyebilmek için büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, firmaların Endüstri 4.0 eğilimlerinin belirlenmesi için yukarıda bahsedilen 7 modelden IMPULS modeli kriterleri kullanılarak bir model önerilmiştir [4]. Önerilen modelde bulanık bilişsel haritalama metodu kullanılmıştır. IMPULS modeli Endüstri 4.0 olgunluk düzeylerinin belirlenmesinde öncü bir model olmakla birlikte, literatürdeki diğer modeller ile kıyaslandığında daha sağlam temellere oturmakta, veri yapısı ve sonuçları hakkında daha açık ve aydınlatıcı bilgiler sunmaktadır. IMPULS modeli “Strateji ve Organizasyon”, “Akıllı Fabrika”, “Akıllı Operasyonlar”, “Akıllı Ürünler”, “Veriye Dayalı Hizmetler” ve “Çalışanlar” olmak üzere 6 ana kriteri esas alarak geliştirilmiştir. Çalışmanın temel hedefi, farklı kriterler açısından firmaların incelenmesi sonucunda Endüstri 4.0’ın neresinde oldukları hakkında bir öngörü sunmaktır.

2.METOT

2.1 Bulanık Bilişsel Haritalar

Bilişsel Haritalar; düğümlerle ifade edilen kavramsal değişkenler ile bu düğümler arasında çizilen ve yer aldığı iki

düğüm arasında nedensel bir ilişki olduğunu gösteren linklerden oluşan yöneltmiş çizgilerdir [10].

Bulanık Bilişsel Haritalar ise 1986 yılında Bart Kosko tarafından ilk defa önerildiğinde konseptler arasındaki ilişkilerin bulanık olması gerektiğini belirterek bu alandaki gelişmeler başlatılmıştır [11].

Bulanık mantığın bilişsel haritalarda kullanılması bilişsel haritaların farklı alanlara daha kolay adapte edilmesini sağlamıştır. Kavramlar arası ilişkilerin sayısal ifadeler yerine bulanık kümelerle tanımlanması nitel bir model oluşturmakta ve uzmanların hassas sayısal ifadelerden kaçınarak uzmanlık alanındaki dili çok daha basit bir şekilde sisteme aktarmasını sağlamaktadır. Metodu ön plana çıkaran özellikler; sistemin denklemler yerine grafiksel olarak temsil edilmesi, sistemin tanımlanmasında günlük konuşma dilinin kullanılmasıdır. Bu özellikler metoda yabancı uzmanların metodu daha kolay ve doğru anlamasını sağlamakta ve metodun farklı alanlara uygulanabilme yeteneğini artırmaktadır [12].

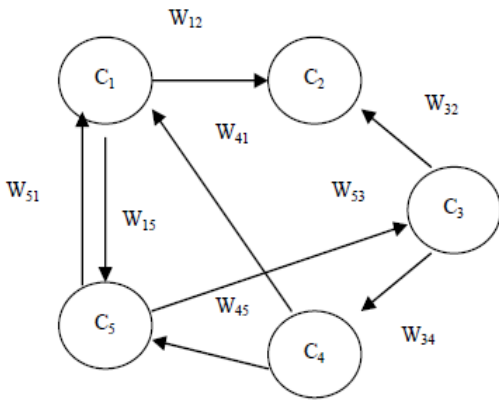
BBH, bulanık mantık ve bilişsel haritaların bir kombinasyonudur. Kompleks sistemler içindeki çoklu faktörler arasındaki nedenselliği belirten bir grafik yapısıdır. BBH, sistemi bir bütün olarak ifade edebilmektedirler. İlgili alandaki bilgi sahibi uzmanlardan görüşleri alınarak sistem haritası oluşturulur. Haritanın kapsamı etkileşimlerin gösterilmesidir. BBH’nın en büyük avantajı eksik bilgi ile çalışabilmesidir. Eğer koşullarda herhangi bir değişiklik olursa bu değişim kolayca sisteme yansıtılabilmektedir [13].

Bulanık Bilişsel Haritalar herhangi bir sistemi üç farklı özellik ile tanımlayabilmektedir;

- Nedensellik, pozitif ya da negatif ilişkileri gösterir.

- Nedensel ilişkilerin gücü, bulanık sayılarla ifade edilir.
- Nedensel ilişkiler dinamiktir. Bir düğümün etkisinin değişmesi diğer düğümleri de etkiler.

İlk özellik, sebep-sonuç ilişkisinin yönünü ve doğasını gösterir. İkinci özellik, bulanık bir sayı ya da sözel bir ifade atama yoluyla sebep-sonuç ilişkisinin gücünü ya da düğümler arasındaki bağlantının derecesini ifade eder. Üçüncü özelliğin sağladığı geribildirim mekanizması yardımıyla tüm düğümlerin dinamik ilişkileri izlenebilir ve böylece geçici ilişkiler de gözden kaçırılmamış olur [10].



Şekil 3. BBH yapısı

Şekil 3’de basit bir BBH yapısı gösterilmektedir. Oklar düğümler arasındaki nedenselliği göstermektedir. Okun ucundaki düğüm etkilenen faktörü göstermektedir. W, sistemdeki her faktör arasındaki ilişkinin ağırlığını göstermektedir. Ağırlık ile ilgili 3 durum olabilmektedir

- $W_{ij} > 0$; C_i ve C_j kavramsal değişkenleri arasında pozitif ilişki olduğunu gösterir, yani C_i düğümündeki artış/azalış C_j düğümünde de artış/azalışa neden olur.
- $W_{ij} < 0$; C_i ve C_j kavramsal değişkenleri arasında negatif ilişki olduğunu gösterir, yani C_i düğümündeki artış/azalış, C_j düğümünde zıt olarak azalış/artışa neden olur.
- $W_{ij} = 0$; C_i ve C_j kavramsal değişkenleri arasında ilişki olmadığını gösterir.

W_{ij} değeri, C_i kavramsal değişkeninin C_j kavramsal değişkenini ne kadar güçlü etkileyeceğini göstermektedir [14].

(Her C_i kavramsal değişkeni için A_i kavramsal değişken değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$A_i^{(k+1)} = f((2 \times A_i^{(k)} - 1) + \sum_{j=1, j \neq i}^N W_{ji} \times A_j^{(k)}) \quad (1)$$

Literatürde kullanımı yaygın olarak görülebilen 2 farklı dönüşüm veya diğer bir isimlendirilişi ile eşik fonksiyonu bulunmaktadır [11]. Bu fonksiyonlar BBH’da değerleri belirli aralıkta sabitlemek için kullanılırlar. Bunlar;

- $[0,1]$ değer aralığında çalışabilen ve λ parametresi ($\lambda > 0$) ile fonksiyon girişindeki değerin çıkışa hangi keskinlik ile verilebileceğinin ayarlanabildiği tek kutuplu sigmoid fonksiyonu:

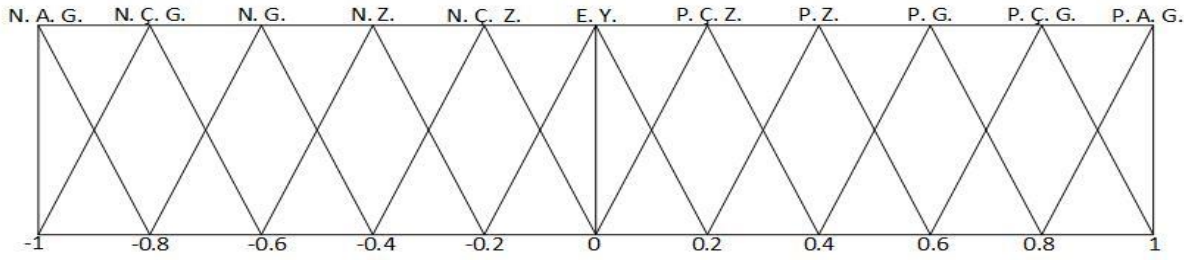
$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}} \quad (2)$$

- Kavramların alacağı değerlerin $[-1,1]$ aralığında olması yani kavram değerlerinin hem pozitif hem de negatif değerler alması istenirse tanh(x) fonksiyonu kullanılır hiperbolik tanjant fonksiyonu:

$$f(x) = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1} \quad (3)$$

Uzmanlar haritayı çizmeden önce, ilk olarak sistemi oluşturan bileşenleri yani kavramları belirler. Kavramlar karmaşık sistemlerin davranışını, amacını, olayların değerlerini gösterir. Kavram sayısı ve kavram adları uzmanların sistem üzerindeki deneyimlerini kullanması ile belirlenir. Her probleme özgü olarak kavramlar çıktı kavramları ve girdi kavramları olarak nitelenir. Çıktı kavramları, tüm sistemin durumunu yansıtan ana karakteristiği ve sistemin değerlendirildiği durumu temsil eder. Diğer kavramlar ise sistem aktivatörleri ya da sistemin iç kavramları olarak belirlenir [12].

İkinci olarak uzmanlar, kavramların değer olarak alacağı bulanık küme değerlerini ya da tam sayı değerlerini belirler. Uzmanlar sistem hakkında bilgi ve tecrübeye sahiptir ve sistemin elemanları arasındaki etkileşimi bilir. Uzmanlar kavramlar arasındaki nedensel ilişkinin varlığını belirledikten sonra bu etkinin pozitif mi negatif mi olduğunu ve bulanıklık derecesini belirler. Uzmanlar kavramlar arasındaki ilişkileri dilsel ifadelerle belirlemektedirler. Yani kavramlar arasındaki ağırlıklar bulanık yaklaşımı ile ortaya konulmaktadır [12]. BBH’da kavramlar arasındaki ağırlıkların dilsel değişkenlere dönüştürülmesinde bulanık üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Üyelik fonksiyonlarında, üçgensel ifadeler olabileceği gibi trapez, eğrisel vb. gibi fonksiyonlar da kullanılabilir. Kurulacak modelin hassasiyetine bağlı olarak üyelik fonksiyonlarındaki adımlarda daha küçük aralıklar kullanılabilir [14]. Bu çalışmada, Endüstri 4.0 eğilimini değerlendirmek için dilsel değişkenler ile değerlendirme yapısına uyumlu BBH kullanılmıştır. İlgili alandaki her uzman kendi görüşünü şekil 4’teki dilsel değişkenler ile belirtmiştir. Bu çalışmada onbir üyelik fonksiyonunu temsil eden dilsel değişkenler kullanılmıştır. Dilsel değişkenler üçgensel üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılmış olup, bulanıklaştırılan değerler “Negatif Aşırı Güçlü(NAG), Negatif Çok Güçlü (NÇG), Negatif Güçlü (NG), Negatif Zayıf (NZ), Negatif Çok Zayıf (NÇZ), Etkisi Yok(EY), Pozitif Çok Zayıf (PÇZ), Pozitif Zayıf (PZ), Pozitif Güçlü (PG), Pozitif Çok Güçlü (PÇG), Pozitif Aşırı Güçlü(PAG)” şeklinde dilsel ifadelerle dönüştürülmüştür.



Şekil 4. Dilsel değişkenlerin yapısı

2.2 BBH Çıkarım Algoritması

Sistem yapısı oluşturulduktan sonra, BBH algoritması aşağıdaki gibi çalıştırılır;

- Adım 1:** Mevcut sistem durumunu gösteren $A^{(k)}$ vektörü tanımlanır.
- Adım 2:** (1) ve (2) formülleri uygulanarak $A^{(k+1)}$ elde edilir.
- Adım 3:** Elde edilen $A^{(k+1)}$, bir sonraki iterasyonun yeni $A^{(k)}$ vektörüdür.
- Adım 4:** Adım 2 ve 3 $A^{(k+1)} - A^{(k)} < 0,001$ eşitliği sağlanana kadar tekrar edilir.

Her $A^{(k+1)}$ daha önceden uzmanlar tarafından tanımlanmış

olan $(k+1)$ zamanındaki sistemin durumunu göstermektedir.

3. UYGULAMA

Endüstri 4.0 seviyesinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada firmalar için geleceğe yönelik öngörü amacıyla bulanık bilişsel haritalama yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla ilk olarak Endüstri 4.0 seviyesinin belirlenmesinde kullanılacak kriterler tespit edilmiştir. Kriterlerin tespit edilmesi aşamasında literatür taraması yapılmış ve ilgili kaynaklardan en geniş kapsamlı ve bilimsel anlamda en sağlam temele oturan çalışma olan (IMPULS Industrie 4.0 Readiness)'tan yararlanılmıştır.

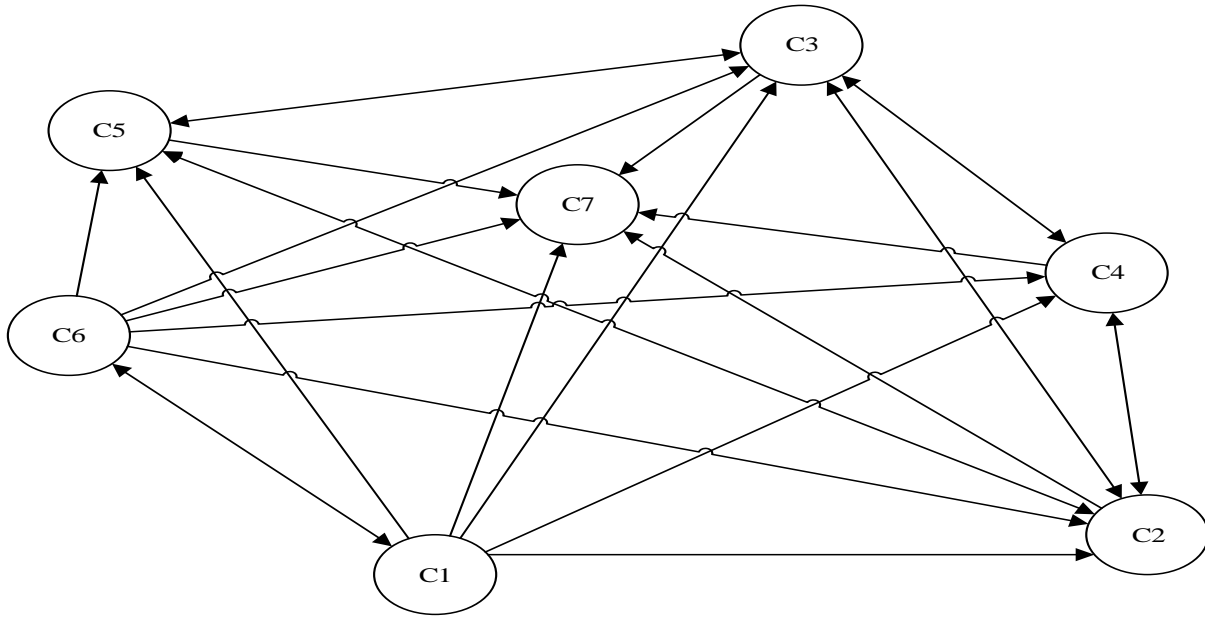
Tablo 2. Endüstri 4.0 eğilimi değerlendirme modeli konseptleri

Notasyon	Kriter İsmi	Açıklama
C1	Strateji ve Organizasyon	Endüstri 4.0 dönüşümünün gerçekleştirilmesi firmaların stratejileri ve organizasyon yapılarına bağlıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilecek yatırım faaliyetleri ile geliştirilecek ya da eklenecek teknoloji ve inovasyonlar hakkında alınacak kararlar için firmaların Endüstri 4.0 stratejisi geliştirmesi gerekmektedir. Firmaların mevcut organizasyon yapıları da bu stratejiyle uyumlu olmalıdır.
C2	Akıllı Fabrika	Üretim ve lojistik sistemlerinin büyük oranda insan müdahalesi olmadan kendini organize ettiği siber fiziksel sistemlere dayanan bir üretim ortamıdır. Firmaların Endüstri 4.0 ile ilişkili ekipman altyapısı, veri toplama ve kullanımı ile dijital modelleme faaliyetleri ve bilgi teknolojileri sistemleri akıllı fabrika sistemleri kapsamında değerlendirilir.
C3	Akıllı İşlemler	Kendini kontrol eden iş parçasını gerçekleştirmek için gerekli üretim ve üretim planlamasındaki teknik gereklilikler akıllı işlemler olarak bilinir. Firmaların bilgi paylaşımı ve bulut kullanımı faaliyetleri, bilgi teknolojilerinin güvenliği ile kullandıkları kendi kendine karar verebilen özerk süreçler akıllı işlemler kapsamında değerlendirilir.
C4	Akıllı Ürünler	RFID, sensör ve iletişim arabirimi gibi bilgi ve iletişim teknolojileri kullanarak kendisi ve çevresindeki durumlar hakkında veri toplarlar. Bu sayede ürünlerin durumunun izlenmesi ve ürünlerin optimize edilmesi mümkün hale gelir. Kendi kendini raporlama, entegrasyon, lokasyon belirleme, otomatik kimlik tespiti ve izleme gibi fonksiyonları içeren ürünlerin akıllı ürünler kapsamında değerlendirilir.
C5	Veriye Dayalı Hizmetler	Geleneksel anlayıştan farklı olarak firmaların ürettikleri ürünler için satış sonrası da geniş kapsamlı hizmetler sunması anlayışına dayanır. Bu amaçlar başta akıllı ürünlerin kendisi olmak üzere çeşitli kaynaklardan elde edilecek veriler hem ürünlerin geliştirilmesine hem de bu ürünlere ilişkin ek hizmetler sunulmasına imkan tanır.

C6	Çalışanlar	Firmaların Endüstri 4.0 hedefini yakalaması açısından gereken faktörlerden biridir. Firmaların gerçekleştirmesi gereken dönüşüm kapsamında çalışanların yeni beceriler ve nitelikler kazanmaları gerekmektedir. Bu amaçla yerinde uygulama ve sürekli eğitim faaliyetleri gerçekleştirilmelidir.
C7	Endüstri 4.0 Eğilimi	Kendisini etkileyen bütün kriterlerin sonucunda değişiminin analiz edileceği çıktı konseptidir.

Çıktı kriteri olarak Endüstri 4.0 eğilimi belirlenmiştir. Çıktı kriteri herhangi bir kriteri etkilemediği gibi sadece diğer kriterlerden etkilenmektedir. Giriş kriterleri ise etkilenmeye ve etkilemeye açık olan kriterlerdir. Kriterlerin birbirleri

arasındaki ilişki matrisi alanında uzman üç akademisyenin fikir birliği ile belirlenmiştir. Kriterler arası ilişki haritası Şekil 5'te sunulmaktadır.



Endüstri 4.0 ilişki haritası

Şekil 5.

İkinci aşamada kriterler arasındaki ağırlıklar belirlenmiştir. Uzmanlar kriterler arasındaki ilişkileri dilsel ifadelerle belirlemektedirler.

Dilsel değişkenlerin atanması ile kavramlar arasında bulunan etkiler uzman görüşlerinin değerlendirmeleri sonucunda ortaya konulmaktadır. Bu uygulamada kavramlar arasındaki ağırlıkların dilsel değişkenlere dönüştürülmesinde onbir değerli bulanık üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Dilsel değişkenler $[-1, 1]$ aralığında değerler almıştır.

Kriterler arası ilişki haritası belirlendikten sonra aynı uzmanlar bireysel ve bağımsız olarak bu kriterlerin birbirleri arasındaki etkilerini dilsel değişkenler kullanarak If-Then kuralları ile belirtmiştir.

Birinci uzman "Strateji ve organizasyon" (C1) kriterindeki küçük bir değişim, kuruluşun "Endüstri 4.0 eğilimi"nde (C7) çok büyük ölçüde olumlu etkisi olduğunu belirtmiştir. Bu yorumdan strateji ve organizasyonun kurumsallaşma eğilimi üzerinde pozitif çok güçlü etkisi olduğu belirlenmiştir.

Örneğin 2. uzman "Strateji ve organizasyon" (C1) kriterindeki küçük bir değişim, kuruluşun "Endüstri 4.0 eğilimi"nde (C7) büyük ölçüde olumlu etkisi olduğunu belirtmiştir. Bu yorumdan Strateji ve Organizasyonun, Endüstri 4.0 eğiliminin üzerinde pozitif güçlü etkisi olduğu belirlenmiştir.

Örneğin 3. uzman "Strateji ve organizasyon" (C1) kriterindeki küçük bir değişim, kuruluşun "Endüstri 4.0 eğilimi"nde (C7) çok büyük ölçüde olumlu

etkisi olduğunu belirtmiştir. Bu yorumdan Strateji ve Organizasyonun Endüstri 4.0 eğiliminin üzerinde pozitif çok güçlü etkisi olduğu belirlenmiştir.

Uzmanların belirtmiş olduğu kurallardan hareketle kriterler arası etki matrisleri dilsel değişkenler kullanılarak Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5'de sunulmaktadır. Endüstri 4.0 eğilimi burada çıktı kriteri olarak düşünüldüğünden diğer kriterler üzerinde etkisi olmadığı varsayılmıştır. Uzman görüşlerinin hepsi eşit katkı değerine sahiptirler. Tüm uzman görüşlerine karşılık gelen üçgenel fonksiyonlar eşit katkılarla toplanır.

Daha sonra ağırlık merkezi yöntemiyle ortak bir ağırlık bulunur. Şekil 6'da kriter etkilerinin, uzman görüşlerine dayanarak ağırlık merkezi yöntemi ile hesaplanmasına ait bir gösterim sunulmaktadır.

Şekil 6'da görüldüğü üzere bulanık kural tabanında belirlenen uzman görüşlerine karşılık gelen üçgensel üyelik fonksiyonları bulanık toplam operatörü ile toplanmıştır. Sistemdeki kavramsal değişkenlerden C1'den C3'e olan etki

bulanık mantıkta kullanılan durulaştırma yöntemlerinden ağırlık merkezi metodu kullanılarak elde edilmiştir.

Uzman görüşlerindeki bu dilsel ifadeler Tablo 6'te sunulan dilsel değişkenlerin üçgensel bulanık değerleri karşılıklarından hareketle sayısallaştırılmış ve ağırlık merkezi metodu kullanılarak aşağıdaki etkileşim ağırlıkları matrisi elde edilmiştir

Tablo 3. Birinci uzmanın değerlendirmeleri

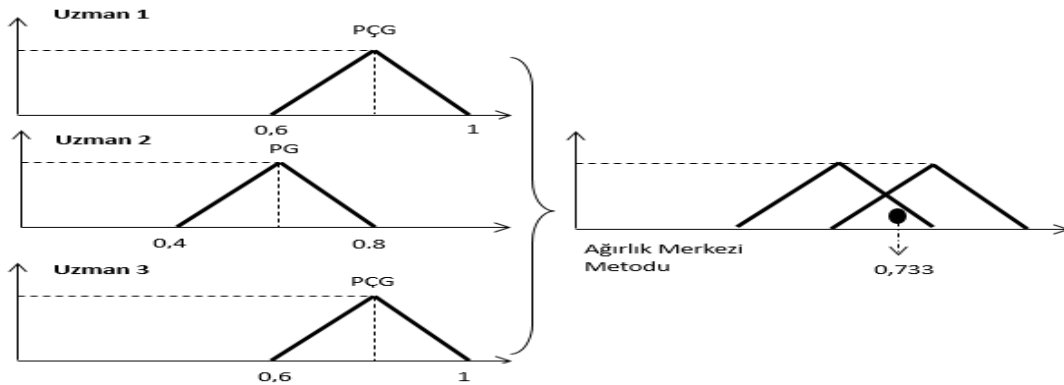
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	EY	PÇG	PÇG	PÇG	PÇG	PÇG	PÇG
C2	EY	EY	PG	PG	PG	EY	PG
C3	EY	PG	EY	PZ	PG	EY	PÇZ
C4	EY	PÇZ	PZ	EY	EY	EY	PG
C5	EY	PZ	PG	EY	EY	EY	PÇZ
C6	PZ	PÇZ	PG	PZ	PZ	EY	PZ
C7	EY	EY	EY	EY	EY	EY	EY

Tablo 4. İkinci uzmanın değerlendirmeleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	EY	PÇG	PG	PG	PG	PG	PG
C2	EY	EY	PG	PG	PG	EY	PG
C3	EY	PZ	EY	PÇZ	PG	EY	PÇZ
C4	EY	PÇZ	PZ	EY	EY	EY	PG
C5	EY	PZ	PZ	EY	EY	EY	PÇZ
C6	PG	PZ	PG	PZ	PZ	EY	PZ
C7	EY	EY	EY	EY	EY	EY	EY

Tablo 5. Üçüncü uzmanın değerlendirmeleri

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	EY	PÇG	PÇG	PÇG	PÇG	PÇG	PÇG
C2	EY	EY	PG	PG	PG	EY	PÇG
C3	EY	PG	EY	PZ	PG	EY	PZ
C4	EY	PÇZ	PÇZ	EY	EY	EY	PZ
C5	EY	PZ	PG	EY	EY	EY	PZ
C6	PG	PÇZ	PG	PZ	PZ	EY	PG
C7	EY	EY	EY	EY	EY	EY	EY



Şekil 6. Ağırlık merkezi yöntemiyle dilsel değişkenlerin sayısal değere dönüşümü

Tablo 6. Ağırlık matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0	0,800	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733
C2	0	0	0,600	0,600	0,600	0	0,667
C3	0	0,533	0	0,333	0,533	0	0,267
C4	0	0,200	0,333	0	0	0	0,533
C5	0	0,400	0,533	0	0	0	0,267
C6	0,533	0,267	0,600	0,400	0,400	0	0,467
C7	0	0	0	0	0	0	0

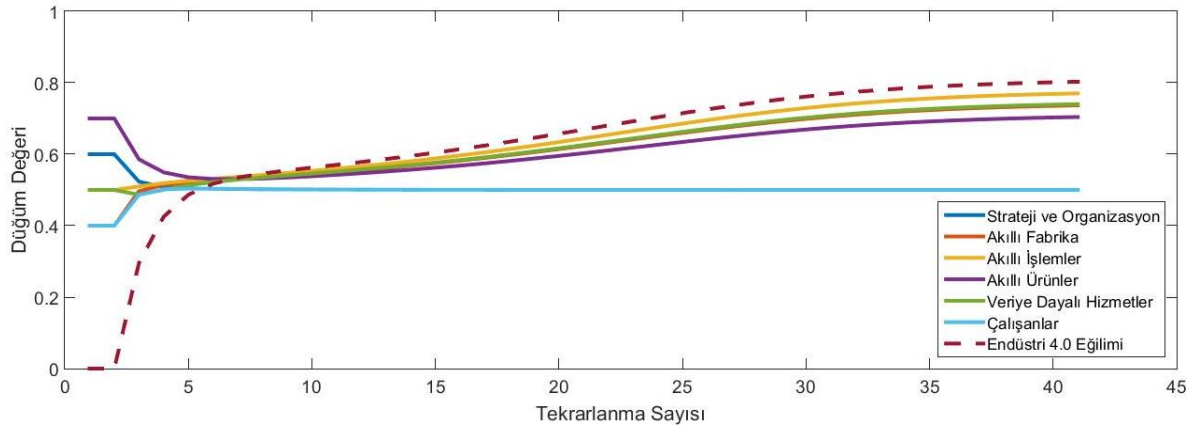
Bu etki matrisi göz önünde bulundurularak MATLAB'ta yazılan algoritma ile Bulanık Bilişsel Haritalar tekniği uygulanmış olup uzmanların oluşturduğu üç farklı senaryo ile Endüstri 4.0 eğilimi kriterine diğer kriterlerin etkisi ve sistemlerin durumları analiz edilmiştir. Endüstri 4.0 kriterine etkilerin daha iyi analiz edilebilmesi için bütün senaryolarda bu kriter 0 olarak alınmıştır. Birinci senaryo orta düzeyde iyi yönetilen bir organizasyon olarak düşünülmüştür. İkinci senaryoda strateji ve organizasyonun öneminin vurgulanması için birinci senaryonun aksine strateji ve organizasyon kriteri 0 olarak başlangıç vektörüne verilmiştir. Üçüncü senaryo ise bütün süreçleri ile çok kötü bir yönetime sahip bir organizasyon olarak düşünülmüştür.

Senaryo 1: Uzmanların değerlendirmesi sonucunda strateji ve organizasyonun ve akıllı ürünlerin ortalamasının üzerinde sırasıyla 0,6 ve 0,7 değerleri alarak iyi yönetildiği

düşünülmüştür. Bu senaryoda kriterler için orta düzeyde iyi yönetimin olduğu varsayıldığından değerler 0,5 ve 0,4 olarak ele alınmıştır. Birinci senaryoya ait A başlangıç vektörü aşağıdaki gibidir:

$$A_{(1)}^{Başlangıç} = [0,6 \ 0,4 \ 0,5 \ 0,7 \ 0,5 \ 0,4 \ 0]$$

Denklem (1) ve (2) uygulandıktan sonra birinci senaryo için elde edilen grafik şekil 7'deki gibidir. Endüstri 4.0 modeli kriterleri ile orta düzeyde iyi olduğu varsayılan bu senaryoda, grafik incelendiğinde kriterlerin Endüstri 4.0 eğilimini gelecekte iyi bir noktaya götürdüğü görülmektedir. Strateji ve Organizasyon (C1) ve Çalışanlar (C6) kriterleri incelendiğinde uzun dönemde 0,5 değerine sabitlendiği görülmektedir. Endüstri 4.0 eğiliminin ise diğer kriterlerin etkisiyle iyi seviyelere çıktığı görülmektedir.

**Şekil 7.** Senaryo 1'in Endüstri 4.0 modeli grafiği

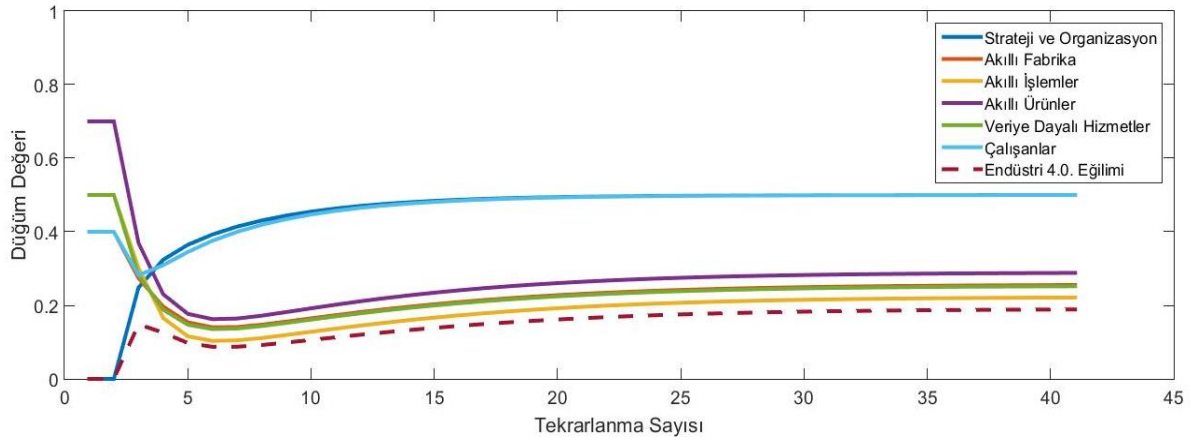
Senaryo 2: Bu senaryoda Senaryo 1'den farklı olarak strateji ve organizasyon (C1) kriteri 0 olarak düşünülmüştür. Endüstri 4.0 eğiliminin strateji ve organizasyon yapısıyla ilişkisinin görülmesi amaçlanan senaryoda diğer kriterlerin ise Senaryo 1'deki gibi orta seviyede iyi olarak yönetildiği varsayılmıştır. İkinci senaryoya ait A başlangıç vektörü aşağıdaki gibidir:

$$A_{(2)}^{Başlangıç} = [0 \ 0,4 \ 0,5 \ 0,7 \ 0,5 \ 0,4 \ 0]$$

A vektörü Denklem (1) ve (2)'ye sırasıyla verildikten sonra Şekil 8'deki grafik elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde Endüstri 4.0 eğiliminin düşük seviyede kaldığı görülmüştür.

Bunun nedeni strateji ve organizasyonun Endüstri 4.0 için önemli bir kriter olması ve başlangıç durumunda çok kötü değer olarak alınmasıdır.

Diğer kriterlerin orta düzeyde olması Senaryo 1'deki gibi Endüstri 4.0'ı başarıya götüremeyecektir. Strateji ve organizasyon yapısı düşük olan bir organizasyon, diğer süreçlerini iyi yönetemeyecektir. Bu senaryoda göz önünde bulundurulması gereken durum, teknoloji seviyesi iyi tabir edilebilecek bir organizasyona sahip olursa bile Endüstri 4.0'ı strateji ve organizasyonuna işleyemeyen kuruluş bu konuda başarısız olup istenilen seviyeyi yakalayamayacaktır.



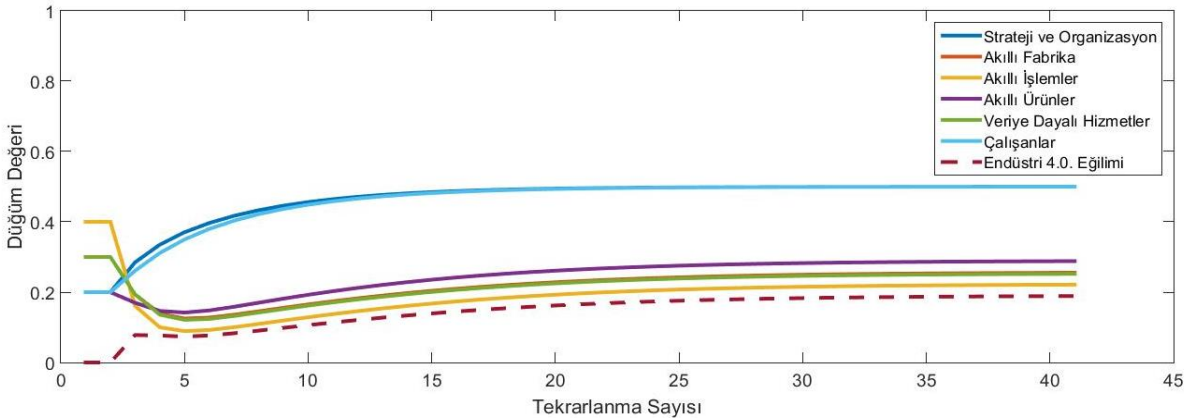
Şekil 8. Senaryo 2'nin Endüstri 4.0 modeli grafiği

Senaryo 3: Bu senaryoda organizasyonda Endüstri 4.0 modelinde yer alan bütün kriterlerinin kötü yönetildiği varsayılmıştır. Diğer iki senaryoya göre en kötü durum bu senaryodur. Organizasyon hiçbir sürecini Endüstri 4.0 yolunda ilerleyen bir organizasyon gibi yönetememektedir. 3. senaryoya ait A matrisi aşağıdaki gibidir.

$$A_{(3)}^{Başlangıç} = [0,2 \ 0,3 \ 0,4 \ 0,2 \ 0,3 \ 0,2 \ 0]$$

Bu değerler algoritmaya girildikten sonra aşağıdaki Şekil 9'daki grafik elde edilmiştir. Bu senaryoda elde edilen sonuçlara göre Endüstri 4.0 eğilimi diğer iki senaryonun gerisinde kalmaktadır.

Kriterlerin kötü yönetimi, mevcut konumda kötü durumdadır. Gelecekte öngörülen durumda gözlenen artış, bugünkü artan rekabet koşullarında yeterli gözükmemektedir. C1 ve C6 kriterleri başlangıçta diğer kriterlerin az miktar iyi durumda olmasıyla bir seviyeye kadar iyileşmiş fakat yeterli düzeye ulaşamamıştır.



Şekil 9. 3. Senaryonun Endüstri 4.0 modeli grafiği

4. ANALİZ

Bu çalışmada, Endüstri 4.0 yolunda en önemli kriterlerin belirlenmesi için DEMATEL yönteminde kullanılan etkileyen ve etkilenen kriterlerin belirlenmesi yaklaşımı bir yenilik olarak BBH yöntemine uyarlanmıştır.

Bu çalışmada kriterlerin önem derecelerinin tespiti, çalışmanın statik analiz kısmını oluşturmaktadır.

Senaryoların incelenmesi ise çalışmanın dinamik analiz kısmını oluşturmaktadır. DEMATEL yöntemindeki analiz kısmının kullanılmasının nedeni, yöntemin statik analiz ile uyumluluğu ve modeldeki etkileyen/etkilenen kriterlerin tespitinin yapılabilmesidir.

Tablo 7'de uzmanların dilsel değişkenler ile belirlediği ve daha sonra ağırlık merkezi yöntemi ile sayısallaştırılan ağırlıklar üzerinden hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 7. İlişki matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	D	D+R	D-R
C1	0	0,80	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	4,46	4,99	3,93
C2	0	0	0,60	0,60	0,60	0	0,66	2,46	4,66	0,26
C3	0	0,53	0	0,33	0,53	0	0,26	1,66	4,46	-1,13
C4	0	0,20	0,33	0	0	0	0,53	1,06	3,13	-1,00
C5	0	0,40	0,53	0	0	0	0,26	1,20	3,46	-1,06
C6	0,53	0,26	0,60	0,40	0,40	0	0,46	2,66	3,40	1,93
C7	0	0	0	0	0	0	0	0	2,93	-2,93
R	0,53	2,20	2,79	2,06	2,26	0,73	2,93			

Satırlar toplamı (D), bir kriterin diğer tüm kriterlere yaptığı toplam etkiyi göstermektedir. Sütunlar toplamı (R), bir kriterin diğer tüm kriterlerden aldığı toplam etkiyi ifade etmektedir. (D+R), kriterin önem derecesini göstermektedir. Tabloya bakıldığında en büyük (D+R) değerine sahip kriter Strateji ve Organizasyon (C1) kriteridir. Endüstri 4.0 yolunda iyileşme sağlamak isteyen organizasyonlar öncelikle strateji ve organizasyon yapısına önem vermektedir. Bu kriter başarıyla yönetilmeden Endüstri 4.0 açısından tam olarak başarı sağlanamayacaktır. (D-R), değerleri bir kriterin etki alan mı yoksa etki veren grupta mı yer aldığını belirtmektedir. C1, C2 ve C6 kriterleri pozitif değer aldığından bu kriterler etki eden grubu oluşturmuştur. C1 değeri en yüksek (D-R)'ye sahip olduğundan modeldeki en fazla etki eden kriterdir. Negatif değere sahip olan C3, C4, C5 ve C7 kriterleri ise en fazla etkilenen kriter grubunu oluşturmaktadır. Endüstri 4.0 Eğilimi (C7) modeldeki çıktı kriteri olduğu için en negatif değere sahiptir.

5. SONUÇ

Kurumlar kendilerini değişken koşullar altında sürekli güncel tutarak rekabette öne çıkabilmek için yoğun çaba sarf etmektedirler. Bunu gerçekleştirebilmek için ise kendi stratejilerini doğru belirlemeleri ve hayata geçirmeleri gerekmektedir. Değişimin son derece hızlı olduğu bir durumda firmaların kendilerini farklılaştırarak, yenileyecek ve bunun sonucunda daha tercih edilir bir işletme olmalarını sağlayacak kısa ya da uzun vadeli stratejiler ortaya koyabilmeleri için öncelikle mevcut durumlarını bilmeleri ve kurumu doğrudan etkileyen belli kriterlerin gelecekte kurumu nasıl etkileyeceği hakkında bilgi sahibi olmaları gerekmektedir. Bu çalışmada, kurumların halihazırda Endüstri 4.0'ın neresinde olduklarının tespit edilmesi ve gelecekteki Endüstri 4.0 seviyeleri konusunda öngörü sağlanması amaçlanmıştır. Çalışmada IMPULS modeli kriterleri göz önünde bulundurularak bulanık bilişsel haritalama yöntemi ile Endüstri 4.0 seviyesini öngören bir model oluşturulmuştur. Model üç farklı senaryo ile çalıştırılmış ve Endüstri 4.0'a etki eden kriterler yapılan analizlerle yorumlanmıştır. Endüstri 4.0 seviyesine en çok etki eden kriterin Strateji ve Organizasyon olduğu belirlenmiştir. Bulanık bilişsel haritalama yöntemi kullanılarak Endüstri 4.0 seviyesinin tespit edilmesi ve geliştirilen modelin gelecekteki Endüstri 4.0 seviyeleri hakkında bilgi vermesi ve öngörü sunması, çalışmanın literatüre kazandırdığı önemli katkılardır.

6. KAYNAKÇA

- [1] M. Blachet, T. Rinn, G. V. Thaden, And G. Thieulloy, "Industrial 4.0: The New Industrial Revolution: How Europe Will Succeed," pp. 24, 2014.
- [2] M. Hermann, T. Pentek, And B. Otto, "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios," 2016, pp. 3928–3937.
- [3] A. Schumacher, S. Erol, And W. Sihn, "A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity Of Manufacturing Enterprises," Procedia CIRP, Vol. 52, pp. 161–166, Jan. 2016.
- [4] K. Lichtblau, V. Stich, R. Bertenrath, M. Blum, M. Bleider, A. Millack, K. Schmitt, E. Schmitz, and M. Schröter, "IMPULS - Industrie 4.0- Readiness," Impuls-Stiftung des VDMA, Aachen-Köln, 2015.
- [5] "Befähigungs Und Einführungsstrategien Für Industrie 4 0 Vorstellung - Technische Informationsbibliothek", 2016.
- [6] PricewaterhouseCoopers, "The Industry 4.0: Digital Operations Self Assessment," 2016.
- [7] Rockwell Automation, "The Connected Enterprise Maturity Model," Rockwell Automation, 2014.
- [8] "Institut Für Intelligente Produktion," Fh - Oberösterreich, 2015.
- [9] "Industry 4.0: Building The Digital Enterprise," Pricewaterhousecoopers, 2016.
- [10] U. Asan, A. C. Kutlu, and C. Kadaifci, "Analysis of Critical Factors in Energy Service Contracting Using Fuzzy Cognitive Mapping," Proceedings of The 41st International Conference on Computers and Industrial Engineering, 2011.
- [11] A. Şahin, "Time Series Forecasting Via Computational Intelligence Methods," İstanbul Teknik Üniversitesi, 2016.
- [12] F. Z. Uslu, "Yumuşak Doku Sarkomlarının Sınıflandırılmasında Bulanık Bilişsel Haritaların Uygulanması - Ulusal Tez Ve Araştırma Merkezi - Akademik Tezler ve Araştırmalar," Erciyes Üniversitesi, 2011.
- [13] Ö. Uygun, E. F. Erkan, and B. Topçuoğlu, "Bulanık Bilişsel Haritalar Temelli Yeşil Tedarik Zinciri Yönetimi Değerlendirme Modeli," 3rd International Symposium Environment and Morality (ISEM2016) 4-6 Nov 2016 Alanya/Antalya-Turkey, 2016.
- [14] M. E. C. Bağdatlı, "Karayolu Projelerinin Fayda-Maliyet Analizleri İçin Risk Eklentili Yeni Bir Bulanık Bilişsel Harita Modeli," Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2016.