

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ İLE DESTEKLENMİŞ BULANIK BİLİŞSEL
HARİTALAMA YÖNTEMİ KULLANILARAK KURUMLARIN DİJİTAL
DÖNÜŞÜMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Enes Furkan ERKAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

EYLÜL 2022

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ İLE DESTEKLENMİŞ BULANIK BİLİŞSEL
HARİTALAMA YÖNTEMİ KULLANILARAK KURUMLARIN DİJİTAL
DÖNÜŞÜMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Enes Furkan ERKAN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özer UYGUN

EYLÜL 2022

Enes Furkan Erkan tarafından hazırlanan “YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ İLE DESTEKLENMİŞ BULANIK BİLİŞSEL HARİTALAMA YÖNTEMİ KULLANILARAK KURUMLARIN DİJİTAL DÖNÜŞÜMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması 29.09.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Unvan Adı SOYADI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
..... Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Unvan Adı SOYADI**
..... Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ İLE DESTEKLENMİŞ BULANIK BİLİŞSEL HARİTALAMA YÖNTEMİ KULLANILARAK KURUMLARIN DİJİTAL DÖNÜŞÜMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(29/09/2022)

Enes Furkan Erkan





Anneme ve babama



TEŞEKKÜR

Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimim boyunca bana yol gösteren ve destek olan, her konuda bilgi ve tecrübesini eksik etmeyen tez danışmanım Doç. Dr. Özer UYGUN'a, öneri ve yorumlarıyla çalışmama destek olan hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim DEMİR'e, Doç. Dr. Numan ÇELEBİ'ye ve özellikle çalışmalarım boyunca yardımlarını hiç esirgemeyen Doç. Dr. Alper Kiraz'a, Arş. Gör. Onur CANPOLAT'a, bu zorlu süreç boyunca her zaman duygusal destek ve moral veren, pozitif enerjisi ile sürecimi kolaylaştıran sevgili hayat arkadaşım Nilay ERKAN'a ve ayrıca hayatımın her aşamasında bana destek ve örnek olan aileme teşekkür ederim.



Enes Furkan ERKAN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Dijital Dönüşüm Sürecine Genel Bakış	1
1.2. Tezin Amacı	3
1.3. Tezin Gerekçesi	3
1.4. Tezin Yeniliği	4
1.5. Çalışmanın Sınırları	5
1.6. Tezin Akışı	5
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
2.1. Dijital Dönüşüm Olgunluk Modelleri	7
2.2. Bulanık DEMATEL Çalışmaları	13
2.3. Bulanık Bilişsel Haritalar Çalışmaları	14
3. METODOLOJİ	17
3.1. Bulanık DEMATEL Yöntemi	17
3.2. Bulanık Bilişsel Haritalar	21
3.2.1. Bulanık bilişsel harita oluşturma metotları	24
3.2.1.1. Dilsel değişkenlerin atanması	24
3.2.1.2. Sayısal ağırlıkların atanması	25
3.2.1.3. Farklı bulanık bilişsel haritaların sentezlenmesi	25
3.2.2. Bulanık bilişsel haritalar öğrenme metotları	26
3.2.2.1. Hebbian tabanlı öğrenme algoritmaları	27
3.2.2.2. Popülasyon tabanlı öğrenme algoritmaları	31
3.2.2.3. Diferansiyel evrim algoritması	31
4. UYGULAMA	33
4.1. Bulanık DEMATEL Aşaması	35
4.2. Bulanık Bilişsel Haritalar Aşaması	43
4.2.1. Statik analiz	44
4.2.2. Dinamik analiz	48
4.2.3. Duyarlılık analizi	60
5. MODELİN DOĞRULAMASI	69
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	71
KAYNAKLAR	75
EKLER	89
ÖZGEÇMİŞ	103



KISALTMALAR

AHP	: Analytic hierarchy process
ANP	: Analytic network process
BBH	: Bulanık bilişsel haritalar
CODAS	: Combinative distance-based assessment
DEMATEL	: The decision making trial and evaluation laboratory
DE	: Diferansiyel evrim
VIKOR	: Vise kriterijumska optimizacija i kompromisno resenje



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Literatürde yer alan bazı olgunluk modelleri.	12
Tablo 2.2. Dijital dönüşüm alanında bazı bulanık DEMATEL çalışmaları.	14
Tablo 3.1. Dilsel terimler ve üçgensel bulanık sayılar.	18
Tablo 3.2. Bulanık bilişsel haritalar için öğrenme algoritmaları.	26
Tablo 3.2. (Devamı) Bulanık bilişsel haritalar için öğrenme algoritmaları.	26
Tablo 4.1. Model kriterleri ve açıklamaları.	34
Tablo 4.2. Birinci uzmanın değerlendirmelerine karşılık gelen bulanık değerler.	37
Tablo 4.3. Direkt ilişki matrisi.	38
Tablo 4.4. Normalize direkt ilişki matrisi.	39
Tablo 4.5. Toplam ilişki matrisi.	40
Tablo 4.6. Durulaştırılmış toplam ilişki matrisi.	41
Tablo 4.7. İlişki ağırlıkları matrisi.	42
Tablo 4.8. Temel senaryo.	46
Tablo 4.9. Senaryoların başlangıç durum değerleri.	46
Tablo 4.10. Senaryoların kararlı durum değerleri.	47
Tablo 4.11. Birinci senaryoya ait kararlı durum değerleri farkları.	47
Tablo 4.12. Senaryoların çıktı değerlerinin temel senaryodan farkları.	48
Tablo 4.13. Firmaların başlangıç durum değerleri.	50
Tablo 4.14. Klasik ve hibrit öğrenme algoritmaları içeren BBH sonuçları.	50
Tablo 4.15. Firmaların BBH çıktı değerleri.	53
Tablo 4.15. (Devamı) Firmaların BBH çıktı değerleri.	54
Tablo 4.16. En iyi ve en kötü firma senaryoları.	55
Tablo 4.17. Revize edilmiş firma senaryoları.	60
Tablo 4.18. Revize edilmiş firma senaryoları BBH değerleri.	61
Tablo 4.18. (Devamı) Revize edilmiş firma senaryoları BBH değerleri.	62



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. Üçgensel bulanık grafik.	18
Şekil 3.2. Basit bir bulanık bilişsel harita.	22
Şekil 3.3. Dilsel değişkenlerin yapısı.	24
Şekil 4.1. Çalışmanın akış diyagramı.	33
Şekil 4.2. Bulanık DEMATEL ve BBH entegrasyonu.	35
Şekil 4.3. Kriterler arası ilişkilerin grafiksel gösterimi.	43
Şekil 4.4. Öğrenme algoritmaları akışı.	49
Şekil 4.5. Birinci firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.	56
Şekil 4.6. İkinci firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.	57
Şekil 4.7. Üçüncü firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.	57
Şekil 4.8. Dördüncü firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.	58
Şekil 4.9. Beşinci firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.	58
Şekil 4.10. Altıncı firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.	59
Şekil 4.11. Tüm firma senaryolarının C20 çıktı kriteri değişimleri.	60
Şekil 4.12. Revize edilmiş birinci firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.	63
Şekil 4.13. Revize edilmiş ikinci firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.	64
Şekil 4.14. Revize edilmiş üçüncü firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.	64
Şekil 4.15. Revize edilmiş dördüncü firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.	65
Şekil 4.16. Revize edilmiş beşinci firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.	66
Şekil 4.17. Revize edilmiş altıncı firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.	66
Şekil 4.18. Revize edilmiş tüm senaryolarının C20 çıktı kriteri değişimleri.	67



YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ İLE DESTEKLENMİŞ BULANIK BİLİŞSEL HARİTALAMA YÖNTEMİ KULLANILARAK KURUMLARIN DİJİTAL DÖNÜŞÜMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Dijital dönüşüm süreci, insanlar, makineler, ekipmanlar arasında gelişen teknolojiler kullanarak birbirleriyle etkileşimli sistemler oluşturmayı amaçlamaktadır. Dijital teknolojilerin kullanımının artmasıyla şirketlerin rekabetçi kalabilmek için yeni stratejiler benimsemesini gerektiren değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Gelecekte, organizasyonlar ürün tasarımından dağıtım, müşteriye ve geri bildirim kadar tüm zinciri içeren fiziksel ve sanal sistemlere ihtiyaç duyacaklardır. Bu nedenle, organizasyonların dijital dönüşümü anlamaları ve uygulamaları elzemdir. Literatür incelendiğinde dijital dönüşüm olgunluk modelleri çalışmalarında genellikle mevcut durum analizleri yapılmış ve sayısal yöntemler içeren çalışmaların eksikliği görülmüştür.

Dijital dönüşüm gibi karmaşık modellerde süreç yalnızca alanında uzman kişiler tarafından kesinlik içermeyen neden-sonuç ilişkileri ve birçok geri bildirim döngüsü yoluyla birbirine bağlı ilgili kriterler şeklinde temsil edilebilir. Bu sebeple çalışmada bir esnek hesaplama yöntemi olarak karmaşık sistemlerin modellenmesi ve modeldeki ilişkilerin bağlantılar ile sağlandığı bulanık bilişsel haritalar yöntemi seçilmiştir. Bulanık bilişsel haritalar yöntemindeki, uzmanların oybirliği ile modelin kriterleri arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarması aşamasındaki zorluğun ortadan kaldırılması ve uzmanların subjektif ifadelerinin sayısallaştırılabilmesi için ise bulanık DEMATEL yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada ilk olarak dijital dönüşüm ile ilgili gözardı edilecek bir kriter bırakmamaya çalışılarak, literatür ve paydaşlardan alınan bilgilere göre 20 kriter içeren kapsayıcı bir model oluşturulmuş ve bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak kriterler arası ilişkiler belirlenmiştir. Bu ilişkiler kullanılarak daha sonra bulanık bilişsel haritalar yöntemi ile öncelikle statik analiz yapılmıştır. Statik analiz yapılırken öncelikle temel senaryo oluşturulmuştur. Daha sonra sırasıyla her kriter için sabitlenmiş değerler kullanılarak algoritma boyunca bu değerlerin değiştirilmemesi sağlanmıştır. Her kriterin çıktı kriterini etkileme düzeyinin belirlenebilmesi için 19 senaryo oluşturulmuş ve temel senaryodaki çıktı değerinden farklar ortaya çıkarılmıştır. Kriterlerin sonucu en fazla etkilemesi bakımından önem sıralaması tespit edilmiş, zeki teknoloji, zeki organizasyon ve zeki imalat kriterlerinin ilk üç sırada yer aldığı görülmüştür. Çalışmanın dinamik analiz kısmında savunma sanayine üretim yapabilecek altı firma için mevcut durumlar 88 sorudan oluşan anket aracılığı ile elde edilmiş, firma senaryoları oluşturulmuş ve gelecekteki dijital dönüşüm seviyeleri diferansiyel evrim algoritması kullanılarak desteklenmiş bulanık bilişsel haritalar yöntemi ile analiz edilmiştir. Seçilen altı firma mevcut durumda dijital dönüşüm açısından iyi, orta ve kötü seviyelerde bulunan firmalardır. Son olarak aynı altı firma için en önemli üç kriterin mevcut durumları revize edilerek duyarlılık analizi yapılmış

ve değişimler incelenmiştir. Duyarlılık analizi yapılmasında amaç, firmalara dijital dönüşümlerine doğru başlangıç noktaları konusunda karar destek sağlamaktır.

Bu tez çalışması kapsamında, önerilen modelin ve kullanılan entegre yöntemin dijital dönüşüm süreci konusunda bir karar destek sistemi ve organizasyonlara yol gösterici olacağı ortaya konulmuştur.



THE EVALUATION OF DIGITAL TRANSFORMATION IN INSTITUTIONS USING FUZZY COGNITIVE MAPS SUPPORTED BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES

SUMMARY

The digital transformation process aims to create interactive systems between people, machines and equipment by using developing technologies. With the increasing use of digital technologies, changes are emerging that require companies to adopt new strategies to stay competitive. Organizations will need physical and virtual systems that cover the entire chain, from product design to distribution, customer and feedback in the future. Therefore, it is fundamental that organizations understand and implement digital transformation. When the literature is considered, current situation analyses are common in studies of digital transformation maturity models, and there was a lack of studies involving numerical methods.

Digital transformation is a phenomenon that emerges with the aim of producing flexibility, efficiency, technological and quality products or services by providing improvements in traditional production. It is based on increasing the production efficiency, value gains and social welfare of enterprises with the help of advanced technologies. Digital transformation is a process that can be applied to various fields, and this process includes fundamental changes in the way people do business in institutions, in addition to maintaining social activities such as communication, health and entertainment with technological tools.

The increasing importance of digital transformation in today's world has revealed the need for the analysis of this process. It is very important that institutions can accurately determine their digital transformation levels and make realistic and concrete plans according to the current situation. However, despite the increasing interest in the issue of digital transformation, it is still an unresolved concept.

In the studies modeling the digital transformation process in the literature, survey studies have generally been put forward on the basis of determined criteria. With these survey studies, the current levels of digital transformation of organizations have been revealed. However, the interpretation of the relationships between the criteria in the models has not been addressed in many studies. In addition, there are few studies in the literature, which are based on analytical methods, which criteria are more important in terms of the digital transformation process.

The first main purpose of the study is to create an inclusive model of a complex structure such as the digital transformation process. In such a comprehensive model, it is very important to be able to represent the knowledge of stakeholder groups such as the private sector, academia and consultancy companies. In addition, a well-prepared questionnaire should be included in the study, in which the participants can best express the representation of their perceptions. With these features, it is aimed to fill the basis of the study and to add value to the literature with the proposed integrated method.

The second goal is to create a fuzzy cognitive maps model that is robust, semi-quantitative, allows feedback in dynamic interactions, can easily allow for adding and removing criteria due to its flexible structure, and can model a variety of qualitative, dynamic and participatory complex systems that represent many real-life problems. With this method, it will be possible to determine the predictions of the organizations in terms of the future digital transformation processes, beyond the studies that only analyze the current situation in the literature.

In complex models such as digital transformation, the process can only be represented by experts in the field as imprecise cause-effect relationships and related criteria interconnected through many feedback loops. For this reason, the fuzzy cognitive maps method has been chosen as a soft computation method in the study, in which complex systems are modeled and relations in the model are provided by connections. And, also fuzzy DEMATEL method was used to eliminate the difficulty in revealing the relations between the criteria of the model with the consensus of the experts in the stage of Fuzzy Cognitive Maps.

In this study, 20 criteria were chosen to represent the different aspects of a model and the relationships between them were determined using the fuzzy DEMATEL method. Then, using these relations, a static analysis was performed to establish the order of importance of the criteria using the fuzzy cognitive maps approach, and it was discovered that the criteria of intelligent technology, intelligent organization, and intelligent manufacturing ranked first, second, and third, respectively. In the dynamic analysis, the current situations for six companies that can produce for the defense industry were obtained through questionnaires consisting of 88 questions. Company scenarios were created and future levels of digital transformation were analyzed with fuzzy cognitive maps method developed using genetic algorithm. The six selected companies are currently good, medium and bad in terms of digital transformation.

Finally, the current status of the three most important criteria for the same six companies was revised and a sensitivity analysis was made and the changes were examined. The sensitivity analysis is used to provide decision support to companies on where they should start their digital transformation. For this purpose, the initial value of the three most important criteria in their current situation for each firm is set to 1, which indicates the best level. Thus, the future predictions of the success of the digital transformation process of change were taken. The output variable of the digital transformation model is reached a steady state value of 0,9689 after eight time periods in the first firm, 0,9707 after seven time periods in the second firm, 0,9683 after eight time periods in the third firm, 0,9695 after seven time periods in the fourth firm, 0,9784 after six time periods in the fifth firm, and 0,9840 after six time periods at the sixth firm. According to the results, if the second firm focuses on the three most important criteria, intelligent technology, intelligent organization and intelligent manufacturing, it will have the opportunity to surpass the third and fourth firms, which are better than itself in the current situation. The results determined in the study give companies the opportunity to see the results of their changes and focus points.

In this thesis study, which aims to analyze the digital transformation process, As a result of the examination of digital maturity models in the literature and expert opinions, a comprehensive digital transformation process model covering all existing models has been revealed. By using fuzzy DEMATEL and BBH methods together, it was ensured that the completely objective thoughts of the experts were reflected in the model. It has not been found that the two methods are used in the literature as in this

thesis study. Unlike studies in the literature in which the digital transformation process is analyzed, future situation predictions are provided to organizations based on their current situation. With the use of nonlinear Hebbian and genetic algorithms as learning algorithms in the fuzzy cognitive maps method, the steady states that can arise in complex problems in the fuzzy cognitive maps are prevented from reaching the same values.

Within the scope of this thesis, it has been revealed that the proposed model and the integrated method used will be a decision support system and a guide for organizations on the digital transformation process. The model created and the methods used for the analysis of the model can be easily applied to all sectors with the desired changes thanks to its flexible structure and can be used as a decision support system.





1. GİRİŞ

İşletmelerin değişen sosyal, çevresel ve ekonomik zorluklar karşısında verecekleri yanıtlar günümüzün en önemli konularından biridir. Dijitalleşme, yıkıcı teknolojik değişimler ve küreselleşme baskılarıyla karşılaşan işletmeler için bölgelerine uyumlu politikalar ile dönüşüm gerçekleştirmeleri zorunluluk haline gelmiştir.

Üretimin daha fazla dijitalleşmesi, robotlaşması ve otomasyonu, dijital dönüşüm olarak adlandırılan süreçlerin ana hedef noktaları olmaktadır. Dijital dönüşüm olarak adlandırılan eğilimlerin, otomasyon unsurlarının endüstriyel uygulamaya dahil edilmesinin başlangıcının sadece son on yıla değil, neredeyse kırk yıl öncesinden bilgisayar destekli tasarım ve üretim, esnek üretim sistemleri ile başladığını söylemek mümkün olmaktadır.

1.1. Dijital Dönüşüm Sürecine Genel Bakış

Sanayileşme, el ve kas gücüne dayanan üretim süreçleri akabinde 18. yüzyılın sonunda mekanik dokuma tezgahı gibi makinelerin tanıtılması, su ve buhar gücünün çeşitli makinelerde kullanımı ile başlamıştır. İlk olarak Almanya’da başlayan bu devrim dünya çapına yayılmıştır. İkinci sanayi devrimi, 1860’lı yıllardan sonra elektrik teknolojisi ve kimyasal tekniklerin gelişimi ile kısa sürede Avrupa, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri’nde hızla yayılmıştır. Henry Ford, parçaların üretim bandında makineler arasında yol izlediği, kitlesel üretimi mümkün kılan sistemi ile bu devrimde öncü olmuştur. 1970’li yıllarda ortaya çıkan ve üçüncü sanayi devrim olarak adlandırılan süreçte ise daha fazla otomasyona dayalı üretim yapabilmek için elektronik ve enformasyon teknolojilerinin kullanılması sağlanmıştır. Ardından günümüzde ise işletmelerde dijital süreçlerin üretimde yer aldığı, internet ve enformasyon teknolojilere dayanan siber-fiziksel sistemlerden oluşan dijital dönüşüm devrimi hakimiyet sağlamıştır (Kagermann ve ark, 2013).

Günümüzde küreselleşmenin getirdiği artan rekabetçi koşullar nedeniyle işletmelerin üretim miktarları yükselmeye devam etmekte ve tüketicilerin talepleri artmaktadır. Talepleri karşılamak adına işletmeler üretim süreçlerinde verimliliği arttırarak

maliyetlerini azaltmak zorundadırlar. Bu zorunluluk işletmeleri iş modellerini değiştirmeye itmektedir. İnternetin ve enformasyon teknolojilerinin hızla gelişmesiyle işletmelerin süreçlerine dijital anlam kazandırmaları gereksinimi ortaya çıkmıştır.

Dijital dönüşüm, geleneksel üretimde geliştirmeler sağlayarak, esneklik, verimlilik, teknolojik ve kaliteli ürün veya hizmetler üretme gayesiyle ortaya çıkan bir olgudur. İşletmelerin üretim verimlilikleri, değer kazanımları ve sosyal refahının artırılmasının gelişmiş teknolojiler yardımıyla sağlanmasını temel almaktadır (Ebert ve Duarte, 2018). Dijital dönüşüm, çeşitli alanlara uygulanabilir bir süreçtir ve bu süreç insanların iletişim, sağlık, eğlence gibi sosyal aktivitelerinin teknolojik araçlar ile sürdürmesine ek olarak işletmelerde iş yapış şekilleri üzerinde köklü değişimler de içermektedir (Ebert ve Duarte, 2016).

Nesnelerin interneti kavramı dijital dönüşüm sürecinin en temel yapıtaşdır (Finance, 2014). İnsan, makine, ekipmanlar arasında büyük veri kaynakları, yapay zeka teknolojileri, otomasyon, siber sistemler, 3D yazıcılar, sensörler gibi teknolojilerin yardımıyla haberleşmenin sağlanması bu sürecin odak noktasıdır. Dijital dönüşüm kavramı bir diğer adıyla Endüstri 4.0 terimi ilk kez Kasım 2011'de Alman hükümeti tarafından Hannover Fuarı'nda yayınlanmıştır. Süreçlerde akıllı ürünlerin aktif rol alması olarak tanımlanmaktadır. Dijital ve fiziksel sistemler birbirleriyle ve organizasyonel sınırlarla etkileşime girmektedir (Schmidt ve ark, 2015).

Rekabet koşullarında işletmelerin varlığını sürdürebilmesi, gelişen teknolojiye ayak uydurma kabiliyetlerine bağlıdır. Yapılan çalışmalarda Hozdić (2015), geleneksel üretim yapan işletmeler artık yerlerini akıllı fabrikalara, Plumanns ve ark. (2019) nitelik açısından eksikliği bulunan işgücü yerini eğitim seviyesi iyi düzeyde ve bütünleşik becerilere sahip olan işgücüne, Florescu ve Barabas (2020) klasik kitle üretimi yerini esnek üretim çeşitliliğine, Labucay (2022) tek bir iş yapmaya yönelik kullanılan makineler yerini farklı işlevlere sahip olan akıllı makinelere, Kalemulloev ve ark. (2021) üretim süreci üzerinde takip yerini otomasyona ve sürekli izlenebilir kontrole, Papadopoulos ve ark. (2022) tecrübeye dayalı kısıtlı bilgi yerini büyük veriye dayanan öğretilebilen ve çıkarım mekanizması olan büyük veri setlerine bırakmaktıklarını ortaya koymaktadır. Bu değişimler için geç kalan işletmeler mevcut pazarlarında rekabet edecek güçlerinin gün geçtikçe daha da zayıflayacağını görebileceklerdir.

Dijital dönüşüm, Dünya’da sadece işletmelerin değil devletlerin de stratejik planlarındaki yerini almaktadır. Dünyadaki gelişmeler izlendiğinde ülkelerin stratejik planlarında yer aldığı görülmektedir (BEIS, 2017; BMWK, 2016; Manufacturing USA, 2019). Gelişmiş ülkeler geleceklerini planlayıp bu dönüşüm süreci için yüksek fonlar ayırmaktadır. Türkiye’de de 2017 yılında yayınlanan dijital yol haritası ile stratejik plan ve eğitim altyapısının geliştirilmesi, nitelikli işgücünün yetiştirilmesi, teknolojik gelişimin sağlanması, veri altyapısının geliştirilmesi, ulusal teknoloji firmalarının desteklenmesi, sanayicilere dijital dönüşüm konusunda desteklerin verilmesi, kurumsal yönetim ağının geliştirilmesi hedefleri ortaya konulmuştur (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2017).

1.2. Tezin Amacı

Çalışmanın ilk temel amacı dijital dönüşüm süreci gibi karmaşık bir yapının kapsayıcı bir modelinin oluşturulmasıdır. Böyle kapsamlı bir modelde, özel sektör, akademi ve danışmanlık şirketleri gibi paydaş grupların bilgilerini temsil edebilmek oldukça önemlidir. Ayrıca katılımcıların algılarının temsilini en iyi şekilde ifade edebilecekleri iyi hazırlanmış bir anket de çalışmada yer almalıdır. Bu özellikler ile çalışmanın temelini doldurulması sağlanarak, önerilen entegre yöntemi ile literatüre katma değer sağlanması amaçlanmıştır.

İkinci amaç olarak birçok gerçek hayat problemini temsil eden çeşitli niteliksel, dinamik ve katılımcı karmaşık sistemleri modelleyebilen sağlam bir yarı niceliksel, dinamik etkileşimlerde geri beslemelere izin veren, esnek yapısı nedeniyle kriter ekleme ve çıkarmaya kolaylıkla imkan verebilen bir BBH modeli oluşturmaktır. Bu yöntem ile literatürde sadece mevcut durum analizi yapılan çalışmaların ötesinde kuruluşların geleceğe yönelik dijital dönüşüm süreçleri açısından öngörülerini tespit edilebilecektir.

1.3. Tezin Gerekçesi

Dijital dönüşümün günümüz dünyasında artan önemi, bu sürecin analizinin gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Kurumların dijital dönüşüm seviyelerini doğru olarak belirleyebilmeleri ve mevcut duruma göre gerçekçi ve somut planlar yapabilmeleri oldukça önemlidir. Ancak, dijital dönüşüm konusu artan ilgiye rağmen, hala üzerinde uzlaşıya varılmamış bir kavramdır.

Literatürde dijital dönüşüm sürecini modelleyen çalışmalarda genellikle belirlenen kriterler üzerinden anket çalışmaları ortaya konulmuştur. Bu anket çalışmaları ile organizasyonların mevcut dijital dönüşüm seviyeleri ortaya çıkarılmıştır. Fakat modellerde yer alan kriterler arasındaki ilişkilerin yorumlanması kısmına birçok çalışmada değinilmemiştir. Ayrıca hangi kriterlerin dijital dönüşüm süreci açısından daha önemli olduğu analitik yöntemlere dayandıran çalışmalara literatürde az sayıda rastlanmıştır.

Tez çalışmasının bir başka nedenselliği ise yapılan çalışmaların sadece mevcut duruma odaklanmalarıdır. Dijital dönüşüm süreçlerindeki yapılacak değişikliklerin kuruluşlara gelecekte nasıl katma değer sağlayacağına yönelik yapılan çalışmalara rastlanmamıştır. Dijital dönüşüm süreci zaman alacak bir değişimdir ve zaman periyodlarına göre yapılacak çalışmalar literatüre ve kuruluşlara yol gösterici olacaktır. Bu çalışmada bulanık DEMATEL (Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı) ve bulanık bilişsel haritalar (BBH) entegre yöntemi kullanılarak geleceğe yönelik öngörülerde bulunulmuştur.

1.4. Tezin Yeniliği

BBH yönteminin ilk adımı olarak, çeşitli paydaşların bir araya gelerek modelin kriterleri arasındaki etkileşimleri uzlaşılı ile belirlemesi gerekmektedir. Uzlaşılı ile belirleme yapmak çeşitli problemleri beraberinde getirmektedir. Ortaya çıkabilecek problemlerin en önemlisi paydaşın çoğunluğa karşı objektif değerlendirmeden uzaklaşması olabilmektedir. Bu zorluğun üstesinden gelmek için bir grup karar verme yöntemi olan bulanık DEMATEL yöntemi, BBH ile entegre edilmiştir. Böylelikle grup uzlaşısından ziyade analitik olarak herkesin özgür düşüncesini yansıtan ilişki matrisinin bulanık DEMATEL yönteminden alınması sağlanacaktır. Sonuç olarak bulanık DEMATEL ve BBH yöntemlerinin beraber kullanılması açısından literatüre yeni bir entegre metot kazandırılması amaçlanması çalışmanın yöntem odaklı yeniliği olacaktır. Çalışmada kesin değerlere dayanan düşünüş şeklinin yerine, yaklaşık düşünme tarzını benimseyen bulanık yöntemlerin kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Çalışmanın son temel amacı ise klasik BBH yöntemi kullanırken en büyük problem olan çok sayıda kriter içeren karmaşık modellerde çıktı değerlerinin, başlangıç değerleri ne olursa olsun, senaryolar farklı olsa bile -1, 0 veya 1 değerine yakınlaşması

probleminin önüne geçilebilmesinin sağlanmasıdır. Bu problem sonucunda karar vericinin aksiyon alması zor hale gelmektedir. Kullanılacak öğrenme algoritmalarının ve diferansiyel evrim algoritması kullanılmasıyla ile bu problemin üstesinden gelinmesi amaçlanmıştır.

1.5. Çalışmanın Sınırları

Çalışmada oluşturulan modelin kriterleri literatür incelenerek kapsayıcı bir model ortaya konulmuştur. Fakat teknolojiye yaşanan gelişmeler, genel kabuller vb. ile modeldeki kriter sayısı arttırılabilecek veya azaltılabilecektir.

Çalışmada savunma sanayine tedarikçi olabilecek bazı firmalar seçilmiştir. Dijital dönüşüm sürecinin işleyişi sektörlere göre farklılık gösterebilmektedir. Bu sebeple sektörel bazda farklı modeller kullanılabilmektedir.

Çalışmada ülkelerin siyasi ve ekonomik gelişmeleri gibi dış etkenler ihmal edilmiştir. Olağandışı gerçekleşen bazı olaylar modelde istenilmeyen sonuçlara yol açabilecektir.

1.6. Tezin Akışı

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, dijital dönüşüm sürecine genel bir bakış sağlanmaktadır. Teknolojik getirilerin sürecin oluşmasındaki önemi anlatılmıştır. Daha sonrasında tezin yapılma nedenleri, amacı ve yenilikleri, sınırları ve son olarak tezin içeriği sunulmuştur.

İkinci bölümde, kapsamlı literatür araştırması yer almaktadır. Literatür aşaması bölümü üç parçaya bölünmüştür. İlk bölümde dijital dönüşüm süreci için kullanılan olgunluk modelleri ve içerikleri, ikinci bölümde bulanık DEMATEL uygulamaları, üçüncü bölümde ise BBH yöntemine ait literatür verilmiştir.

Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan metotlar ile ilgili açıklamalar bulunmaktadır. Öncelikle bulanık DEMATEL yöntemi ve sonrasında BBH yöntemi detaylı olarak açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, çalışmada yapılan uygulama verilmiştir. Öncelikle kurulan model açıklanarak, daha sonrasında kullanılan yöntemler ile uygulama detaylı bir şekilde bu bölümde bulunmaktadır.

Beşinci bölümde, oluşturulan modelin doğruluğu ile ilgili bilgiler literatür destekli olarak verilmiştir.

Son olarak altıncı bölümde, çalışmanın sonuçları ve sonuçlar hakkında yorumlar bulunmaktadır. Bu bölümde, çalışmanın katkıları sunulmakta ve gelecekteki araştırmalar için potansiyel ilgili yönler verilmektedir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde öncelikle literatürde yer alan dijital olgunluk modellerine ait bilgiler verilmiştir. Daha sonrasında bulanık DEMATEL ve BBH yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar incelenmiş ve sunulmuştur.

2.1. Dijital Dönüşüm Olgunluk Modelleri

Dijital dönüşüm kavramı, işletme yöneticilerinin, ekonomistlerin ve politikacıların güncel ve popüler teknolojik gelişmeler nedeniyle odak noktalarında bulunmaktadır. Bu kavramın veya sürecin uygulanması için öncelikle gözardı edilmemesi gereken hususlardan biri özellikle yönetim ve mühendislikte mevcut hazırlık durumu hakkındaki bilgiye duyulan ihtiyaçtır. Bu bölümde, belirli bir hedef durumla ilgili bir organizasyonun veya sürecin olgunluğuna sistemsel olarak bakabilmek ve niceliksel olarak ortaya çıkarmak için kurgulanan, literatürde mevcut olan olgunluk modellerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Genel olarak olgunluk modelleri, bir işletme genelinde veya çeşitli iş alanlarında mevcut durumu tespit etmeyi ve dijital dönüşüm sürecine kapsamlı bir şekilde hazırlanmayı veya geleceğe hazır olma durumunu tahmin etme potansiyelini araştırmayı mümkün kılan modellerdir.

Literatürde bulunan çeşitli olgunluk modellerinde bazı farklılıklar bulunmakla beraber temel olarak incelenen kriterler benzerdir. Modeller, olası süreçlerin kalitesini seviyelere göre inceleyen ve geliştirmeler için ön bilgiler veren oluşumlar olmaktadır.

Modellerde yer alan düzeyler, başlangıçta en düşük (birinci düzey) yönetilen, tanımlanmış, niceliksel olarak yönetilen düzeylerden, en yüksek beşinci düzeye, yani optimizasyona kadardır.

İşletmelerde stratejik yol haritaları genellikle teknoloji planlamasında ve geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Teknolojinin kullanıldığı bir alanın tam olarak temsilinin kurgulanması ve bu alanda teknoloji için gereksinimlerin belirlenmesi sağlanır. Bireysel teknolojilerin kullanımında kronolojik sıranın ve etkileşiminin ortaya çıkarılması da yol haritalarının başka amaçlarındandır. Kısa vadeli hedefler yanında, uzun vadeli hedefler de ayrıca kullanılır (Schmitt ve ark, 2019).

Bu çalışmanın en temel olarak üzerinde durduğu konulardan biri kapsayıcı bir olgunluk modeli oluşturabilmektir. Bu doğrultuda literatürde bulunan 20 model incelenmiş ve 3 model çalışmada oluşturulan modelin temelini oluşturmuştur. İncelenen modellerin bazıları karmaşık bir yapıya sahipken, bazıları ise daha sade şekilde oluşturulmuştur. Tablo 2.1’de incelenen olgunluk modelleri verilmiştir. Analiz edilen kriterler için modellerin odak noktası bir sektör üzerinedir. Bazı modeller üretim alanları için, bazıları ise lojistik veya bilgi güvenliği alanında tasarlanmıştır. En düşük ve en yüksek seviye isimlerinin yer aldığı seviye sayısı, ihtiyaç duyulan özelliklerin değerlendirilmesinde derecelendirme olarak kullanılmıştır. Modellerin genellikle altı seviye kullandıkları da ayrıca görülmektedir.

Automation (2014) yayınladığı raporda ortaya koydukları olgunluk değerlendirme modelini tanıtmışlardır. Bu model toplamda 5 seviyeden oluşmaktadır. Değerlendirme aşamasında, enformasyon yapısının incelenmesi yer almaktadır. Enformasyon yapısı ise bilgi altyapısı (donanım ve yazılım), veri toplanmasını sağlayan kontroller ve cihazlar (sensörler, aktüatörler, motor kontrolleri, anahtarlar vb.), tüm bu bilgileri taşıyan ağlar ve güvenlik politikaları (anlayış, organizasyon, uygulama) olarak alt bileşenlere ayrılmıştır. İkinci aşama güvenli, yükseltilmiş ağ ve kontrollerdir. Bu aşamada mevcut enformasyon yapısında yer alan operasyonlarındaki boşluklar ve zayıflıklar belirlendikten sonra, yükseltmeler, tesis genişletmeleri ve yeni teknolojileri öngören uzun vadeli bir bakış açısı ile incelemeler yapılır. Daha güvenli, üretken ağa eşlik edecek bir güvenlik politikası geliştirmek de bu aşamada başlar. Üçüncü aşamayı tanımlanmış ve organize edilmiş çalışma verileri oluşturmaktadır. Bu aşamada, enformasyon teknolojileri arttırılması için organize edilen ekipler, şirketin iş süreçlerini geliştirmek için varolan tüm verileri tanımlar, düzenler ve optimum kazançlar için bundan nasıl yararlanılacağını belirler. Dördüncü aşamada çözümsel bakış geliştirilir. Bu aşamada donanım, aygıtlar, yazılım ve ağlar sürekli iyileştirmeye geçer. Yeni keşfedilen enformasyon teknolojilerinden en iyi nasıl yararlanılır sorusuna cevap aranır. Son aşamada ise işletme genelinde arz ve talep zinciri boyunca faaliyetleri öngörebilen bir ortam yaratılması amaçlanır.

Lichtblau ve ark. (2015) uyguladıkları modelde toplam 6 kritere yer veren bir model oluşturmuşlardır. Bunlar strateji ve organizasyon, akıllı fabrika, akıllı operasyonlar, akıllı ürünler, veriye dayalı hizmetler ve çalışanlar olmuştur. Modellerinde ayrıca bu kriterler için sırasıyla 0,254, 0,143, 0,102, 0,185, 0,138 ve 0,179 ağırlıkları

uygulamışlar ve anket sonucunda işletmeler için altı seviyede değerlendirme sonucu üretmişlerdir. Bu ağırlıkların hangi yöntem sonucunda bulunduğuna dair bir bilgiye rastlanmamıştır.

Leyh ve ark. (2016) oluşturdukları modelde 4 ana kriter belirlemişlerdir. Bunlar dikey entegrasyon, yatay entegrasyon, dijital ürün geliştirme ve kesitsel teknoloji kriteridir. Dikey entegrasyon, işletmenin en alt seviyesindeki yarı ürünler, makineler, vb. farklı fiziksel kavramlarının kendi seviyesi boyunca ve yukarıdaki seviyelerle bilgi alışverişinde bulunması gereken bileşenlerine odaklanır. Buradaki en önemli kriter, bu alışverişin her iki yönde de mümkün olmasıdır. Yatay entegrasyon, işletmenin kurumsal sınırlarının ötesinde olduğu kadar yatay kurumsal düzeyde de otomatikleştirilmiş ve entegre bir bilgi akışı gerekliliğini vurgulamaktadır. Dijital ürün geliştirme kriteri, mühendisliğin dijital olarak devam edebilmesi için her bir proses adımının dijital olarak temsil edilmesini ele almaktadır. Kesitsel teknoloji kriteri ise hizmet odaklı mimari, bulut bilişim, büyük veri ve enformasyon teknolojileri güvenliği gibi bileşenlerin tümünü kapsamaktadır. Modelde belirlenen 4 kriter ışığında 5 düzeyde çıkarımlar yapılması sağlanmaktadır fakat uygulama konusunda yeterli bilgiler verilmemiş sonraki çalışmalar bölümünde planlananlar yer almıştır.

Schumacher ve ark. (2016) oluşturdukları imalat işletmelerinde olgunluk modelinde dokuz kritere yer vermişlerdir. Bu kriterler strateji, liderlik, müşteriler, ürünler, süreçler, kültür, çalışanlar, denetim ve teknolojidir. Likert ölçeğini kullanarak anket çalışması yapmışlar ve uygulamışlardır. Kriterlerin ağırlıkları tam olarak verilme de uzmanlar kullanılarak tespit edildiği anlaşılmaktadır. Yasal zorunlulukların, denetim kriteri altında modellerinde yer alması literatüre önemli bir katkı olarak görülmektedir.

Jung ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada 4 kriter kullanmışlardır. Organizasyon olgunluğu, enformasyon olgunluğu, performans yönetimi olgunluğu ve bilgi etkileşim olgunluğu olarak sınıflandırılan kriterler neticesinde anket yöntemi ile işletmelerin altı seviyeden oluşan puanları ortaya koyulmuştur.

Gökalp ve ark. (2017) oluşturdukları modelde varlık yönetimi, veri yönetimi, uygulama yönetimi, süreç dönüşümü ve organizasyonel uyum olarak beş ana kriter belirlemişlerdir. Bu ana kriterlerin yönetilmesinin değerlendirilmesi ile altı seviye olarak ayrılmış dijital dönüşüm seviyeleri ortaya çıkmaktadır.

Agca ve ark. (2017) modellerini ürün özelleştirme, ürünlerin dijital özellikleri, veriye dayalı sistemler, ürün verisi kullanım düzeyi ve gelire etki şeklinde 5 kriterden oluşturmuşlardır. Bu kriterler ışığında ise işletmeleri yeni başlayan, orta düzey, deneyimli ve uzman olarak 4 seviyeye ayırmışlardır. Modellerinin analizi anket üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Lee ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada liderlik, süreçler, sistem ve otomasyon, performans gibi kriterler ile modellerini oluşturmuşlardır. Ayrıca modelde kriterlere bağlı alt kriterler de bulunmaktadır. Modeldeki kriterler analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmış ve geçmiş çalışmalarda aynı kriterleri kullanan modeller ile kıyaslama yapılmıştır.

Singapore (2018) raporunda süreçler, teknoloji ve organizasyon çerçevesinde dijital dönüşüm modeli kurulmuştur. Singapur ekonomisinin temel yapıtaşlarının incelenmesi ve analizi sağlanmıştır. Amaç bölgede akıllı endüstri olgunluk seviyesinin ortaya çıkarılması olmuştur. İşletmelerin seviyelendirilmesi ise beş aşamadan oluşmaktadır. Fakat modelin sayısal yapısı ile ilgili bilgi verilmemiştir.

Mittal ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada finans, çalışanlar, strateji, süreçler ve ürün olmak üzere beş kriterden oluşan model geliştirmişlerdir. Bu kriterler değerlendirilerek işletmelerin beş seviye için değerlendirmelerinin yapılması amaçlanmıştır. Modelde teknolojik kriterlerin yer almaması dijital dönüşüm sürecinin incelenmesi konusunda bir eksiklik olarak ortaya çıkmaktadır.

Sjödin ve ark. (2018) çalışanlar, teknoloji ve süreçler kriterleri ile oluşturdukları modelde otomotiv sektöründe faaliyet gösteren iki işletmenin beş fabrikası için analizlerini yapmışlardır. Modelleri dijital dönüşüm açısından dört seviyeden oluşmaktadır. Modellerinin değerlendirmesinde anket yöntemi kullanmışlardır.

Zeller ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada 600 adet anket sorusu kullanarak mühendislik, üretim, lojistik, servis, satış ve pazarlama kriterleri hakkında işletmelerden bilgi toplayarak dijital olgunluk seviyelerinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Anket analizleri sonrasında işletmeler için dijital dönüşüm yol haritası ortaya çıkarılabilecektir. Fakat çalışmada detaylı bilgiler ve sayısal verilere ait bilgiler verilmemiştir.

Akdil ve ark. (2018) akıllı iş süreçleri ana kriteri altında üretim, lojistik ve tedarik, ürün geliştirme, satış sonrası destek, promosyon, satış ve dağıtım kanalları, insan

kaynakları, bilgi teknolojileri, akıllı finans alt kriterlerini; strateji olgunluk ana kriteri altında iş modelleri, stratejik ortaklık, teknoloji yatırımları, organizasyonel yapı ve liderlik alt kriterlerini kullanarak model geliştirmiştir. Modelin analizi anket kullanarak yapılmıştır.

Özkurt (2016) iş modelleri, yönetim, IoT veri işleme ve işletme zekası kriterlerini girdi, yetkinlik, potansiyel, fırsat, imkan ve üretebilirlik kriterlerini çıktı olarak kullanarak 101 işletme için 107 soruluk anket uygulamıştır. Verilerin temini sonrası bulanık mantık yöntemi ile analizler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Literatür incelendiğinde dijital dönüşüm olgunluk modeli çalışmalarının oluşturulan modellerinin genelinde kullanılan kriterler birbiriyle tutarlılık göstermektedir. Fakat dijital dönüşüm sürecinde karşılaşılan zorluklar birkaç çalışmada modellerde yer almıştır. Ayrıca çalışmalarda genellikle sadece anketler kullanılarak analizler yapılmış, literatürde kabul görmüş başka sayısal yöntemlerin kullanımına çok az sayıda rastlanmıştır. Bu tez çalışmasında literatürde yer alan dijital dönüşüm olgunluk modellerinin genelini kapsayacak kriterler belirlenmiş ve ayrıca dönüşüm üzerinde engelleri ifade eden bazı kriterler de modelde yer almıştır.

Tablo 2.1. Literatürde yer alan bazı olgunluk modelleri.

Modelin Adı	Kaynak	Kriter Sayısı	Değerlendirme Yapısı
IMPULS	(Lichtblau ve ark, 2015)	6	6 ana kriterden ve 18 alt kriterden oluşan değerlendirme yapısı.
SIMMI 4.0	(Leyh ve ark, 2016)	4	Organizasyon yapısını 5 aşamada değerlendirme yaklaşımı (1:Temel Dijitalleşme Düzeyi, 5:Optimize Edilmiş Dijitalleşme Düzeyi)
İmalat İşletmelerinde Olgunluk Modeli	(Schumacher ve ark, 2016)	9	9 ana kriter ve 62 alt bileşenden oluşan değerlendirme yapısı.
Akıllı Üretim Sistemi Hazırlık Değerlendirmesi	(Jung ve ark, 2016)	4	Organizasyon yapısını 6 aşamada değerlendirme yaklaşımı (1: Uygulanmayan, 6: Optimize)
PwC Olgunluk Modeli	(PwC, 2016)	5	Organizasyon yapısını 4 aşamada değerlendirme yaklaşımı (1: Dijital Acemi, 4: Dijital Şampiyon)
Dijital Olgunluk Modeli	(Berghaus ve Back, 2017)	9	9 ana kriterden ve toplamda bu kriterlere ait 64 adet soru içeren anket ile organizasyonların dijital dönüşüm seviyelerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi.
DREAMY	(De Carolis ve ark, 2017)	5	Organizasyon yapısını 5 aşamada değerlendirme yaklaşımı (1:Başlangıç Seviye, 5:Dijital Odaklı)
Endüstri 4.0-MM	(Gökalp ve ark, 2017)	5	Organizasyon yapısını 6 aşamada değerlendirme yaklaşımı (1:Temel Dijitalleşme Düzeyi, 6:Optimum Dijitalleşme Düzeyi)
Endüstri 4.0 Değerlendirme Aracı	(Agca ve ark, 2017)	6	Organizasyon yapısını 4 aşamada değerlendirme yaklaşımı (1:Başlangıç, 4:Uzman)
M2DDM	(Weber ve ark, 2017)	6	Organizasyon yapısını 6 aşamada değerlendirme yaklaşımı (0:Enformasyon Kullanılmıyor, 5: Kendi Kendini Optimize Eden Fabrika)
Akıllılık Değerlendirme Çerçevesi	(Lee ve ark, 2017)	4	Organizasyon yapısını 5 aşamada değerlendirme yaklaşımı (1:Kontrol Edilebilir, 5: Özerklik)
SIRI	(Singapore, 2018)	3	Organizasyon yapısını 6 aşamada değerlendirme yaklaşımı (0:Tanımsız, 5:Akıllı Organizasyon)
Akıllı Üretim Olgunluk Modeli	(Mittal ve ark, 2018)	5	Organizasyon yapısını 5 aşamada değerlendirme yaklaşımı (1:Acemi, 5:Uzman Organizasyon)
Dijitalleşme İçin Ön Olgunluk Modeli	(Sjödin ve ark, 2018)	3	Organizasyon yapısını 4 aşamada değerlendirme yaklaşımı (1:Bağımlı Teknolojiler, 4: Akıllı, Öngörülebilir Üretim)
Çok Boyutlu Olgunluk Modeli	(Zeller ve ark, 2018)	4	Organizasyon yapısını 6 aşamada değerlendirme yaklaşımı (1: Bilgisayarlaştırma, 6: Adapte Edilebilirlik)
Endüstri 4.0 için Olgunluk ve Hazırlık Modeli	(Akdil ve ark, 2018)	3	Organizasyon yapısını 4 aşamada değerlendirme yaklaşımı (0:Uygulanmayan, 3: Olgun)
Endüstri 4.0'ın uygulanmasına hazır olma derecesi	(Pacchini ve ark, 2019)	8	Organizasyon yapısını 6 aşamada değerlendirme yaklaşımı (1: Embriyonik, 6: Hazır)
Lojistik 4.0 Olgunluk Modeli	(Oleśków-Szłapka ve Stachowiak, 2019)	3	Organizasyon yapısını 5 aşamada değerlendirme yaklaşımı (1:Yoksayan, 5: Teknoloji Entegreli Üretim)

2.2. Bulanık DEMATEL Çalışmaları

Karar verme deneme ve değerlendirme laboratuvarı olarak bilinen DEMATEL, modeldeki kriterler arasındaki karşılıklı bağımlılık ilişkilerini matrisler yardımıyla bir neden-sonuç grubuna dönüştürmekte ve bir etki ilişki diyagramı aracılığıyla karmaşık bir sistem yapısının ortaya koymaktadır (Si ve ark, 2018). Literatür incelendiğinde dijital dönüşüm süreci ile ilgili kurulan modellerde DEMATEL yönteminin kullanımı oldukça yaygındır (Bhagawati ve ark, 2019; Birgün ve Ulu, 2021; Kumar ve ark, 2021; Nimawat ve Gidwani, 2021). Yapılan çalışmalar dijital dönüşüm süreçleri ile alakalı kurulan modellerde kriterler arasındaki etkileşimin önemini ortaya koymaktadır.

Karar verme karmaşık bir yapıya sahiptir ve bulanık bir ortamda çeşitli faktörlere dayanır. Bulanık DEMATEL yöntemi, çeşitli kriterler arasında karşılık gelen etkiyi (dolaylı ve doğrudan) gösterme konusunda benzersiz bir yetenek göstermektedir. Ayrıca, bulanık DEMATEL yöntemi, karşılıklı kriterlerin etkileşimlerini göz önünde bulundurarak her bir kriterin ağırlığını değerlendirmek için nitel yanıtı nicel ölçümlere dönüştürebilme yeteneğine sahiptir. Bulanık DEMATEL yöntemi seçim problemleri (Baykasoğlu ve ark, 2013; Chang ve ark, 2011; Mehregan ve ark, 2014; Tadić ve ark, 2014), sağlık (Dizbay ve Öztürkoğlu, 2021; Ghadami ve ark, 2021; Ocampo ve Yamagishi, 2020; Suzan ve Yavuzer, 2020;), tarım (Hosseini ve ark, 2022; Mangla ve ark, 2018; Pourkhabbaz ve ark, 2015;), gıda (Kurniawati ve Yulianto, 2015; Liu ve ark, 2021; Ocampo ve ark, 2020; Sharma ve ark, 2018), finans (Dinçer ve Yüksel, 2021; Taghavifard ve ark, 2017; Tsai ve ark, 2016), iş stratejileri (Acuña-Carvajal ve ark, 2019; Chirra ve Kumar, 2018; Jassbi ve ark, 2011), turizm (Jeong ve ark, 2016; Saghih ve Hajmandi, 2020) gibi çok çeşitli çalışma alanlarında uygulanmıştır.

Bulanık küme teorisi, karar vermede insan düşüncelerinin belirsizliğini yöntem algoritmalarına aktarmak için oldukça yararlıdır. Tablo 2.2’de bazı bulanık DEMATEL ve entegre yöntemlerinin yer aldığı dijital dönüşüm sürecini inceleyen çalışmalara yer verilmiştir.

Tablo 2.2. Dijital dönüşüm alanında bazı bulanık DEMATEL çalışmaları.

Referans	Çalışma Amacı	Kullanılan Yöntem
(Sadeghi-Niaraki, 2020)	Ülkelerin dijital dönüşüm seviyelerinin sıralanması	Bulanık DEMATEL + Bulanık ANP + VIKOR
(Vinodh ve Wankhede, 2020)	Dijital dönüşüm temelinde işgücü kriter ve özelliklerinin değerlendirilmesi	Bulanık DEMATEL + Bulanık CODAS
(Raj ve ark, 2020)	İmalat sektöründe endüstri 4.0 teknolojilerinin benimsenmesinin önündeki engellerin belirlenmesi	Gri DEMATEL
(Yavas ve Ozen, 2020)	Lojistik merkezler için dijital dönüşüm açısından önemli kriterleri ortaya çıkarmaktır.	Bulanık DEMATEL
(Machado ve ark, 2021)	Küçük ve orta ölçekli işletmelerin tedarik zincirlerinde endüstri 4.0 ve sürdürülebilirliğin entegrasyonu için engellerin incelenmesi	Bulanık Mantık ve Bulanık DEMATEL
(Thavi ve ark, 2021)	Eğitim sektöründe bulut bilişimin benimsenmesini etkileyen faktörlerin incelenmesi	Bulanık DEMATEL
(Abdul-Hamid ve ark, 2021)	Ekolojik modernizasyon teorisi perspektifinden dijital dönüşümün itici güçleri ve bağlantılarının ortaya çıkarılması.	Delphi + Bulanık DEMATEL
(Elibal ve Özceylan, 2022)	Olgunluk modellerinin karşılaştırılması	Bulanık DEMATEL + TOPSIS
(Abdullah ve ark, 2022)	Üretim stratejilerinde dijital dönüşüm odaklı anahtar faktörlerin belirlenmesi	Bulanık DEMATEL
(Kumar ve ark., 2022)	Dijital dönüşüm sürecinin sosyal boyutlarda incelenmesi	Bulanık DEMATEL

2.3. Bulanık Bilişsel Haritalar Çalışmaları

Bulanık bilişsel haritalar, bulanık mantık ve yapay sinir ağları tekniklerinin özelliklerini birleştiren esnek bir hesaplama yaklaşımıdır. Axelrod (1976) tarafından önerilen bilişsel haritalar yaklaşımından sonra, bulanık bilişsel haritalar kavramı Kosko (1986) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Kosko'nun bilişsel haritalar yöntemi üzerinde yaptığı en önemli iyileştirme, bulanık mantık kavramının entegrasyonudur. Bulanık bilişsel haritalar yöntemi araştırmacılar için karmaşık sistemleri modellemek ve kontrol etmek için yararlı bir yaklaşım olarak görülmektedir.

İnsanın düşünme yapısı, bilişsel bir model için belirsizlik ve eksik veriler ile karşı karşıya gelmektedir. Bulanık bilişsel haritalar yöntemi eksik, belirsiz ve kesin olmayan verilerle çalışabilme özelliğine sahiptir (Papageorgiou, 2014). Bulanık bilişsel haritalar, doğrusal olmayan karmaşık sistem dinamiklerine izin vermek için geri besleme döngülerine sahip yönlendirilmiş grafiklerdir. Modelinin önemi, problemin faktörlerini ve ilişkilerini bulanık bir şekilde temsil etmesi özelliğinde yatmaktadır. Başka bir deyişle, BBH, değişkenler veya kriterler olarak da bilinen düğümlerden ve

düğümder arasında neden-sonuç ilişkileri olarak da bilinen kesin olmayan nedensel ilişkilerden oluşur. İki düğüm arasındaki ilişki, sırasıyla ilişkinin türünü, gücünü ve yönünü ifade etmek için bir işaret, büyüklük ve ok içerir. Uzmanlar, çeşitli etki alanı problemlerini modellemek için BBH'ını çizerler. Bu sürece BBH geliştirme veya alan bilgisi gösterimi denir. BBH'ın geleneksel haritalama yöntemlerine göre bazı belirli avantajlı özellikleri vardır; daha fazla bilgi yakalarlar kavramlar arasındaki ilişkiler dinamik, birleştirilebilir, ayarlanabilirdir ve gizli ilişkileri ifade eder (Bertolini ve Bevilacqua, 2010). Ortaya çıkan bulanık model, parametrelerin etkisini analiz etmek, simüle etmek, test etmek ve sistemin davranışını tahmin etmek için kullanılabilir.

Öğrenme algoritmaları, bulanık bilişsel haritalar yönteminde kavramlar arasında ilişkilerin verildiği ağırlık matrisini güncelleyerek, modelleme ve tahmin görevinde çalışmalarını ve doğruluklarını geliştirmeleri için kullanılırlar. Bu algoritmaların analizi ve geliştirilmesi, uzmanların bilgisi ve/veya geçmiş veriler temelinde güncellenen ağırlıklar üzerinde yoğunlaşmıştır (Papageorgiou, 2012).

Literatürde çeşitli alanlarda BBH yönteminin oldukça fazla kullanıldığı görülmektedir: politik değerlendirmeler (Tsadiras ve ark, 2003; Ziv ve ark, 2018), karmaşık sistemleri modelleme (Bakhtavar ve ark, 2021; Mpelogianni ve ark, 2019), coğrafi bilgi sistemleri (Altameem ve Amoon, 2019), elektrik devrelerinin analizi (Polyakov ve Ivanov, 2018), sosyo-ekolojik sistemler (Nair ve ark, 2020; Reckien, 2014; Zaccaria ve ark, 2013), ekonomi (Ferreira ve ark, 2017; Konti ve ark., 2022; Nozari ve ark, 2021; Penn ve ark, 2013), veri madenciliği (Kireev ve ark, 2018), bilgi teknolojisi (Ladeira ve ark, 2019; Xixi ve ark, 2022), eğitim (Mendonca ve ark, 2015; Yesil ve ark, 2013;), tarım (Ghanbari ve ark, 2022; Papageorgiou ve ark, 2011), sağlık (Mendonca ve ark, 2015; Tirovolas ve Stylios, 2022), afetler (Linardos ve ark, 2022; Maskrey ve ark, 2022) gibi alanlarda çalışmalar yapılmış ve son yıllarda bu alanların sayısı da artmaktadır.

BBH'ın klasik olarak uygulanan modelinden sonra literatürde öğrenme algoritmalarının yer aldığı birçok çalışma yapılmıştır. Bu tez çalışmasında doğrusal olmayan Hebbian ve diferansiyel evrim algoritmaları birlikte kullanılmıştır.

Papageorgiou ve ark. (2005a) yaptıkları çalışmada doğrusal olmayan Hebbian ve diferansiyel evrimsel öğrenme algoritmaları kullanarak yeni bir hibrit model önermişlerdir. Çalışmalarında üç farklı problem için geliştirdikleri hibrit öğrenme

algoritmalarını uygulayarak doğruluğu yüksek sonuçlar elde etmişlerdir. Literatüre bu iki öğrenme algoritmasının ilk defa kullanıldığı çalışma olarak katkıda bulunması nedeniyle önemlidir.

Ghazanfari ve ark. (2007) genetik algoritma ve benzetimli tavlama algoritmalarını BBH'da öğrenme algoritması olarak kullanmışlardır. Literatürde bu iki algoritmanın kullanılması bir ilk teşkil etmektedir. Önerdikleri yöntem sadece kriterler arasındaki ilişkilerin tespitini değil, kriter ağırlıklarının da tespit edilmesini sağlamaktadır.

Zhu ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada doğrusal olmayan Hebbian ve genetik algoritma metotlarının BBH yapısında öğrenme algoritmaları olarak tanımlayan hibrit bir kullanımda bulunmuşlardır. Önerdikleri modelde, sistemin karmaşıklığı arttığında sonuçların bulunmasının zaman olarak artacağından bahsetmişlerdir. Ayrıca çalışmalarının temel alınarak önerdikleri yöntemin geliştirilebileceği tavsiyesinde bulunmuşlardır.

Nápoles ve ark. (2014) HIV-1 ilaç direncinin davranışını analiz etmek için BBH yöntemine dayalı hibrit bir model önermişlerdir. Bu amaç göz önünde bulundurularak, modelleme parametrelerini optimize etmek için parçacık sürü ve karınca kolonisi algoritmalarını kullanan iki aşamalı bir öğrenme algoritması tanıtılmıştır. HIV-1 ilaç direncini tahmin etmeye ve ayrıca iyi bilinen yedi proteaz inhibitörü için dirençle doğrudan ilişkili etkileşimler hakkında ilgili bilgileri keşfetmeye olanak tanıyan tamamen optimize edilmiş bir prototip haritası elde etmişlerdir.

3. METODOLOJİ

Bu bölümde tez kapsamında kullanılan bulanık DEMATEL ve BBH yöntemleri ayrı ayrı ele alınarak detaylandırılmıştır. Ayrıca BBH yönteminde kullanılan öğrenme algotirmalarının kullanımıyla ilgili bilgiler sunulmaktadır.

3.1. Bulanık DEMATEL Yöntemi

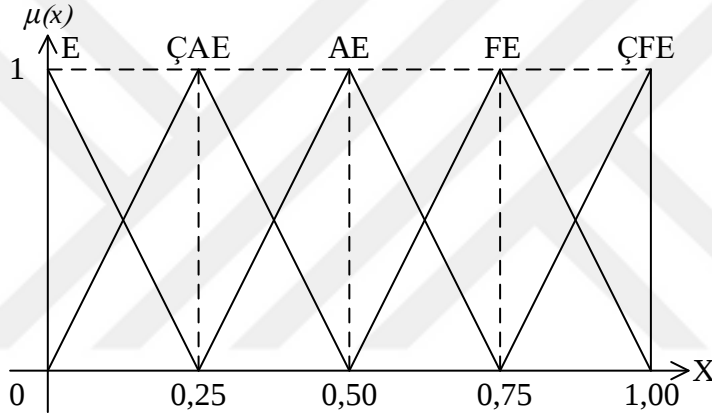
1972 yılında Battelle Memorial Enstitüsü Araştırma Merkezi'nde karmaşık problemlerin analizini yapabilmek için probleme ait farklı faktörler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi çalışmalarıyla DEMATEL yöntemi literatüre kazandırılmıştır (Gabus ve Fontela, 1972). Bu yöntem karmaşık problemlerde faktörler arasındaki ilişkilerin görsel ve sayısal anlamda yorumlanması için oldukça kullanışlı ve pratiktir. Sonuç olarak faktörler arasında etkileyen ve etkilenen derecelerin anlaşılır bir duruma getirilmesini sağlamaktadır (Lin ve Wu, 2004). DEMATEL yöntemi ile Sharma ve ark. (2020) çevre, Maqbool ve Khan (2020) sağlık, Torbacki ve ark. (2019) lojistik, Dalvi-Esfahani ve ark. (2019) sosyal medya bağımlılığı, Luthra ve ark. (2016) enerji gibi çeşitli alanlarda çalışmalar yayınlamışlardır.

Bulanık DEMATEL yöntemi, geleneksel DEMATEL yöntemine bulanık sayıları entegre edip gerçek dünya problemlerinin daha iyi ortaya konulması ve sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Bir grup uzmanın görüşlerine dayalı olup bulanık çevre temelli bulanık DEMATEL yönteminin işlem adımları aşağıdaki gibidir (Lin ve Wu, 2008):

- Üzerinde çalışılacak problemin karar hedefinin belirlenmesi ve bu doğrultuda problem hakkında bilgi sahibi olan uzmanlardan oluşan bir grup oluşturulması.
- Problemin faktörlerinin ve faktörleri değerlendirmek için bulanık dilsel değişkenlerin belirlenmesi. Geleneksel DEMATEL yönteminden farklı olarak bulanık DEMATEL yönteminde uzman değerlendirmelerinin belirsizliklerini ele almak için grup karar vermede dilsel değişkenler kullanılmaktadır (Li, 1999). Dilsel değişkenlere ait bulanık sayılar Tablo 3.1'de, grafiksel gösterimi ise Şekil 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Dilsel terimler ve üçgensel bulanık sayılar.

Dilsel Terimler	Üçgensel Bulanık Sayılar
Etkisiz (E)	(0 0 0,25)
Çok Az Etkili (ÇAE)	(0 0,25 0,50)
Az Etkili (AE)	(0,25 0,50 0,75)
Fazla Etkili (FE)	(0,50 0,75 1,00)
Çok Fazla Etkili (ÇFE)	(0,75 1,00 1,00)

**Şekil 3.1.** Üçgensel bulanık grafik.

- Karar vericilerin değerlendirmelerinin alınarak ortalamalarının bulunması. Bu aşamada p adet uzmandan faktörler arası ilişkiler ile ilgili ikili olarak dilsel terimler ile değerlendirme yapmaları istenir. Her uzman için $\tilde{Z}^1, \tilde{Z}^2, \dots, \tilde{Z}^p$ bulanık matrisi oluşturulur. Daha sonra ortalamaları bulunarak $\tilde{Z}$ matrisi (Denklem 3.1) elde edilir. $\tilde{Z}$ matrisine aynı zamanda direkt ilişki matrisi de denmektedir.

$$\tilde{Z} = \frac{\tilde{Z}^1 + \tilde{Z}^2 + \dots + \tilde{Z}^p}{p} \quad (3.1)$$

$\tilde{Z}$ direkt ilişki matrisi aşağıdaki gibidir. $\tilde{z}_{ij}$ değerleri $(\ell_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ bulanık sayılarına karşılık gelmektedir. n , faktör sayısını ifade etmektedir.

$$\tilde{Z} = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{z}_{12} & \cdots & \tilde{z}_{1n} \\ \tilde{z}_{21} & 0 & \cdots & \tilde{z}_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \tilde{z}_{n1} & \tilde{z}_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

- Normalize edilmiş direkt ilişki matrisinin hesaplanması. Direkt ilişki matrisinin normalizasyonu sonucu oluşan normalize direkt ilişki matrisi ($\tilde{X}$) aşağıdaki gibidir. Denklem 3.2 ve Denklem 3.3 kullanılarak $\tilde{x}_{ij}$ bulanık sayıları hesap edilmektedir.

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & 0 & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{r} = \left(\frac{\ell_{ij}}{r}, \frac{m_{ij}}{r}, \frac{u_{ij}}{r} \right) \quad (3.2)$$

$$r = \max_{1 \leq i \leq n} \left(\sum_{j=1}^n u_{ij} \right) \quad (3.3)$$

- Toplam ilişki matrisinin ($\tilde{T}$) hesaplanması. Toplam ilişki matrisi hesaplanırken normalize edilmiş direkt ilişki matrisi olan $\tilde{X}$ 'in her $(\ell'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij})$ elemanları için ayrı birer matris oluşturularak Denklem 3.4-3.6 işlemleri uygulanmaktadır.

$$\tilde{X}_\ell = \begin{bmatrix} 0 & \ell'_{12} & \cdots & \ell'_{1n} \\ \ell'_{21} & 0 & \cdots & \ell'_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \ell'_{n1} & \ell'_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad \tilde{X}_m = \begin{bmatrix} 0 & m'_{12} & \cdots & m'_{1n} \\ m'_{21} & 0 & \cdots & m'_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ m'_{n1} & m'_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{X}_u = \begin{bmatrix} 0 & u'_{12} & \cdots & u'_{1n} \\ u'_{21} & 0 & \cdots & u'_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ u'_{n1} & u'_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \tilde{t}_{11} & \tilde{t}_{12} & \cdots & \tilde{t}_{1n} \\ \tilde{t}_{21} & 0 & \cdots & \tilde{t}_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \tilde{t}_{n1} & \tilde{t}_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix}, \tilde{t}_{ij} = (\ell''_{ij}, m''_{ij}, u''_{ij},)$$

$$[\ell''_{ij}] = \tilde{X}_\ell \times (I - \tilde{X}_\ell)^{-1} \quad (3.4)$$

$$[m''_{ij}] = \tilde{X}_m \times (I - \tilde{X}_m)^{-1} \quad (3.5)$$

$$[u''_{ij}] = \tilde{X}_u \times (I - \tilde{X}_u)^{-1} \quad (3.6)$$

- DEMATEL yönteminde olduğu gibi (D+R) ve (D-R) değerlerinin hesaplanması. Öncelikle toplam ilişki matrisinin her $\tilde{t}_{ij} = (\ell''_{ij}, m''_{ij}, u''_{ij})$ elemanı için durulaştırma yöntemi uygulanır. Durulaştırma işlemi sonucunda bulunan $\tilde{T}^{CFCS}$ matrisindeki satır toplamı olan D değeri her bir kriterin aldığı toplam etkiyi, R ise her bir kriterin diğer kriterlere olan toplam etkisini göstermektedir.

$$\tilde{T}^{CFCS} = \begin{bmatrix} t_{11}^{CFCS} & t_{12}^{CFCS} & \dots & t_{1n}^{CFCS} \\ t_{21}^{CFCS} & t_{22}^{CFCS} & & t_{2n}^{CFCS} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ t_{n1}^{CFCS} & t_{n2}^{CFCS} & \dots & t_{nn}^{CFCS} \end{bmatrix}, t_{ij}^{CFCS} = (\ell''_{ij}, m''_{ij}, u''_{ij})^{CFCS}$$

Durulaştırma işlemi bulanık olan sayıları kesin sayılar haline getirme işlemidir. Literatürde en popüler olan durulaştırma yöntemlerinden biri ağırlık merkezi (Centre of Gravity) metodudur (Yager ve Filev, 1994). Fakat ağırlık merkezi metodunda aynı ortalamaya sahip iki simetrik bulanık sayıyı ayırt edememektedir. Bu çalışmada durulaştırma yöntemi olarak daha yüksek üyelik fonksiyonları ile aynı ortalamalara sahip iki simetrik bulanık sayıyı ayırt edebilmeyi sağlayan CFCS (Converting Fuzzy Data into Crisp Scores) seçilmiştir (Opricovic ve Tzeng, 2003). Durulaştırma işleminin adımları aşağıdaki gibidir. $f_{ij}, (\ell_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ ve t ise toplam ilişki matrisindeki matris elemanları olsun.

- Denklem 3.7 ve Denklem 3.8'deki işlemler ile normalize işleminin gerçekleştirilmesi.

$$R = \max_j u_{ij}, L = \min_j \ell_{ij}, \text{ ve } \Delta = R - L \quad (3.7)$$

$$t_{\ell j} = (\ell_{ij} - L)/\Delta, t_{mj} = (m_{ij} - L)/\Delta, t_{uj} = (u_{ij} - L)/\Delta \quad (3.8)$$

- Denklem 3.9 ile sağ (rs) ve sol (ls) normalize değerlerin bulunması.

$$t_j^{rs} = t_{uj}/(1 + t_{uj} - t_{mj}), t_j^{ls} = t_{mj}/(1 + t_{mj} - t_{\ell j}) \quad (3.9)$$

- Denklem 3.10 kullanılarak toplam normalize net değerin hesaplanması.

$$t_j^{net} = [t_j^{ls} \times (1 - t_j^{ls}) + t_j^{rs} \times t_j^{rs}]/[1 - t_j^{ls} + t_j^{ls}] \quad (3.10)$$

- f_{ij}^{net} durulaştırılmış değerlerin Denklem 3.11 ile elde edilmesi.

$$f_{ij}^{net} = L + t_j^{net} \times \Delta \quad (3.11)$$

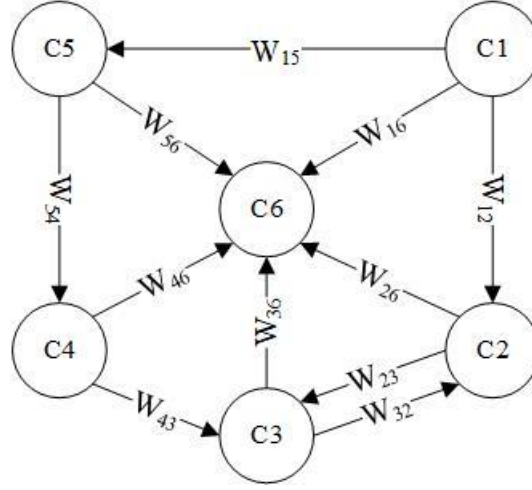
3.2. Bulanık Bilişsel Haritalar

Bilişsel haritalar bir modele ait etmenlerin ilişkilerini ortaya koyabilmek ve modelin analizini yapabilmek için 1948 yılında literatüre kazandırılmıştır (Tolman, 1948). Karmaşık sistemlerin modellenmesi karar vericiler açısından oldukça önemlidir. Bilişsel haritalar da sistemlerin modellenmesi olmasını sağlamakla birlikte aynı zamanda sistemdeki kriterlerin aralarındaki ilişkilerin ortaya çıkarılarak sistemin geliştirilebilmesi için gerekli ön veriyi alabilmeye imkan sunmaktadır (Kwahk ve Kim, 1999).

Bilişsel haritalar, sistemdeki nedenselliği ortaya koymaktadır. Harita üzerinde kriterler arasındaki okların (+) olması o kriterler arasındaki pozitif bir ilişkinin varlığını göstermektedir. (-) değerler ise kriterler arasındaki ilişkinin negatif olduğunu belirtmektedir. Bilişsel haritalar yönteminde (+) ve (-) değerler ikili olarak (∓ 1) şeklinde ele alınmaktadır (Marchant, 1999).

Bulanık bilişsel haritalar, bilişsel haritaların geliştirilmesinden sonra Kosko (1986) tarafından önerilen, karmaşık bir sistemin modellenmesi ve tanımı için açıklayıcı nedensel bir temsildir (Stylios ve Groumpos, 2004). Zadeh (1965) tarafından geliştirilen bulanık mantığın avantajlarını kullanarak bilişsel haritalar ile bütünleşik bir yöntem olarak literatüre sunulmuştur.

Bir bulanık bilişsel harita sistemin kavram değişkenlerini belirten düğümler ve bu düğümlerin arasındaki ilişkilerin gösterildiği oklardan meydana gelmektedir. Haritada okların yönüne bakılarak başlangıç düğümünün bitiş düğümünün etkilediğini göstermektedir. Şekil 3.2’de basit bir bulanık bilişsel haritalar yapısı verilmiştir.



Şekil 3.2. Basit bir bulanık bilişsel harita.

Düğümelerde yer alan C_i değerleri sistemin kriterlerini belirtmektedir. Kriterler ile karmaşık bir sistemde bir varlığı, durumu, olayı, aksiyonu, amaçları, hedefleri veya sistemin trendlerini göstermek mümkündür (Andreou ve ark, 2005). W_{ij} değerleri ise kriterler arasındaki ilişkilerin gücünü ortaya koyan ilişki ağırlıklarıdır. Bu ilişki ağırlıkları için 3 durumdan bahsedilebilmektedir:

- $W_{ij} > 0$, C_i ve C_j kriterleri arasında pozitif bir ilişkiyi göstermektedir. C_i kriterindeki bir artış, C_j kriterinde de bir artışa neden olmaktadır. Aynı şekilde eğer C_i kriterinde bir azalış meydana gelirse, C_j kriterinde de bir azalışa neden olmaktadır.
- $W_{ij} < 0$, C_i ve C_j kriterleri arasında negatif bir ilişkiyi göstermektedir. C_i kriterindeki bir azalış, C_j kriterinde de bir artışa neden olmaktadır. Aynı şekilde eğer C_i kriterinde bir artış meydana gelirse, C_j kriterinde bir azalışa neden olmaktadır.
- $W_{ij} = 0$, C_i ve C_j kriterleri arasında herhangi bir ilişkinin bulunmadığını göstermektedir (Tsadiras, 2008).

W ağırlık matrisi elde edildikten sonra Denklem 3.12'deki bulanık bilişsel haritalar aktivasyon fonksiyonu kullanılır. A vektörü sistemin kriterlerinin tanımlanması için kullanılan bir başka deyişle kriter sayısı kadar elemanı olan durum vektörüdür. $A_i^{(k)}$, sistemin k zamanında bulunduğu durumdaki vektör değerleri, $A_i^{(k+1)}$ ise $(k + 1)$ zamanında A vektörünün durum değerleridir. Denklem 3.12'nin uygulanması ile her bir düğüm için A_i , muhtemelen bir denge noktasında yönlendirecektir (Kosko, 1986).

Fakat sistemler yapılarına göre bazı modellerde, her farklı A için sabit noktalara yönelme veya kaotik bir davranış sergileme durumlarına yönelebilirler (Dickerson ve Kosko, 1993).

$$A_i^{(k+1)} = f \left(A_i^{(k)} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (A_j^{(k)} * W_{ij}) \right) \quad (3.12)$$

Bulanık bilişsel haritalar yönteminde modelin yapısına göre eşik değer fonksiyonu olan f algoritmadan çıkan sonuçların belirli değerlerde veya aralıklarda kalmasını sağlamaktadır. Literatürde birçok dönüşüm fonksiyonu kullanılmakla beraber en çok kullanılanlar aşağıda verilmiştir.

İkili dönüşüm fonksiyonu Denklem 3.13'te verilmiştir. Bu fonksiyon aktivasyon fonksiyonundan çıkan x değerlerine göre ya 1 ya da 0 sonucu üretmektedir. Yani bulunan kriterin aktive edildiğini veya edilmediğini göstermektedir (Kosko, 1988).

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (3.13)$$

Üç değerli dönüşüm fonksiyonu Denklem 3.14'te verilmiştir. Bu fonksiyon aktivasyon fonksiyonundan gelen x değerlerine göre 1, 0, -1 değerleri üretmektedir. Aktive edilen kriterin değeri 1 olduğunda kriterde artış, 0 olduğunda değişmeme ve -1 olduğunda düşüş eğilimi olduğu sonucuna varılır (Taber, 1994).

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases} \quad (3.14)$$

Sigmoid ve tanjant dönüşüm fonksiyonları Denklem 3.15 ve Denklem 3.16'da sırasıyla verilmiştir. Sigmoid fonksiyonu değerlerin $[0,1]$ arasında kalmasını sağlarken, tanjant fonksiyonu ise değerlerin $[-1,1]$ arasında kalmasını sağlamaktadır (Tsadiras, 2008). Her iki denklem için de modele özgü c değerleri $0 < c \leq 1$ arasında alınabilmektedir (Kottas ve ark, 2010).

$$f(x) = \frac{e^{2xc} - 1}{e^{2xc} + 1} \quad (3.15)$$

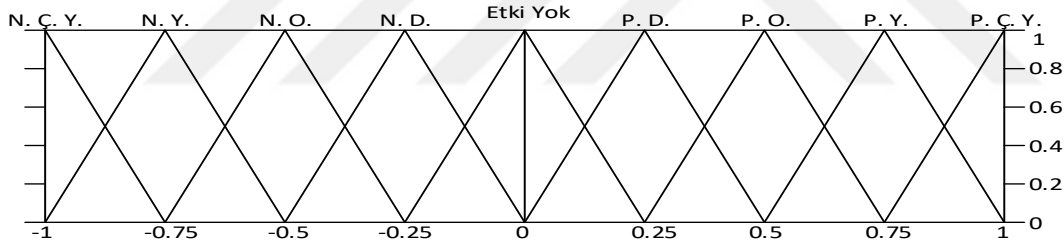
$$f(x) = \tanh(xc) \quad (3.16)$$

3.2.1. Bulanık bilişsel harita oluşturma metotları

Karmaşık problemlerin modellenmesi aşamasında ilk olarak kavramların ve kavramlar arasındaki ilişkilerin yönlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yönler de oy birliği ile belirlendikten sonra kavramlar arası ilişki ağırlıkları tespit edilmektedir. Bulanık bilişsel haritalar yönteminde kavramlar arası ilişki haritasının oluşturulması için uzman görüşleri tabanlı bazı yöntemler uygulanmaktadır. Ayrıca geçmiş verilerden faydalanarak haritaların oluşturulması da mümkündür.

3.2.1.1. Dilsel değişkenlerin atanması

Çoğu karmaşık problemde karar vericiler için sayısal olarak ilişkilerin ifade edilmesi oldukça güç olmaktadır. Çalışmalarda yer alan her uzmana, Şekil 3.3'te örnek olarak verilen dilsel değişkenlerden birini kullanarak ilgili kavramlar arasındaki ilişkiyi tanımlaması istenmektedir (Fuller, 2000).



Şekil 3.3. Dilsel değişkenlerin yapısı.

BBH yönteminde $[-1, 1]$ aralığında tanımlanan bulanık kümeleri ifade eden dilsel değişkenler kullanılabilir. Kriterler arasındaki etkinin gücünü bu dilsel değişkenler göstermektedir. Şekil 3.3'te toplam 9 adet dilsel değişkene karşılık gelen üyelik fonksiyonları görülmektedir. Bunlar negatif çok yüksek, negatif yüksek, negatif orta, negatif düşük, etki yok, pozitif düşük, pozitif orta, pozitif yüksek ve pozitif çok yüksek olarak tanımlanmıştır. Dilsel değişkenlerin sayısı ve üyelik fonksiyonlarının dereceleri tamamen karar vericinin inisiyatifinde olmaktadır. Probleme göre dilsel değişken sayısı artırılıp, azaltılabilir. Çok fazla dilsel değişken kullanmak uzmanlar açısından karar verme güçlüğü yaratabilecek ve doğru sonuçlardan

uzaklaşılabilir. Tam tersi çok az sayıda dilsel değişken kullanmak da gerçekçi sonuçlardan uzaklaşmaya neden olabilecektir.

Uzmanlar tarafından kriterler arasındaki değerlendirmeler yapılmaktadır. Her uzman, Şekil 3.3'teki örnek yapıdaki gibi modeldeki kriterler arası etkileşimleri değerlendirir, dilsel değişkenlere karşılık gelen üyelik fonksiyonları küme birleşimi yapılarak toplanır. Son olarak bulanık sayıların kesin sayılara dönüşümü için durulaştırma yöntemlerinden biri kullanılmaktadır. BBH çalışmalarında genellikle ağırlık merkezi yöntemi kullanılmaktadır (Van Broekhoven ve De Baets, 2006).

3.2.1.2. Sayısal ağırlıkların atanması

Karmaşık sistemlerde sistem hakkındaki uzman görüşleri oldukça öznel bir yapıya sahiptir. Bu sebeple mutlaka bir grup uzman görüşünden yararlanmak oldukça önemli hale gelmektedir. Sistem içindeki kavramların incelenmesinde uzmanların görüşleri bireysel olarak alınır ve farklı ağırlık matrisleri oluşturulur. Sistem içindeki kavramlar aynı olmakla beraber ilişkilerin arasındaki bağlantılar değişebilmektedir. Sonuç olarak ayrı BBH'ler, tek bir toplu BBH'de toplanmaktadır. Farklı ağırlık matrislerinin toplamı için kullanılan en popüler yaklaşım Denklem 3.17'de verilmiştir.

$$W = f \left(\sum_{k=1}^N b_k W_k \right) \quad (3.17)$$

Burada W toplam ağırlık matrisi; f eşik değer fonksiyonu; W_k bireysel ağırlık matrisi; b_k her bir uzmanın sisteme olan katkısı; N uzman sayısını vermektedir. Uzmanların sistem hakkında farklı deneyimleri ve öznel bilgileri olduğu kabul edilmektedir. Bu nedenle, sistem bilgisi konusunda farklı güvenilirliğe sahip uzmanların olduğu düşünülmektedir ve bu uzmanlar için, BBH'ların oluşturulmasına katkıları, diğer uzmanların görüşleri ile birleştirilmeden önce negatif olmayan bir "güvenilirlik" ağırlığı b_k ile çarpılabilir (Stylios ve Groumpos, 2004).

3.2.1.3. Farklı bulanık bilişsel haritaların sentezlenmesi

Bu yöntem uygulanırken, bir sistem için farklı BBH'ler oluşturularak daha sonra bu BBH'lerin birleştirilmesi sağlanmaktadır. Farklı haritalar arasında ortak kavramlar yoksa, farklı BBH'nin birleştirilmesi, kısmi BBH'nin kavramlarına bağlıdır. Sonuç

olarak birleştirilmiş toplam ağırlık matrisi ayrı ayrı alınan BBH ve farklı kavramların ağırlıklarını bünyesinde toplayacaktır.

Aşağıda farklı haritaların entegre edilmesi ile ilgili basit bir yapı sunulmuştur:

$$W_1 = \begin{pmatrix} W_{11} & 0 & W_{13} \\ 0 & 0 & W_{23} \\ 0 & W_{32} & 0 \end{pmatrix}$$

$$W_2 = \begin{pmatrix} 0 & W_{45} & W_{46} \\ W_{54} & W_{55} & W_{56} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$W_{top} = \begin{pmatrix} W_1 & 0 \\ 0 & W_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_{11} & 0 & W_{13} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_{32} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & W_{45} & W_{46} \\ 0 & 0 & 0 & W_{54} & W_{55} & W_{56} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

3.2.2. Bulanık bilişsel haritalar öğrenme metotları

Bulanık bilişsel haritalar yöntemi bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının avantajlarından faydalanan karmaşık modellerin analizindeki görsel yapısıyla oldukça popüler hale gelen bir yöntemdir. Uzmanların ilk verdiği bilgilerini ve/veya geçmiş verilerden öğrenilmiş ağırlıkları güncellemek için BBH ağırlık matrisini değiştiren verimli birçok öğrenme algoritması geliştirilmiştir (Papageorgiou, 2012). Öğrenme algoritmalarını Hebbian tabanlı, popülasyon tabanlı ve Hebbian-popülasyon tabanlı algoritmaları içeren bütünleşik hibrit algoritmalar olarak sınıflandırmak mümkündür. Tablo 3.2’de algoritma sınıfları ve örnek referanslar verilmektedir.

Tablo 3.2. Bulanık bilişsel haritalar için öğrenme algoritmaları.

Öğrenme Sınıfı	Öğrenme Türü	Referans
Hebbian Tabanlı	Diferansiyel Hebbian Öğrenme	(Kosko, 1988)
	Dengelenmiş Diferansiyel Öğrenme	(Huerga, 2002)
	Doğrusal Olmayan Hebbian Öğrenme	(Kannappan ve ark., 2011)
	Aktif Hebbian Öğrenme	(Papageorgiou ve ark., 2004)
	Veri Tabanlı Hebbian Öğrenme	(Stach ve ark., 2008)

Tablo 3.2. (Devamı) Bulanık bilişsel haritalar için öğrenme algoritmaları.

Öğrenme Sınıfı	Öğrenme Türü	Referans
Popülasyon Tabanlı	Parçacık Sürü Optimizasyonu	(Papageorgiou ve ark., 2005)
	Memetik Algoritma	(Zou ve Liu, 2018)
	Gerçek-Kodlu Genetik Algoritma	(Zhu ve Zhang, 2008)
	Genetik Algoritma	(Ghazanfari ve ark., 2007)
	Böl ve Yönet Algoritması	(Stach ve ark., 2010)
	Benzetimli Tavlama Algoritması	(Alizadeh ve Ghazanfari, 2009)
	Tabu Arama	(Alizadeh ve ark., 2007)
	Bağışıklık Algoritması	(Lin, 2009)
	Oyun Teorisi Tabanlı Algoritma	(Luo ve ark., 2010)
	Karınca Kolonisi Algoritması	(Chen et al., 2012)

3.2.2.1. Hebbian tabanlı öğrenme algoritmaları

Hebbian algoritmaları teorik olarak, sinir hücrelerinin aksonlarının birbirini etkileyecek düzeyde yakınlık ve ilişkiye sahip olduğunda bu etkileşimin tek yönlü veya çift yönlü olarak ilgili sinir hücreleri üzerinde değişimler gerçekleştirmesi gerçeği baz alınarak ortaya çıkmıştır. Daha sonra ise sinir hücrelerindeki bu yapının insan hayatına ve davranışlarına uyarlanarak geliştirilen matematiksel algoritmalar ile birçok çalışma yapılmıştır (Hebb, 1949). Hebbian tipi öğrenme başlangıç olarak sinir ağıları çalışmalarında kullanılan denetimsiz öğrenme algoritmalarıdır (Haykin, 2007). Denklem 3.18’de Hebbian tipi algoritma verilmiştir.

$$W_{ij}^{(t)} = \eta y_i^{(t)} x_j^{(t)} \quad (3.18)$$

W_{ij} , kriterler arasındaki ilişkinin değişimi, η öğrenme oranı, $x_j(t)$ değişkeni t zamanındaki girdi değeri ve $y_i(t)$ ise çıktı değeri olarak tanımlanmaktadır. W_{ij} , ilişki ağırlığı belirlenen durdurma kriteri sağlanana kadar devam etmektedir. Klasik olarak Denklem 4.18’de verilen eşitlik Denklem 3.19’da geliştirilerek Oja öğrenme algoritması oluşturulmuştur (Oja, 1982). Oja öğrenme algoritması birçok öğrenme algoritmasının temelini oluşturmaktadır.

$$W_{ij}^{(t+1)} = W_{ij}^{(t)} + \eta y_i^{(t)} x_j^{(t)} \quad (3.19)$$

Diferansiyel Hebbian öğrenme algoritması ilk kez bulanık bilişsel haritalara uygun bir şekilde Dickerson ve ark. (1993) tarafından önerilmiştir. Denklem 3.20'deki eşitlik ile kriterler arasındaki bağlantıya göre ilişki ağırlığının değişimi bulunmaktadır.

$$W_{ij}^{(t+1)} = \begin{cases} W_{ij}^{(t)} + \eta_t [\Delta A_i^{(t)} \Delta A_j^{(t)} - W_{ij}^{(t)}], & \Delta A_i^{(t)} \neq 0 \\ W_{ij}^{(t)}, & \Delta A_i^{(t)} = 0 \end{cases} \quad (3.20)$$

$$\Delta A_i^{(t)} = A_i^{(t)} - A_i^{(t-1)} \quad (3.21)$$

$$\eta_t = 0,1 \left[1 - \frac{t}{1,1N} \right] \quad (3.22)$$

Denklem 3.21 ile $\Delta A_i^{(t)}$ değişimi bulunarak, Denklem 4.30'deki ilgili eşitliğin uygulanması sağlanarak ilişki ağırlık değeri bulunmaktadır. η_t , öğrenme parametresi Denklem 3.23'te verilmiş olup; t , mevcut zamanı göstermekte ve N ise maksimum iterasyon sayısı olarak kabul edilmektedir. Denklem 4.20'de $\Delta A_i^{(t)} \Delta A_j^{(t)} < 0$ olur ise A_i ile A_j kriterleri arasında negatif, $\Delta A_i^{(t)} \Delta A_j^{(t)} > 0$ olur ise A_i ile A_j kriterleri arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır.

Dengelenmiş Hebbian algoritması ise diferansiyel Hebbian algoritmasında sadece iki kriterin ilişki ağırlığı baz alındığı için bu eksikliği gidermek üzerine geliştirilmiştir (Huerga, 2002). Böylelikle yalnızca $A_i^{(t)}$ ve $A_j^{(t)}$ kriterlerinin arasındaki bağlantının ilişki ağırlıkları üzerinde değişimi değil, aynı zamanda varsa bir başka kriterin de hesaba katılabilmesi amaçlanmıştır. Denklem 3.23 ile ilişki ağırlıklarının güncellenmesi ile ilgili eşitlik verilmiştir.

$$W_{ij}^{(t+1)} = \begin{cases} W_{ij}^{(t)} + \frac{A_i^{(t)}}{N} & , \quad i = j \\ W_{ij}^{(t)} + \eta_t \left[\frac{\Delta A_i^{(t)} / \Delta A_j^{(t)}}{\sum_{\substack{k=1 \\ \Delta A_i^{(t)} \Delta A_j^{(t)} > 0}}^n \Delta A_i^{(t)} / \Delta A_j^{(t)}} - W_{ij}^{(t)} \right] & , \quad i \neq j \text{ ve } \Delta A_i^{(t)} \Delta A_j^{(t)} > 0 \\ W_{ij}^{(t)} + \eta_t \left[\frac{-\Delta A_i^{(t)} / \Delta A_j^{(t)}}{\sum_{\substack{k=1 \\ \Delta A_i^{(t)} \Delta A_j^{(t)} > 0}}^n \Delta A_i^{(t)} / \Delta A_k^{(t)}} - W_{ij}^{(t)} \right] & , \quad i \neq j \text{ ve } \Delta A_i^{(t)} \Delta A_j^{(t)} < 0 \end{cases} \quad (3.23)$$

η_t , Denklem 3.22’de bulunan öğrenme parametresini, $W_{ij}^{(t+1)}$ ise ilişki ağırlığını göstermektedir. Kriterlerin arasındaki ilişkinin pozitif veya negatif olmasına göre ilişki ağırlıkları hesaplanmaktadır.

Bulanık bilişsel haritalar uzman bilgisine çok fazla derecede bağımlıdır. Bu nedenle bazı eksiklikleri bulunmaktadır. Doğrusal olmayan Hebbian öğrenme algoritması, bulanık bilişsel haritalar metodu uygulanırken istenilmeyen potansiyel yakınsama durumlarını ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir. Ayrıca bu öğrenme tipinde girdi ve çıktı kriterleri gibi ayrımlar da yapılabilmekte, bu kriterlerden istenilen için sınırlandırmalar yapılabilir (Papageorgiou ve ark, 2003; Papageorgiou ve Groumpos, 2005b). Denklem 3.24’te ilişki ağırlıklarının güncellenmesi ile ilgili geliştirilen eşitlik verilmiştir.

$$W_{ji}^{(t)} = \rho W_{ji}^{(t-1)} + \eta A_i^{(t-1)} (A_j^{(t-1)} - \text{sgn}(W_{ji}) W_{ji}^{(t-1)} A_i^{(t-1)}) \quad (3.24)$$

η , öğrenme oranı; ρ , ağırlık bozulma değişkenidir. $\text{sgn}(W_{ji})$ ağırlık yönünün değişmemesi (pozitiflik/negatiflik) için kullanılır. $-\text{sgn}(W_{ji}) W_{ji}^{(t-1)} A_i^{(t-1)}$ ise uzmanların tanımladığı başlangıç ağırlık değerinin istenilmeyen düzeyde yükselmemesini sağlamaktadır. Bu eşitlik ile sadece ağırlığı 0 olmayan kriterler arasındaki ilişki değerleri değiştirilmektedir. Durdurma kriteri olarak ise 2 adet eşitlik önerilmiştir. Bu eşitliklerden ilk kriter çıktı kriterinin ortalama istenilen değerlere yakınsaması ile ilgili olup Denklem 3.25 ve 3.26’ta verilmiştir.

$$\min D_1 = |\check{C}K_i - H_i| \quad (3.25)$$

$\check{C}K_i$, karar verici tarafından belirlenen çıktı kriterine ait her iterasyon sonucu elde edilen değer; H_i ise çıktı değerinin olması istenilen aralıktaki ortalama değerdir. Bu iki değişkenin minimize olması amaçlanmaktadır.

$$H_i = \frac{H_i^{\text{altsınır}} + H_i^{\text{üstsinir}}}{2} \quad (3.26)$$

İkinci kriter olarak ise çıktı değerlerinin iterasyonlar sonucu farklarının belirlenen değerden küçük olduğu durumda algoritmanın sona erdirilmesidir. Denklem 3.27’de ise ikinci durdurma kriteri belirtilmiştir. e , karar verici tarafından belirlenen değerdir.

$$D_2 = \left| \zeta K_i^{(t)} - \zeta K_i^{(t-1)} \right| < e \quad (3.27)$$

Doğrusal olmayan Hebbian algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir.

- A^0, W^0 başlangıç vektör ve ağırlık matrislerinin uzmanlar tarafından oluşturulması.
- Her (t) zamanı için iterasyonların devam ettirilmesi.
- $A_i^{(t)}$, (t) zamanında bir sonraki vektörün Denklem 3.12 kullanılarak hesaplanması.
- Denklem 4.24 kullanılarak güncellenmiş ağırlıkların bulunması.
- Durdurma kriterlerinin belirlenmesi ve her iterasyon adımı sonucu kontrol edilmesi.
- Durdurma kriteri sağlanınca son ağırlık matrisinin W_{DHL} bulunması.

Aktif Hebbian Öğrenme algoritması, diğer algoritmalarından farklı olarak kriterlerin belirli bir sıra ile eşzamansız olarak etkinleştirildiğini dikkate almaktadır. Model içerisindeki kriterler aktivatör ve aktive edilen olarak ayrılmaktadır. Bu şekilde, düğümün farklı aktivasyon zamanları göz önünde bulundurularak denge noktasına ulaşılır (Papageorgiou ve ark, 2004). Doğrusal olmayan Hebbian algoritmasında olduğu gibi değeri yalnızca 0 olmayan ağırlıklar güncellenmektedir. Denklem 3.28’de aktive olan kriterin bulunmasını sağlayan eşitlik verilmiştir.

$$A_i^{(t)} = f \left(A_i^{(t-1)} + \sum_{i=1, i \neq j}^n W_{ji} A_j^{akt(t-1)} \right) \quad (3.28)$$

$A_i^{(t-1)}$, aktive edilen C_i kriterinin $(t - 1)$ zamanındaki değerini; $A_j^{akt(t-1)}$, aktive eden C_j kriterinin $(t - 1)$ zamanındaki değerini göstermektedir. Ağırlıkların güncellenmesi için ise Denklem 3.29 kullanılmaktadır.

$$W_{ij}^{(t)} = (1 - \rho^{(t-1)})W_{ij}^{(t-1)} + \eta^{(t-1)}A_i^{(t-1)}(A_j^{(t-1)} - W_{ji}^{(t-1)}A_i^{akt(t-1)}) \quad (3.29)$$

η , öğrenme oranı; ρ ise ağırlık bozulma parametresi olup, hesaplanmasına yönelik kullanılan eşitlikler Denklem 3.30’da verilmiştir.

$$\begin{aligned} \eta^{(t-1)} &= a_1 e^{(-\lambda_1(t-1))} \\ \rho^{(t-1)} &= a_2 e^{(-\lambda_2(t-1))} \end{aligned} \quad (3.30)$$

$0,01 < a_1, a_2 < 0,09$, $0,1 < \lambda_1, \lambda_2 < 1$ aralıkları literatürde kullanılmakta olup, a_1, a_2, λ_1 ve λ_2 ise deneme yanılma yoluyla bulunan sabitlerdir. Daha sonra durdurma kriterleri belirlenip algoritma sonucunun alınması sağlanır.

Veri tabanlı Hebbian algoritması tarihsel verilerin kullanılmasını doğrusal olmayan Hebbian öğrenmesi ile birleştirilerek geliştirilmiştir. Doğrusal olmayan Hebbian algoritmasını veriler ve uzman görüşleri ile birleştirilerek daha efektif bir hale getirmek amaçlanmıştır. Denklem 3.12 kullanılarak her iterasyon için tekrar tekrar $A_i^{(t)}$ değerlerinin hesaplanması yerine tarihsel veriler kullanılır. Doğrusal olmayan Hebbian adımları uygulanırken aynı zamanda her adım sonucu belirlenen durdurma kriterleri kontrol edilerek sonuca ulaşılmaya çalışılmaktadır (Stach ve ark, 2008).

3.2.2.2. Popülasyon tabanlı öğrenme algoritmaları

Optimum ağırlık matrisinin elde edilmesinde kullanılan birçok optimizasyon tekniğine dayanmaktadır. Uzman görüşleri yerine ise veriye dayalı olarak kullanılmaktadırlar. Popülasyon tabanlı öğrenme algoritmalarında çeşitli amaç (uygunluk) fonksiyonları kullanılarak çözüme ulaşılması amaçlanmaktadır. Dezavantajlarından biri ise çok fazla zaman alabilmesidir (Salmeron ve ark, 2019). Tablo 3.2’de literatürde kullanılan bazı popülasyon tabanlı öğrenme algoritmaları verilmiştir.

3.2.2.3. Diferansiyel evrim algoritması

Diferansiyel evrim algoritması, Storn ve ark. (1996) tarafından geliştirilen paralel bir doğrudan arama yöntemidir. $W_{i,G}$ $i = 1, 2, 3, \dots, N$ burada N her iterasyon sonucu bulunan ve popülasyon olarak tanımlanan ağırlık matrisidir. Başlangıç popülasyon tüm çözüm uzayını kapsayacak şekilde ve rastgele seçilmekte, ayrıca düzgün dağıldığı varsayılmaktadır. Mutasyon ve çaprazlama operatörleri ile her iterasyonda yeni bireyler oluşturulmaktadır.

Her yeni $W_{i,G}$ $i = 1, 2, 3, \dots, N$ birey için Denklem 3.31’deki formül kullanılarak mutant vektör üretilir.

$$v_{i,G+1} = W_{r1,G} + F * (W_{r2,G} - W_{r3,G}) \quad (3.31)$$

$r1, r2$ ve $r3 \in 1, 2, 3, \dots, N$, rassal değişkenlerdir, F ise 0 ile 2 arasında 0 dahil olmamak iki vektör arasındaki diferansiyel varyasyonu etkileyen gerçek bir sabit parametredir ve mutasyon uygulamak için N'nin 4'e eşit veya büyük olması gerekir.

Mutasyon aşamasından sonra, önceden mutasyona uğramış vektörün birleşimi ile çaprazlama işlemi uygulanır. Deneme vektörü Denklem 3.32'deki gibidir. Deneme vektörü Denklem 3.33'te yer alan formüllere göre hesaplanır.

$$u_{i,G+1} = (u_{1i,G+1}, u_{2i,G+1}, u_{Di,G+1}) \quad (3.32)$$

$$u_{ji,G+1} = \begin{cases} v_{ji,G+1} & \text{eğer } randb(j) \leq \text{ÇO} \text{ ya da } j = rnbr(i) \\ W_{ji,G+1} & \text{eğer } randb(j) > \text{ÇO} \text{ ya da } j \neq rnbr(i) \end{cases}, j = 1, 2, \dots, D \quad (3.33)$$

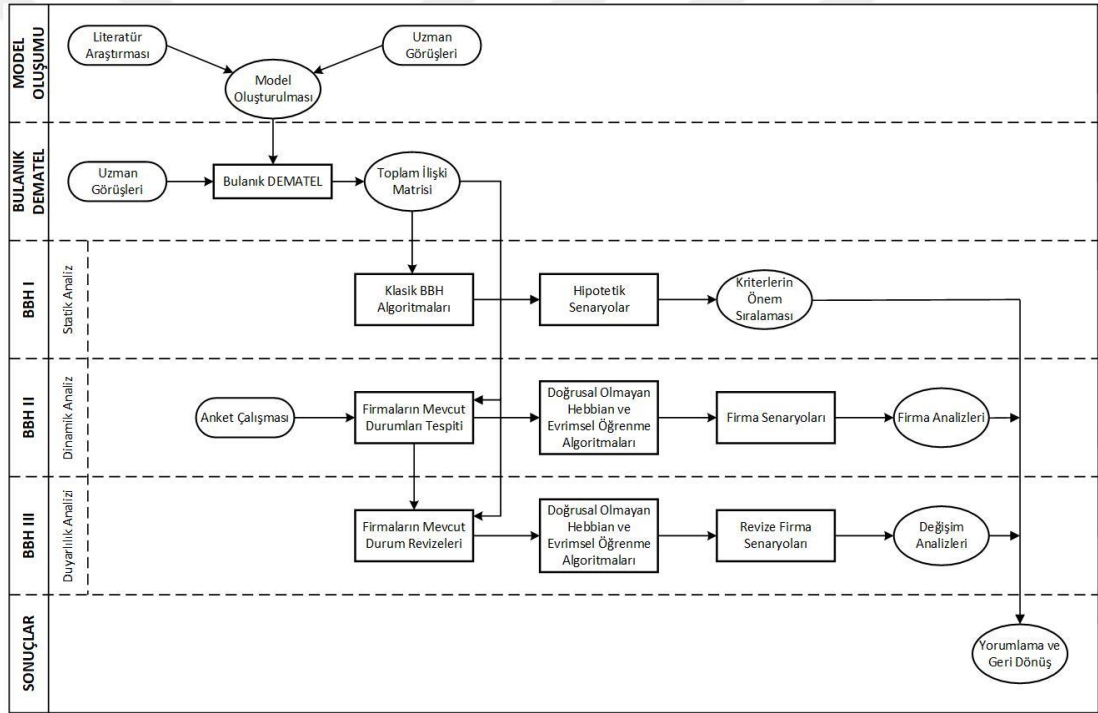
Yukarıdaki denklemde $i = 1, 2, \dots, N$, $randb(j) \in [0, 1]$ j. rastgele sayı, $j = 1, 2, \dots, N$ ve $rnbr(i)$ rastgele seçilen indeks olarak belirtilmiştir. ÇO , çaprazlama oranı olarak popülasyonun çeşitliliğini arttıran ve 0 ile 1 arasında yer alan bir değerdir. Kullanıcı tarafından belirlenmektedir.

Mutasyon oranının seçiminde 0,5 genellikle iyi bir başlangıç seçimi olmaktadır. Değerler kararlı durumlarına makul zamandan daha erken yakınsar ise mutasyon oranını arttırmak daha iyi sonuç verecektir. 0,4'ten küçük ve 1'den büyük mutasyon değerleri, sadece bazı modellerde etkili olabilmektedir. Çaprazlama oranı için ilk denemelerde 0,1 ayarlaması uygundur, ancak büyük bir çaprazlama oranı genellikle yakınsamayı hızlandırdığından, hızlı bir çözümün mümkün olup olmadığını görmek için önce 0,9 veya 1 değerini denemek uygun olacaktır (Storn ve Price, 1996).

Çaprazlama işlemi tamamladıktan sonra seçim işlemine geçilir. $u_{i,G+1}$ deneme vektörünün popülasyonda yer alıp almayacağını belirlemek için ilk vektör olan $W_{i,G}$ ile karşılaştırma işlemi yapılır. Eğer $f(u_{i,G+1}) < f(W_{i,G})$ ise yeni vektör $u_{i,G+1}$ olur, eğer değilse $W_{i,G}$ bir sonraki işlemde kalarak $W_{i,G+1}$ halini alacaktır.

4. UYGULAMA

Çalışmanın ilk aşamasında model oluşturulması amaçlanmakta, ikinci aşamasında uzman görüşleri kullanılarak bulanık DEMATEL yöntemi ile kriterler arasındaki ilişki ağırlıkları tespit edilmektedir. Üçüncü aşamada BBH yöntemi analiz aşamaları için kullanılmaktadır. Çalışmada statik, dinamik ve duyarlılık olmak üzere üç tip analiz bulunmaktadır. Daha sonrasında firmalar için modellerin yorumlanması ve geri beslemeler ortaya çıkartılmaktadır. Şekil 4.1’de tez çalışmasının akışı görülmektedir.



Şekil 4.1. Çalışmanın akış diyagramı.

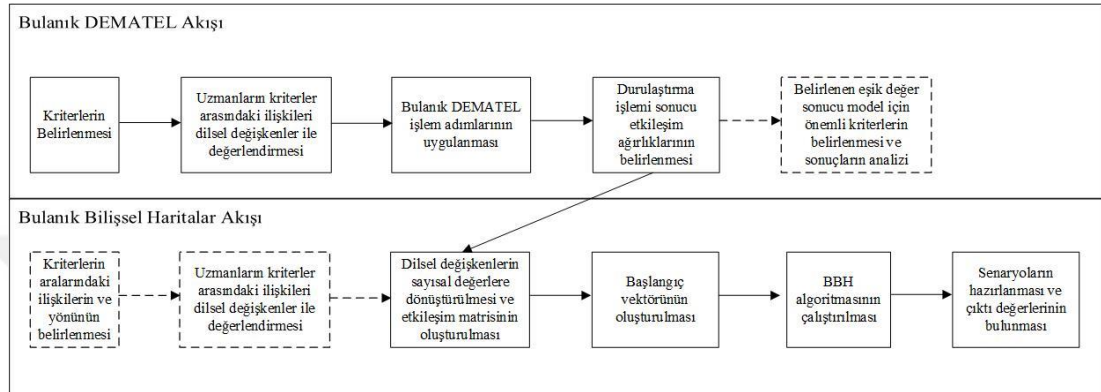
Dijital dönüşüm kuruluşların gelişen teknoloji etkisiyle kurumlarına entegre etmeye çalıştıkları süreçler bütünüdür. Bu çalışmada öncelikle dijital dönüşümü kapsayan kriterler en kapsamlı haliyle bir araya toplanıp, bir model oluşturulmuştur. Kriterlerin bir araya getirilmesi literatürdeki modeller ve uzman görüşleri ile mümkün olmuştur (Lichtblau ve ark, 2015; PricewaterhouseCoopers, 2016; Schumacher ve ark, 2016). Tablo 4.1’de modeli oluşturan kriterler ve açıklamaları verilmiştir.

Tablo 4.1. Model kriterleri ve açıklamaları.

No	Kriterler	Açıklama
C1	İŞ MODELLERİ, ÜRÜN VE HİZMETLER	İş modeli için verilerin (müşteri verileri, ürün veya makine tarafından üretilen veriler) kullanımı ve analizinin önemi ve üretimin dijitalleşme ölçüsünü tanımlayan kriterdir.
C2	PAZAR & MÜŞTERİ ERİŞİMİ	Satış sürecinde ve müşteriye erişimde dijital etkinliğin değerlendirildiği kriterdir.
C3	DEĞER ZİNCİRLERİ & SÜREÇLER	Dikey ve yatay değer zincirlerinin sayısallaşma derecesi, üretimin dinamikliğini belirleyen kriterdir.
C4	BT MİMARİSİ	Kullanıcıların bilgi elde etmelerine ve görevleri tamamlamalarına yardımcı olmak için içeriği etkin ve sürdürülebilir bir şekilde düzenlemeye, yapılandırmaya ve etiketlemeye odaklanır.
C5	UYUM, RİSK, GÜVENLİK	Kurum, organizasyon stratejisine tam olarak entegre olduğu kadar ayrıca da güvenli olmalıdır.
C6	ORGANİZASYON & KURUM KÜLTÜRÜ	Bir organizasyon içindeki ortak değerlere, bakış açılarına ve yaklaşımlara atıfta bulunur.
C7	LİDERLİK, STRATEJİ, KÜLTÜR	Bu kriter, iş stratejilerini içerir ve yetenek gereksinimlerini, organizasyon tasarımı ve kültürün etkili olmasını kapsar.
C8	IoT VERİLERİN KORUNMASI ve İŞLENMESİ	Şirket kendisi ve tüketici için güvenlik sağlamalıdır. Üretimde ve satışta kullanılan verilerin güvenliği dijital dönüşüm için olmazsa olmazdır.
C9	IoT TAKIM UZMANLIĞI	Nesnelerin interneti konusunda uzman personel bulundurma durumunu analiz eder.
C10	ANALİZ İÇİN VERİ ENTEGRASYONU	Birbirine benzemeyen kaynaklardan gelen verileri anlamlı ve değerli bilgilerle birleştirmek için teknik ve iş süreçlerinin bir kombinasyonudur.
C11	İŞ SÜREÇLERİ DEĞİŞİKLİĞİ	Tüketicilerin gelişen beklentileri sonucu daha iyi, daha hızlı ve daha ucuz ürünler için değişim gerekmektedir.
C12	ZEKİ ÜRÜN	Ürünlerin dijital açıdan özelliklerini irdeler.
C13	ZEKİ İMALAT	Üretimi ve ürün işlemlerini dijital araçlar kullanarak optimize etme hedefini açıklar.
C14	ZEKİ ORGANİZASYON	İş modelleri, otomasyonların dahil edilmesi ile süreci daha esnek ve müşteriler için farkedilir şekilde imal etmek.
C15	ZEKİ TEKNOLOJİ	Cihazlar ağ bağlantısını kullanarak etkileşimde bulunur ve kontrol fonksiyonlarında bulunur.
C16	STANDARTLARIN YÖNETİMİ VE STANDARDİZASYON	Kurumun standartları nasıl yönettiği, bu konuda herhangi bir departmanın çalışıp çalışmadığı ile ilgilenir.
C17	FİNANSAL GÜÇLÜKLER	Kurumların başa çıkması gereken en önemli sorunlardandır. Gerekli yatırım kaynağı olmadan dijitalleşme süreci her zaman eksik kalacaktır.
C18	DİJİTAL BECERİ EKSİKLİĞİ	Dijital dönüşüm yolunda yetenekli insan gücü oldukça gereklidir. Ne kadar yatırım olursa olsun, kurumların elinde dijital konularda yetkin personeller bulunmaz ise dönüşüm eksik kalır.
C19	DÖNÜŞÜME HAZIRLIKSIZ BAŞLAMA İSTEĞİ	Sağlam bir “Dijital Dönüşüm Yol Haritası” oluşturmadan işe başlamak sıkıntıları beraberinde getirecektir.
C20	DİJİTAL DÖNÜŞÜM EĞİLİMİ	Modelin çıktı kriteridir. Kriterlerdeki değişimler ile dijital dönüşümün seyrinin izlenebilmesini sağlamaktadır.

4.1. Bulanık DEMATEL Aşaması

Bulanık DEMATEL yöntemi ile BBH yöntemleri birleştirilerek, BBH yönteminin aşamalarından olan uzmanların oy birliği ile kriterler arasındaki ilişkileri tespit edebilmesi zorluğunun üstesinden gelinmiştir. Şekil 4.2’de iki yöntemin birleştirilmesine ait akış verilmiştir. Kesikli çizgiler yöntemlerin birleştirilmesinden sonra elimine edilen adımları göstermektedir.



Şekil 4.2. Bulanık DEMATEL ve BBH entegrasyonu.

Tablo 4.1’de verilen yirmi kriter, üçü endüstri mühendisi ve ikisi bilgisayar mühendisi beş akademisyen, üçü dijital dönüşüm süreci konusunda çalışmaları olan danışman ve biri fabrika müdürü diğeri arge sorumlusu mühendis olmak üzere ikisi firmalarda çalışan alanında yeterli tecrübe ve bilgiye sahip on uzman tarafından Tablo 3.1’de sınıflandırılan dilsel değişkenler ve karşılık gelen üçgensel üyelik fonksiyonları {etkisiz (0 0 0,25); çok az etkili (0 0,25 0,50); az etkili (0,25 0,50 0,75); fazla etkili (0,50 0,75 1,00); çok fazla etkili (0,75 1,00 1,00)} kullanılarak değerlendirilmiştir. Üçgensel üyelik fonksiyonlarının kullanımının nedeni dilsel değişkenler arasında kavramsal olarak bir fark bulunmaması gösterilebilir. Modelin yapısına göre dilsel değişkenleri ifade eden üyelik fonksiyonlarının türleri değişebilmektedir. Literatürde yöntemin verimli çalışabilmesi için gerekli uzman sayısı ile ilgili kesin bir uzlaşma olmamakla birlikte beş ve üzeri uzman kullanımının yer aldığı çalışma sayısı oldukça fazladır. Örnek olarak birinci uzmanın değerlendirmelerine karşılık gelen dilsel değişken değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Her bir uzman görüşü alındıktan sonra ortalama değerler Denklem 4.1’deki formül kullanılarak Tablo 4.3’teki direkt ilişki matrisi elde edilmiştir.

Tablo 4.3'teki değerler baz alınıp, Denklem 4.2 ve Denklem 4.3 kullanılarak hesaplanan normalize direkt ilişki matrisi Tablo 4.4'te verilmiştir.

Denklem 4.4, 4.5 ve 4.6 kullanılarak toplam ilişki matrisi hesaplanmış ve Tablo 4.5'te verilmiştir.

Toplam ilişki matrisinin durulaştırılması işlemi Denklem 4.7-11 sırasıyla kullanılarak sağlanmış ve Tablo 4.6'daki gibi bulunmuştur. Eşik değer uzman görüşü ile 0,15 olarak tespit edilmiş olup Tablo 4.6'da eğik yazım ile gösterilmiş ve değerler eşik değer üzerinde kalmıştır. Eşik değer üzerinde kalan değerler ve olumsuz etkileme durumları göz önünde bulundurularak çalışmanın ikinci yöntemi olan Bulanık Bilişsel Haritalar yöntemine Tablo 4.7'de görüldüğü üzere girdi matrisi olarak verilmiştir. şekil 4.3'te etkileşimlerin görsel durumu ortaya konulmuştur. Kırmızı olarak belirtilen kriterler ve ilişkiler diğitalleşme sürecini olumsuz etkilemektedir. Mavi olarak belirtilen ilişkiler ise diğitalleşme sürecini olumsuz yönde etkileyen kriterler arasındaki ilişkileri ortaya koymaktadır.

Tablo 4.2. Birinci uzmanın değerlendirmelerine karşılık gelen bulanık değerler.

1.Uzman	C1			C2			C3			....	C18			C19			C20		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	....	l	m	u	l	m	u	l	m	u
C1	0	0	0	0,75	1	1	0,5	0,75	1	... ..	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1
C2	0	0,25	0,5	0	0	0	0,25	0,5	0,75	... ..	0	0,25	0,5	0	0,25	0,5	0,5	0,75	1
C3	0,5	0,75	1	0,75	1	1	0	0	0	... ..	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1
C4	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,75	1	1	... ..	0,5	0,75	1	0	0,25	0,5	0,75	1	1
C5	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	0	0,25	0,5	... ..	0,75	1	1	0,75	1	1	0,5	0,75	1
C6	0,75	1	1	0,75	1	1	0,75	1	1	... ..	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,75	1	1
C7	0,75	1	1	0,5	0,75	1	0,75	1	1	... ..	0,75	1	1	0,75	1	1	0,75	1	1
C8	0,75	1	1	0	0,25	0,5	0	0,25	0,5	... ..	0,5	0,75	1	0	0,25	0,5	0,5	0,75	1
C9	0,25	0,5	0,75	0	0,25	0,5	0	0,25	0,5	... ..	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75
C10	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,75	1	1	... ..	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,75	1	1
C11	0,5	0,75	1	0,75	1	1	0,5	0,75	1	... ..	0,25	0,5	0,75	0,75	1	1	0,5	0,75	1
C12	0,75	1	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	... ..	0,75	1	1	0,25	0,5	0,75	0,75	1	1
C13	0,75	1	1	0,25	0,5	0,75	0,75	1	1	... ..	0,75	1	1	0,75	1	1	0,75	1	1
C14	0,75	1	1	0,25	0,5	0,75	0,75	1	1	... ..	0,75	1	1	0,75	1	1	0,75	1	1
C15	0,75	1	1	0,25	0,5	0,75	0,75	1	1	... ..	0,75	1	1	0,75	1	1	0,75	1	1
C16	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	... ..	0,25	0,5	0,75	0	0,25	0,5	0,5	0,75	1
C17	0	0,25	0,5	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	... ..	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,75	1	1
C18	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	... ..	0	0	0	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1
C19	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0	0,25	0,5	... ..	0,25	0,5	0,75	0	0	0	0,75	1	1
C20	0	0,25	0,5	0	0,25	0,5	0	0,25	0,5	... ..	0	0,25	0,5	0	0,25	0,5	0	0	0

Tablo 4.3. Direkt ilişki matrisi.

	C1			C2			C3			....			C18			C19			C20		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	....	....	....	l	m	u	l	m	u	l	m	u
C1	0	0	0	0,6	0,85	0,95	0,5	0,75	0,975	...	...	...	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1
C2	0,425	0,675	0,85	0	0	0	0,4	0,65	0,85	...	...	...	0	0,25	0,5	0	0,25	0,5	0,425	0,675	0,9
C3	0,6	0,85	0,975	0,575	0,825	0,95	0	0	0	...	...	...	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1
C4	0,475	0,725	0,95	0,45	0,7	0,95	0,65	0,9	0,95	...	...	...	0,5	0,75	1	0	0,25	0,5	0,75	1	1
C5	0,275	0,525	0,725	0,45	0,7	0,95	0,1	0,35	0,6	...	...	...	0,75	1	1	0,75	1	1	0,5	0,75	1
C6	0,625	0,875	1	0,55	0,8	0,95	0,675	0,925	1	...	...	...	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,75	1	1
C7	0,575	0,825	0,9	0,525	0,775	0,975	0,725	0,975	1	...	...	...	0,75	1	1	0,75	1	1	0,75	1	1
C8	0,675	0,925	0,975	0,1	0,325	0,575	0	0,25	0,5	...	...	...	0,5	0,75	1	0	0,25	0,5	0,5	0,75	1
C9	0,275	0,525	0,775	0,1	0,275	0,525	0,025	0,25	0,5	...	...	...	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75
C10	0,35	0,6	0,85	0,375	0,625	0,85	0,425	0,675	0,9	...	...	...	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,75	1	1
C11	0,475	0,725	0,975	0,75	1	1	0,65	0,9	1	...	...	...	0,25	0,5	0,75	0,75	1	1	0,5	0,75	1
C12	0,625	0,875	0,975	0,35	0,6	0,8	0,45	0,7	0,95	...	...	...	0,75	1	1	0,25	0,5	0,75	0,75	1	1
C13	0,6	0,85	0,975	0,3	0,55	0,8	0,625	0,875	1	...	...	...	0,75	1	1	0,75	1	1	0,75	1	1
C14	0,625	0,875	1	0,3	0,55	0,8	0,725	0,975	1	...	...	...	0,75	1	1	0,75	1	1	0,75	1	1
C15	0,65	0,9	1	0,3	0,55	0,8	0,7	0,95	1	...	...	...	0,7	0,95	0,975	0,675	0,925	0,95	0,725	0,975	1
C16	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0,5	0,75	1	...	...	...	0,25	0,5	0,75	0	0,25	0,5	0,5	0,75	1
C17	0	0,25	0,5	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	...	...	...	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,75	1	1
C18	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,25	0,5	0,75	...	...	...	0	0	0	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1
C19	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	0	0,25	0,5	...	...	...	0,25	0,5	0,75	0	0	0	0,75	1	1
C20	0	0,25	0,5	0	0,25	0,5	0	0,25	0,5	...	...	...	0	0,25	0,5	0	0,25	0,5	0	0	0
Toplam U	16,425	15,875	15,725		16,975	15,45	18,65														
R (maxu)		18,65																			

Tablo 4.4. Normalize direkt ilişki matrisi.

	C1			C2			C3			....			C18			C19			C20		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	....	....	....	l	m	u	l	m	u	l	m	u
C1	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,05	0,03	0,04	0,05	...	...	...	0,03	0,04	0,05	0,01	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05
C2	0,02	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,05	...	...	...	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,03	0,02	0,04	0,05
C3	0,03	0,05	0,05	0,03	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	...	...	...	0,03	0,04	0,05	0,01	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05
C4	0,03	0,04	0,05	0,02	0,04	0,05	0,03	0,05	0,05	...	...	...	0,03	0,04	0,05	0,00	0,01	0,03	0,04	0,05	0,05
C5	0,01	0,03	0,04	0,02	0,04	0,05	0,01	0,02	0,03	...	...	...	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,03	0,04	0,05
C6	0,03	0,05	0,05	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	...	...	...	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05
C7	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	...	...	...	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05
C8	0,04	0,05	0,05	0,01	0,02	0,03	0,00	0,01	0,03	...	...	...	0,03	0,04	0,05	0,00	0,01	0,03	0,03	0,04	0,05
C9	0,01	0,03	0,04	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01	0,03	...	...	...	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05	0,01	0,03	0,04
C10	0,02	0,03	0,05	0,02	0,03	0,05	0,02	0,04	0,05	...	...	...	0,01	0,03	0,04	0,01	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
C11	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,03	0,05	0,05	...	...	...	0,01	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,03	0,04	0,05
C12	0,03	0,05	0,05	0,02	0,03	0,04	0,02	0,04	0,05	...	...	...	0,04	0,05	0,05	0,01	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
C13	0,03	0,05	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03	0,05	0,05	...	...	...	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05
C14	0,03	0,05	0,05	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	...	...	...	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05
C15	0,03	0,05	0,05	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	...	...	...	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05
C16	0,01	0,03	0,04	0,01	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	...	...	...	0,01	0,03	0,04	0,00	0,01	0,03	0,03	0,04	0,05
C17	0,00	0,01	0,03	0,03	0,04	0,05	0,01	0,03	0,04	...	...	...	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05
C18	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05	0,01	0,03	0,04	...	...	...	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05
C19	0,01	0,03	0,04	0,01	0,03	0,04	0,00	0,01	0,03	...	...	...	0,01	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,05	0,05
C20	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,03	...	...	...	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00

Tablo 4.5. Toplam ilişki matrisi.

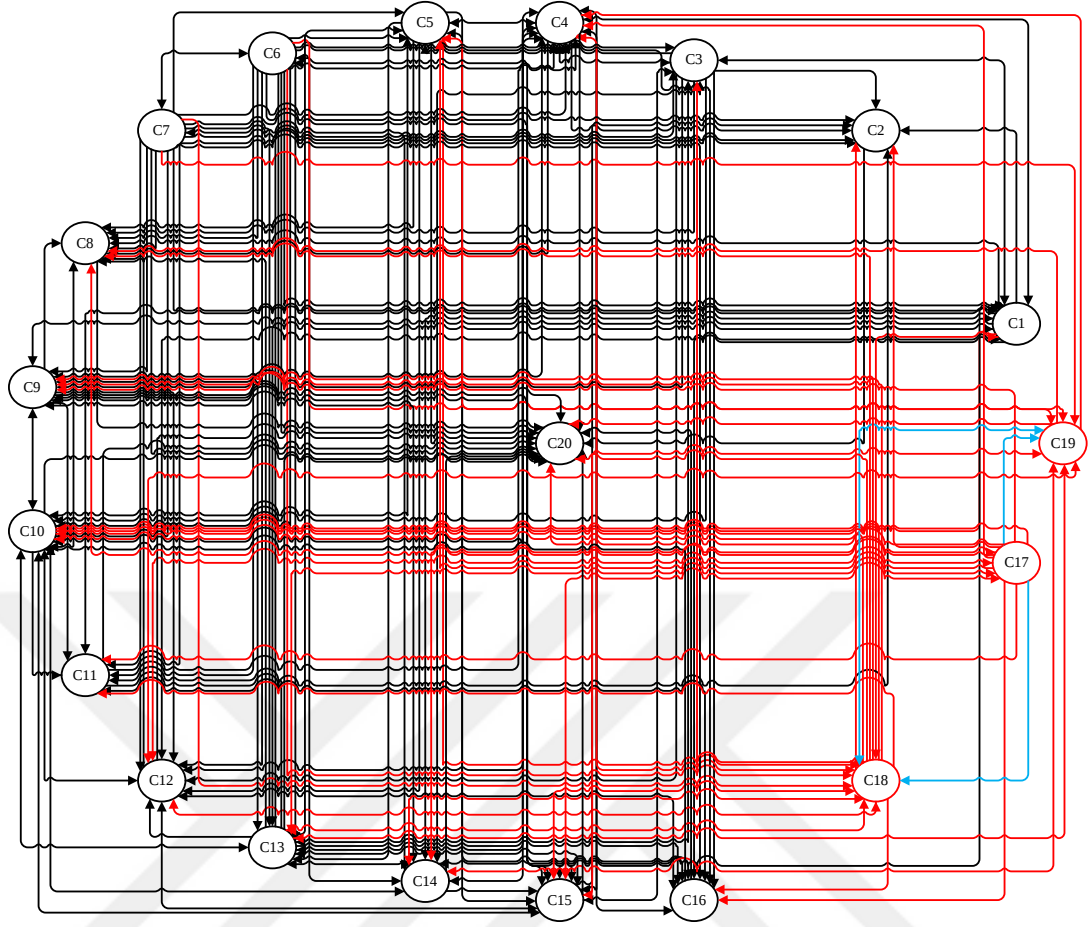
	C1			C2			C3			....			C18			C19			C20		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	....	....	....	l	m	u	l	m	u	l	m	u
C1	0,02	0,08	0,32	0,05	0,12	0,36	0,04	0,11	0,36	...	...	...	0,05	0,12	0,38	0,03	0,10	0,34	0,05	0,14	0,42
C2	0,03	0,09	0,31	0,01	0,05	0,26	0,03	0,09	0,30	...	...	...	0,01	0,08	0,30	0,01	0,07	0,28	0,04	0,11	0,35
C3	0,05	0,12	0,37	0,05	0,12	0,35	0,02	0,08	0,30	...	...	...	0,05	0,12	0,38	0,03	0,10	0,34	0,05	0,14	0,41
C4	0,04	0,12	0,38	0,04	0,11	0,36	0,05	0,13	0,36	...	...	...	0,05	0,13	0,39	0,02	0,09	0,33	0,07	0,16	0,42
C5	0,03	0,10	0,34	0,04	0,10	0,34	0,02	0,09	0,32	...	...	...	0,06	0,13	0,36	0,05	0,12	0,33	0,05	0,13	0,39
C6	0,05	0,13	0,38	0,05	0,12	0,36	0,05	0,13	0,36	...	...	...	0,05	0,13	0,39	0,04	0,12	0,36	0,07	0,16	0,42
C7	0,05	0,14	0,38	0,05	0,13	0,38	0,06	0,14	0,37	...	...	...	0,07	0,15	0,40	0,06	0,14	0,37	0,07	0,17	0,43
C8	0,05	0,11	0,32	0,02	0,07	0,29	0,01	0,07	0,28	...	...	...	0,04	0,10	0,33	0,01	0,07	0,28	0,04	0,11	0,35
C9	0,03	0,10	0,34	0,02	0,08	0,31	0,01	0,08	0,31	...	...	...	0,04	0,11	0,36	0,04	0,10	0,33	0,03	0,11	0,38
C10	0,03	0,10	0,35	0,03	0,10	0,34	0,04	0,10	0,34	...	...	...	0,03	0,10	0,35	0,03	0,09	0,32	0,06	0,14	0,39
C11	0,04	0,11	0,34	0,05	0,11	0,33	0,05	0,11	0,32	...	...	...	0,03	0,10	0,33	0,05	0,11	0,32	0,05	0,12	0,37
C12	0,05	0,12	0,35	0,03	0,10	0,33	0,04	0,10	0,33	...	...	...	0,06	0,13	0,36	0,03	0,09	0,32	0,06	0,14	0,39
C13	0,05	0,13	0,38	0,03	0,11	0,36	0,05	0,13	0,37	...	...	...	0,06	0,14	0,39	0,06	0,13	0,36	0,07	0,16	0,42
C14	0,06	0,14	0,39	0,04	0,12	0,37	0,06	0,14	0,38	...	...	...	0,06	0,15	0,41	0,06	0,14	0,37	0,07	0,17	0,44
C15	0,06	0,14	0,39	0,04	0,12	0,36	0,06	0,14	0,37	...	...	...	0,06	0,15	0,39	0,06	0,14	0,36	0,07	0,17	0,43
C16	0,03	0,10	0,33	0,03	0,09	0,32	0,04	0,11	0,33	...	...	...	0,03	0,10	0,34	0,01	0,08	0,30	0,05	0,13	0,38
C17	0,02	0,10	0,35	0,04	0,11	0,36	0,03	0,10	0,35	...	...	...	0,05	0,13	0,38	0,04	0,12	0,35	0,07	0,16	0,41
C18	0,05	0,13	0,39	0,04	0,12	0,37	0,03	0,11	0,36	...	...	...	0,02	0,09	0,34	0,05	0,12	0,37	0,06	0,15	0,43
C19	0,03	0,10	0,35	0,03	0,10	0,34	0,02	0,09	0,32	...	...	...	0,03	0,11	0,36	0,02	0,07	0,29	0,06	0,15	0,40
C20	0,00	0,04	0,21	0,00	0,04	0,20	0,00	0,04	0,20	...	...	...	0,00	0,04	0,21	0,00	0,04	0,20	0,00	0,04	0,21

Tablo 4.6. Durulaştırılmış toplam ilişki matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
C1	0,12	0,15	0,15	0,15	0,14	0,12	0,14	0,16	0,16	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,14	0,16	0,14	0,18
C2	0,13	0,09	0,12	0,12	0,13	0,10	0,11	0,14	0,13	0,14	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,13	0,11	0,10	0,15
C3	0,16	0,15	0,11	0,16	0,16	0,14	0,13	0,15	0,15	0,17	0,15	0,16	0,16	0,15	0,16	0,16	0,13	0,16	0,14	0,18
C4	0,16	0,15	0,16	0,13	0,17	0,14	0,14	0,17	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,13	0,17	0,13	0,19
C5	0,14	0,14	0,13	0,16	0,11	0,11	0,11	0,16	0,14	0,16	0,14	0,16	0,15	0,14	0,15	0,15	0,14	0,16	0,15	0,17
C6	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17	0,11	0,15	0,17	0,17	0,16	0,15	0,16	0,16	0,17	0,16	0,17	0,14	0,17	0,16	0,19
C7	0,17	0,16	0,17	0,18	0,17	0,16	0,11	0,17	0,18	0,18	0,16	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17	0,14	0,19	0,17	0,20
C8	0,14	0,11	0,11	0,12	0,14	0,10	0,09	0,10	0,13	0,15	0,13	0,13	0,13	0,11	0,12	0,12	0,10	0,14	0,10	0,15
C9	0,14	0,12	0,12	0,15	0,14	0,11	0,11	0,16	0,11	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,12	0,12	0,15	0,14	0,15
C10	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,11	0,10	0,16	0,16	0,12	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15	0,13	0,11	0,14	0,13	0,18
C11	0,14	0,15	0,14	0,15	0,14	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,10	0,14	0,13	0,12	0,14	0,15	0,11	0,13	0,15	0,16
C12	0,15	0,13	0,14	0,15	0,14	0,12	0,11	0,15	0,14	0,15	0,14	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,13	0,18
C13	0,17	0,15	0,16	0,17	0,15	0,14	0,13	0,17	0,15	0,17	0,16	0,18	0,13	0,17	0,17	0,16	0,16	0,18	0,17	0,20
C14	0,18	0,15	0,17	0,18	0,16	0,15	0,15	0,17	0,17	0,18	0,17	0,19	0,18	0,14	0,17	0,17	0,16	0,18	0,17	0,20
C15	0,17	0,15	0,17	0,18	0,17	0,15	0,13	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,18	0,17	0,14	0,15	0,16	0,18	0,17	0,20
C16	0,13	0,13	0,14	0,16	0,13	0,12	0,13	0,12	0,13	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	0,14	0,11	0,12	0,14	0,11	0,16
C17	0,14	0,15	0,14	0,16	0,16	0,12	0,13	0,16	0,17	0,15	0,16	0,18	0,17	0,17	0,17	0,16	0,11	0,16	0,15	0,19
C18	0,17	0,16	0,15	0,17	0,16	0,13	0,14	0,17	0,17	0,18	0,17	0,18	0,18	0,17	0,18	0,15	0,14	0,13	0,16	0,19
C19	0,14	0,13	0,12	0,16	0,15	0,13	0,12	0,16	0,16	0,16	0,14	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,12	0,15	0,11	0,18
C20	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,06

Tablo 4.7. İlişki ağırlıkları matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
C1	0	0,15	0,15	0,15	0	0	0	0,16	0,16	0	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0	-0,16	0	0,18
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15
C3	0,16	0,15	0	0,16	0,16	0	0	0	0,15	0,17	0	0,16	0,16	0,15	0,16	0,16	0	-0,16	0	0,18
C4	0,16	0,15	0,16	0	0,17	0	0	0,17	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0	-0,17	0	0,19
C5	0	0	0	0,16	0	0	0	0,16	0	0,16	0	0,16	0	0	0	0	0	-0,16	-0,15	0,17
C6	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17	0	0,15	0,17	0,17	0,16	0,15	0,16	0,16	0,17	0,16	0,17	-0,15	-0,17	-0,16	0,19
C7	0,17	0,16	0,17	0,18	0,17	0,16	0	0,17	0,18	0,18	0,16	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17	0	-0,19	-0,17	0,20
C8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15
C9	0	0	0	0,15	0	0	0	0,16	0	0,16	0	0,15	0	0	0	0	0	-0,15	0	0,15
C10	0	0	0	0,15	0,15	0	0	0,16	0,16	0	0	0,16	0	0	0,15	0	0	0	0	0,18
C11	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0	-0,15	0,16
C12	0,15	0	0	0	0	0	0	0,15	0	0,15	0	0	0	0	0,15	0	-0,16	-0,16	0	0,18
C13	0,17	0	0,16	0,17	0,15	0	0	0,17	0,15	0,17	0,16	0,18	0	0,17	0,17	0,16	-0,16	-0,18	-0,17	0,20
C14	0,18	0,15	0,17	0,18	0,16	0,15	0,15	0,17	0,17	0,18	0,17	0,19	0,18	0	0,17	0,17	-0,16	-0,18	-0,17	0,20
C15	0,17	0,15	0,17	0,18	0,17	0,15	0	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,18	0,17	0	0,15	-0,16	-0,18	-0,17	0,20
C16	0	0	0	0,16	0	0	0	0	0	0,15	0,15	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0,16
C17	0	-0,15	0	-0,16	-0,16	0	0	-0,16	-0,17	-0,15	-0,16	-0,18	-0,17	-0,17	-0,17	-0,16	0	0,16	0,15	-0,19
C18	-0,17	-0,16	0	-0,17	-0,16	0	0	-0,17	-0,17	-0,18	-0,17	-0,18	-0,18	-0,17	-0,18	0	0	0	0,16	-0,19
C19	0	0	0	-0,16	-0,15	0	0	-0,16	-0,16	-0,16	0	-0,17	-0,16	-0,16	-0,15	0	0	0	0	-0,18
C20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 4.3. Kriterler arası ilişkilerin grafiksel gösterimi.

4.2. Bulanık Bilişsel Haritalar Aşaması

Bulanık bilişsel haritalar, bir bireyin, grubun veya birleştirilmiş sosyal grupların bir sistem hakkındaki düşüncelerin grafiksel olarak temsidir. Bir sistemi etkileyen kriterler arasındaki nedensel ilişkileri kullanarak mevcut durumu baz alıp geleceğe yönelik simülasyonlar yapmaya olanak sağlamaktadır. Bir sistemin ulaşacağı nihai durum (kararlı durum) BBH algoritmalarıyla tespit edilir. Böylelikle mevcut durumun yetersizliklerini ortadan kaldırmayı amaçlanmaktadır. Bu aşamada öncelikle geliştirilen modelde kriterlerin önem sıralaması, statik analiz yapılarak tespit edilmiştir. Daha sonra savunma sanayine üretim yapabilecek organize sanayi bölgesinde faaliyet gösteren altı firma için modelin kriterlerinin mevcut başlangıç değerlerinin tespiti için 88 soruluk anket kullanılmıştır. Anket soruları ekler bölümünde Ek A'da verilmiştir. Firmaların mevcut durumlarını belirten başlangıç vektörleri ile dinamik analiz yapılarak kararlı durumlar bulunmuş ve çıkarımlarda bulunulmuştur. BBH aşamasının son bölümünde ise altı firma için en önemli üç

kriterin başlangıç vektör tetikleyici değerleri en iyi durumu gösteren 1 olarak alınarak duyarlılık analizi yapılmış ve ikinci bölümde bulunan değerler ile karşılaştırılmıştır.

4.2.1. Statik analiz

Bu aşamada öncelikle başlangıç durumunun en iyi olduğu senaryo temel olarak ele alınmıştır. Temel senaryo ile oluşturulan alt senaryolar arasında çıktı kriteri olan dijital dönüşüm eğiliminin (C20) kararlı durum değerleri arasındaki değişimler ile kriterlerin önem sıralamasının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tablo 4.8’de verilen temel senaryoya ait başlangıç durum değerlerine sırasıyla Denklem 3.12 ve Denklem 3.15 uygulanarak, kararlı durum değerleri hesaplanmıştır. Çıktı kriteri olan C20’yi olumsuz yönde etkileyen C17, C18 ve C19 kriter değerleri başlangıç durumda en kötü değer olan 0 olarak ayarlanmıştır. Böylelikle en iyi durumu ifade eden temel senaryoda olumsuz etkilerin başlangıçta olmadığı varsayılmıştır. C20 çıktı kriterinin değeri ise 0,5 olarak ayarlanmıştır. Karar vericinin inisiyatifine göre farklı değerler de verilse, önemli olan değişim olduğu için sıralama aynı kalacaktır.

Kriterlerin önem sıralamasının belirlenebilmesi için 19 adet senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolarda değerler sırasıyla her senaryoya özel kriter için iterasyonlar boyunca değişmeyen sabit değerler olarak ayarlanmıştır. Değişimin kararlı durum değerleri üzerinde olumsuz etkisinin gözlenebilmesi için başlangıç durum vektörlerinde bu değerler 0 olarak belirlenmiştir. Sadece çıktı kriterini olumsuz etkileyen kriterler olan C17, C18 ve C19 kriterlerinin başlangıç durum değerleri kendi senaryolarında 1 olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi 1 değerinin diğer senaryolardakinin aksine olumsuzluk belirtmesidir. Tablo 4.9’da oluşturulan senaryolar verilmiş ve sabit alınan değerler eğik yazım ile gösterilmiştir.

Tablo 4.10’da oluşturulan 19 senaryo için sırasıyla klasik BBH algoritmaları olan Denklem 3.12 ve Denklem 3.15 uygulanarak hesaplanan kararlı durum değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra temel senaryo baz alınarak oluşturulan senaryoların C20 kararlı durum değeri etkileri bulunur. Örnek olarak Tablo 4.11’de temel senaryo ile C1 kriterinin sabit değer olarak ayarlandığı birinci senaryonun kararlı durum değer farkları verilmiştir.

Her kriterin sabitlenmiş değeri için ayrı ayrı hazırlanan senaryoların kararlı durum çıktı değerlerinin, temel senaryonun kararlı durum çıktı değeri arasındaki farklara göre oluşturulan önem sıralaması Tablo 4.12’de verilmiştir. Bu farklar firmalara dijital

dönüşümlere ilk olarak başlamaları ve önem vermeleri gereken kriterler konusunda yol gösterici olması sebebiyle oldukça önem taşımaktadır. Farklar, ilgili senaryodaki sabitlenmiş kriterin değerinin 0 olmasının temel senaryodaki dijital dönüşüm eğilimi çıktı kriterinin iterasyonlar sonucunda aldığı değeri ne kadar etkilediğini göstermektedir. Örneğin Tablo 4.12 incelendiğinde C15 kriterinin 0 olduğu durumda temel senaryodaki kararlı durum çıktı değerinin 0,0122 birimlik bir azalışla karşılaştığı görülmektedir. Temel senaryoda 0,9607 olan C20 kararlı durum değeri, C15'in sabit değeri olan senaryoda 0,9485 olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde C14 kriterinin 0 olduğu durumda temel senaryodaki kararlı durum çıktı değerinin 0,0119 birimlik bir azalışla karşılaştığı görülmektedir. Temel senaryoda 0,9607 olan C20 kararlı durum değeri, C14'ün sabit değeri olan senaryoda 0,9488 olarak hesaplanmıştır. Dijital dönüşümü en az etkileyen kriterlerin ise sırasıyla C2, C19 ve C8 kriterleri olduğu da anlaşılmaktadır. Bu şekilde tüm kriterler için çıkarımlarda bulunmak mümkündür.

Tablo 4.8. Temel senaryo.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
<i>A^{temel}_{başlangıç}</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0,5
<i>A^{temel}_{kararlı}</i>	0,8759	0,8354	0,8588	0,9169	0,8559	0,7554	0,7236	0,9079	0,875	0,9197	0,8625	0,9198	0,838	0,8356	0,8739	0,8843	0,4473	0,2167	0,3913	0,9607

Tablo 4.9. Senaryoların başlangıç durum değerleri.

Senaryo	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0,5
2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0,5
3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0,5
4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0,5
5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0,5
6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0,5
7	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0,5
8	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0,5
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0,5
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0,5
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0,5
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0,5
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0,5
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0,5
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0,5
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0,5
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0,5
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0,5
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0,5

Tablo 4.10. Senaryoların kararlı durum değerleri.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
1	0	0,8096	0,8371	0,9018	0,8521	0,7537	0,7225	0,8909	0,8527	0,9163	0,8383	0,9044	0,8103	0,8076	0,8515	0,8642	0,4522	0,2534	0,3989	0,9516
2	0,8759	0	0,8588	0,9169	0,8559	0,7554	0,7236	0,9079	0,875	0,9197	0,8625	0,9199	0,838	0,8356	0,8739	0,8844	0,4472	0,2166	0,3912	0,9555
3	0,8545	0,8101	0	0,9011	0,8312	0,7537	0,7225	0,9042	0,854	0,9036	0,8585	0,9043	0,8108	0,8096	0,8517	0,865	0,4521	0,2534	0,3989	0,9517
4	0,8526	0,8079	0,8343	0	0,8275	0,7535	0,7224	0,888	0,8508	0,9018	0,8367	0,9027	0,8083	0,8057	0,8496	0,8617	0,4526	0,2588	0,4009	0,9501
5	0,8746	0,8341	0,8583	0,9032	0	0,7552	0,7235	0,8924	0,8728	0,9061	0,8613	0,9064	0,8355	0,8331	0,8715	0,8839	0,4483	0,2478	0,4344	0,9534
6	0,8544	0,8088	0,8373	0,8993	0,829	0	0,6929	0,889	0,8507	0,9035	0,8401	0,9034	0,8095	0,8055	0,8507	0,8638	0,49	0,2554	0,4426	0,9506
7	0,8552	0,8108	0,8371	0,8998	0,8309	0,726	0	0,8903	0,8515	0,9032	0,8408	0,9026	0,8092	0,8065	0,8504	0,8653	0,4539	0,2558	0,4413	0,951
8	0,8759	0,8354	0,8588	0,9167	0,8556	0,7554	0,7236	0	0,8748	0,908	0,8625	0,9197	0,838	0,8355	0,8737	0,8843	0,4473	0,2167	0,3914	0,9549
9	0,8747	0,8342	0,8584	0,9045	0,8545	0,7553	0,7235	0,8929	0	0,9065	0,8614	0,9077	0,8367	0,8342	0,8724	0,884	0,4481	0,2462	0,3932	0,9545
10	0,8748	0,8344	0,858	0,9035	0,834	0,7547	0,7235	0,8917	0,8546	0	0,8615	0,9059	0,8368	0,8344	0,8548	0,8836	0,4491	0,2199	0,3938	0,9527
11	0,8755	0,835	0,8584	0,9045	0,8546	0,7553	0,7235	0,907	0,8738	0,9187	0	0,9188	0,8366	0,8341	0,8728	0,8683	0,4475	0,2174	0,4329	0,9543
12	0,8563	0,8322	0,8577	0,9146	0,8528	0,7545	0,7234	0,8916	0,8718	0,9057	0,8594	0	0,8343	0,8318	0,8525	0,8825	0,4946	0,2526	0,3972	0,9521
13	0,8535	0,8302	0,8365	0,8985	0,8304	0,7534	0,7223	0,8881	0,8519	0,902	0,8379	0,9011	0	0,8042	0,8485	0,8639	0,4958	0,2587	0,4473	0,9499
14	0,8504	0,807	0,8334	0,896	0,8268	0,7232	0,6896	0,8864	0,8474	0,8996	0,8346	0,8987	0,8028	0	0,8463	0,8611	0,4976	0,2623	0,4514	0,9488
15	0,8512	0,8065	0,833	0,8956	0,8248	0,7228	0,721	0,885	0,8457	0,8992	0,8328	0,8983	0,8022	0,801	0	0,8629	0,5001	0,2631	0,4527	0,9485
16	0,8754	0,835	0,8585	0,9038	0,8553	0,7554	0,7236	0,9073	0,8745	0,9079	0,8431	0,9081	0,8376	0,8351	0,8732	0	0,4479	0,2176	0,3924	0,9543
17	0,8738	0,8198	0,8573	0,9066	0,8398	0,7542	0,7228	0,8966	0,86	0,9101	0,8476	0,9089	0,8196	0,817	0,8589	0,8722	0	0,2395	0,4232	0,9546
18	0,8559	0,8117	0,8562	0,9014	0,8331	0,7537	0,7225	0,8907	0,8534	0,9041	0,8403	0,9041	0,8102	0,8088	0,8512	0,8817	0,4522	0	0,4381	0,9519
19	0,8743	0,8342	0,8574	0,9069	0,8406	0,7543	0,7229	0,8966	0,8607	0,9098	0,8609	0,9095	0,8205	0,8178	0,8604	0,8831	0,4504	0,2204	0	0,9551

Tablo 4.11. Birinci senaryoya ait kararlı durum değerleri farkları.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
$A_{kararlı}^{temel}$	0,8759	0,8354	0,8588	0,9169	0,8559	0,7554	0,7236	0,9079	0,875	0,9197	0,8625	0,9198	0,838	0,8356	0,8739	0,8843	0,4473	0,2167	0,3913	0,9607
$A_{kararlı}^{C1 Sabit}$	0	0,8096	0,8371	0,9018	0,8521	0,7537	0,7225	0,8909	0,8527	0,9163	0,8383	0,9044	0,8103	0,8076	0,8515	0,8642	0,4522	0,2534	0,3989	0,9516
Fark	0,8759	0,0258	0,0217	0,0151	0,0038	0,0017	0,0011	0,017	0,0223	0,0034	0,0242	0,0154	0,0277	0,028	0,0224	0,0201	-0,0049	-0,0367	-0,0076	0,0091

Tablo 4.12. Senaryoların çıktı değerlerinin temel senaryodan farkları.

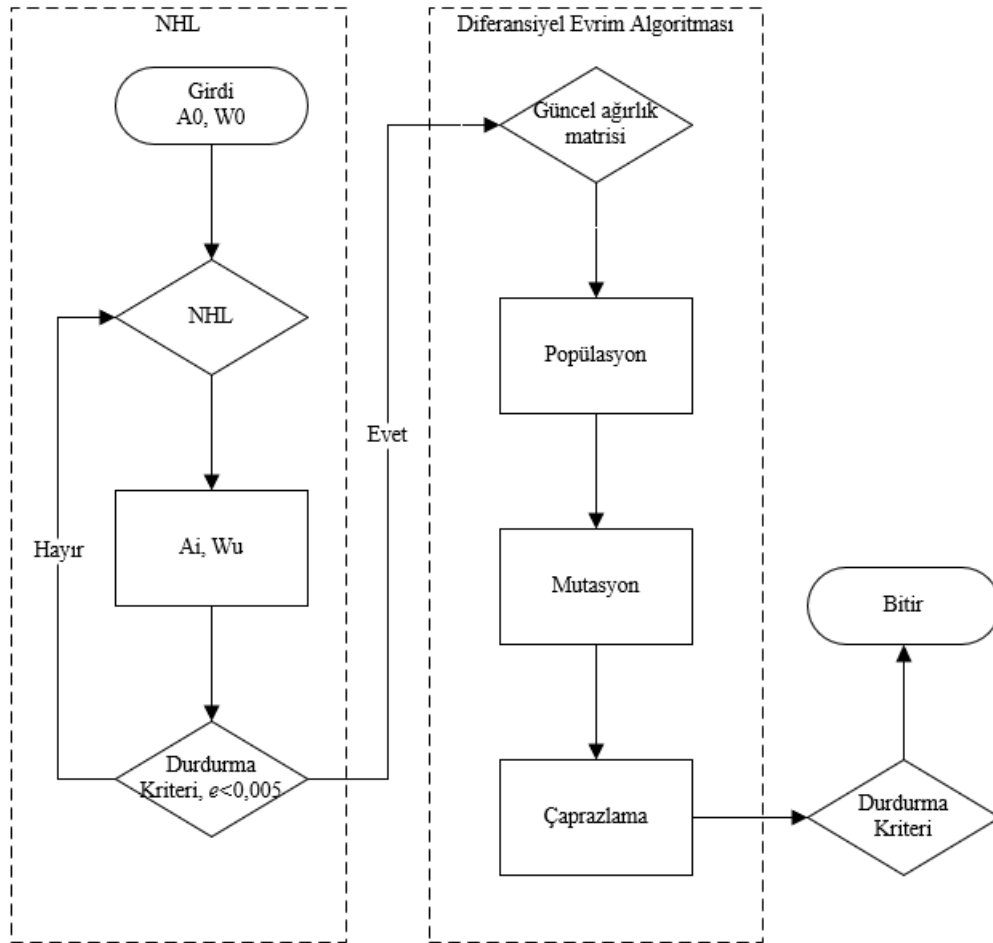
Kriter No	En iyi Senaryodan Çıktı Değerlerinin Farkı
C15	0,0122
C14	0,0119
C13	0,0108
C4	0,0106
C6	0,0101
C7	0,0097
C1	0,0091
C3	0,009
C18	0,0088
C12	0,0086
C10	0,008
C5	0,0073
C11	0,0064
C16	0,0064
C9	0,0062
C17	0,0061
C8	0,0058
C19	0,0056
C2	0,0052

4.2.2. Dinamik analiz

Uygulama bölümünün dinamik analiz kısmında Sakarya ilinde imalat sanayinde faaliyet gösteren altı firma incelenmiş ve öncelikle anket çalışması yapılmıştır. 19 kritere ait sorular içeren anket 5’li Likert ölçeğine göre 88 sorudan oluşmaktadır. Dijital dönüşüm yetkinlik seviyelerinin mevcut durum analizi için hazırlanan ankette kriterler için eşit ağırlıklı hesaplama yapılmış ve her kriterin başlangıç durum değeri normalize edilerek Tablo 4.13’te gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere bir ve ikinci firma dijital dönüşüm eğilimi açısından diğer firmalara göre alt seviyede olup, beş ve altıncı firma ise mevcut durumda dijital dönüşüm seviyesi en iyi olan firmalardır. Ayrıca C17, C18 ve C19 numaralı kriterler ise dönüşüm eğilimini olumsuz yönde etkilemekte, bir ve ikinci firmalarda bu kriterlerin başlangıç değerleri oldukça yüksek seviyelerdedir.

Firmaların anketler aracılığıyla başlangıç mevcut değerleri belirlendikten sonra Şekil 4.4 ile gösterilen akış doğrultusunda, doğrusal olmayan Hebbian (NHL) ve diferansiyel evrim öğrenme algortimaları uygulanmıştır.

Klasik bulanık bilişsel haritalar yönteminin kullanımı bu tür kriter sayısı fazla olan modellerde kararlı durum değerlerinin farklı senaryolarda aynı değerlere ulaşmasına neden olmaktadır. Tablo 4.14’te örnek olarak, rastgele başlangıç değerleri alınarak iki farklı senaryo oluşturulmuştur. İki senaryonun klasik BBH ile çözümü incelenecek olursa başlangıç durum değerleri farklı olmasına rağmen kararlı durum değerleri 0,9595 değerine ulaşmıştır. Hibrit öğrenme algoritmalarıyla çalıştırılan BBH ile çözüm yapıldığında ise eklenen kısıt ile değerlerin aralıkları belirlenerek, kararlı durum vektörünün farklı değerler aldığı görülmüştür. Klasik BBH’ların kriter sayısı fazla olan modellerde ortaya çıkan bu eksikliğin hibrit NHL ve diferansiyel evrim algoritması yöntemleri ile giderilmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.4. Öğrenme algoritmaları akışı.

Tablo 4.13. Firmaların başlangıç durum değerleri.

Firma	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
1	0,42	0,46	0,35	0,33	0,30	0,38	0,22	0,34	0,08	0,38	0,38	0,17	0,13	0,27	0,19	0,45	0,88	0,75	1,00	0,12
2	0,29	0,38	0,30	0,42	0,35	0,44	0,38	0,45	0,42	0,33	0,38	0,29	0,42	0,37	0,31	0,50	0,88	1,00	0,75	0,18
3	0,25	0,38	0,30	0,33	0,40	0,44	0,34	0,32	0,25	0,33	0,38	0,38	0,46	0,27	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50	0,21
4	0,50	0,54	0,55	0,58	0,45	0,41	0,16	0,23	0,00	0,21	0,19	0,00	0,21	0,50	0,69	0,45	0,38	0,50	0,50	0,23
5	0,79	0,67	0,75	0,63	0,75	0,47	0,53	0,54	0,08	0,29	0,13	0,63	0,42	0,87	0,69	0,80	0,00	0,00	0,25	0,46
6	0,83	0,88	0,80	0,92	0,80	0,69	0,75	0,63	0,00	0,63	0,81	0,42	0,83	0,83	1,00	1,00	0,13	0,00	0,00	0,61

Tablo 4.14. Klasik ve hibrit öğrenme algoritmaları içeren BBH sonuçları.

Senaryo 1																				
Klasik BBH																				
A ^{başlangıç}	0,56	0,72	0,97	0,17	0,02	0,34	0,89	0,67	0,23	0,42	0,72	0,09	0,96	0,58	0,74	0,41	0,73	0,53	0,06	0,00
A ^{final}	0,8755	0,8330	0,8585	0,9147	0,8525	0,7552	0,7234	0,9055	0,8719	0,9176	0,8602	0,9176	0,8342	0,8317	0,8709	0,8825	0,5313	0,2203	0,4376	0,9595
Hibrit BBH																				
Kısıt: 0.73<C20<0.9																				
A ^{başlangıç}	0,56	0,72	0,97	0,17	0,02	0,34	0,89	0,67	0,23	0,42	0,72	0,09	0,96	0,58	0,74	0,41	0,73	0,53	0,06	0,00
A ^{final}	0,9313	0,9053	0,9038	0,9619	0,902	0,8093	0,7558	0,954	0,9378	0,9671	0,9302	0,9553	0,9072	0,8805	0,928	0,9454	0,5329	0,2891	0,6359	0,8199
Senaryo 2																				
Klasik BBH																				
A ^{başlangıç}	0,64	0,97	0,77	0,52	0,62	0,69	0,41	0,42	0,59	0,30	0,30	0,46	0,81	0,97	0,96	0,27	0,89	0,17	0,88	0,00
A ^{final}	0,8755	0,833	0,8585	0,9147	0,8525	0,7552	0,7234	0,9055	0,8719	0,9176	0,8602	0,9176	0,8342	0,8317	0,8709	0,8825	0,5313	0,2203	0,4378	0,9595
Hibrit BBH																				
Kısıt: 0.20<C20<0.50																				
A ^{başlangıç}	0,64	0,97	0,77	0,52	0,62	0,69	0,41	0,42	0,59	0,30	0,30	0,46	0,81	0,97	0,96	0,27	0,89	0,17	0,88	0,00
A ^{final}	0,9345	0,9034	0,9335	0,9703	0,9448	0,8263	0,7585	0,9633	0,9468	0,9712	0,9257	0,9726	0,9227	0,9310	0,9185	0,9437	0,5453	0,5148	0,5644	0,3647

Tablo 4.15'te verilen 6 firma için başlangıç durumları kullanılarak öncelikle bulanık bilişsel haritalar yöntemi doğrusal olmayan Hebbian öğrenme algoritması ile çalıştırılmıştır. Öğrenme algoritması ile ağırlık değerleri üzerinde küçük değişiklikler meydana gelmektedir. Öğrenme parametreleri ise η (öğrenme oranı) ve ρ (ağırlık bozulma değişkeni) deneme yanılma yolu ile sırasıyla 0,07 ve 0,98 olarak belirlenmiş ve Denklem 3.24 kullanılarak algoritma adımı gerçekleştirilmiştir.

Doğrusal olmayan Hebbian öğrenme algoritması ile BBH yöntemi uygulandıktan sonra ikinci aşama olarak diferansiyel evrim algoritması kullanılmıştır. Diferansiyel evrim algoritmasına girdi olarak NHL ile elde edilen ağırlık matrisi verilmiştir. Altı firma için de popülasyon büyüklüğü deneme yanılma yolu ile 500 olarak belirlenmiştir. Her W_i^k ağırlık matrisi için yeni mutant ağırlık matrisi Denklem 4.1 ile hesaplanır.

$$v_i^{(k+1)} = W_i^k + mut(W_{eni}^k - W_i^k + W_{a1} - W_{a2}) \quad i = 1 \dots n \quad (4.1)$$

v_i^k , yeni ağırlık matrisi (mutant vektör), W_{eni}^k bir sonraki iterasyon için en iyi popülasyon üyesi, mut deneme yoluyla çalışmada 0,5 olarak belirlenen mutasyon oranı, W_{a1} ve W_{a2} ise popülasyondan seçilen rastgele ağırlık matrisleridirler. n , ise popülasyon büyüklüğüdür. Benzer ağırlık matrislerinin ortaya çıkmasının önüne geçmek için ise çaprazlama işlemi kullanılmıştır ve deneme matrisleri olarak adlandırılan u_i^k geçici matrisler ortaya çıkmıştır. Mutant vektör v_i^k , W_i^k ağırlık matrisleri ile karıştırılır. Çaprazlama işleminde modeldeki her kriter için $[0,1]$ aralığında rastgele r sayıları seçilir. Bu sayılar deneme yoluyla belirlenerek 0,5 olarak alınan çaprazlama oranı ile karşılaştırılır. Eğer r sayısı, çaprazlama oranından küçük ise u_i^k deneme vektörünün j . değeri, v_i^k mutant vektörünün j . değerini alır. Aksi halde W_i^k matrisinin j . değerini alır. u_i^k deneme matrisi ancak uygunluk fonksiyonu sağlandığında kabul edilir, aksi taktirde W_i^k sabit kalır.

Sistemin Tablo 4.14'te örnek olarak verilen farklı başlangıç durumları ile olsa bile çıktı kriterlerinin aynı değerlere gitmelerinin önüne geçmek için modele kısıtlar koymak gerekmektedir. Bu kısıtlar modelin durumuna göre değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada modele müdahalenin çok fazla olmaması için çıktı kriteri olan C20, 0,1 ile 1 değerleri arasında kısıtlanmıştır. Bu değerleri çok küçük aralıkta vermek dijital

dönüşüm sürecinde firmaların kararlı değerlerine olmaması gereken müdahale olarak algılanabilecektir.

Çalışmada her kriter C_i olarak ifade edilmiştir. C_{20} , modelin çıktı kriteridir. $A_{20}^1, \dots, A_{20}^{final}$ iterasyonlar boyunca kararlı duruma gelene kadar çıktı kriterinin aldığı değerler olsun. Çalışmada kısıt olarak her firma için A_{20}^{min} değeri 0,1; A_{20}^{max} ise 1 olarak alınmıştır. Kısıt koyularak amaçlanan ağırlık matrisinin küçük değişiklikler ile çıktı değerlerinin belirli bir bölgede sonuç vermesini sağlamaktadır. Bu amaçla Denklem 4.2’de verilen uygunluk fonksiyonu kullanılmıştır.

$$F(W) = \sum_{i=1}^m [|A_{20}^{min} - A_{20(i)}| + |A_{20(i)} - A_{20}^{max}|] \quad (4.2)$$

m , iterasyon sayısı; $A_{20(i)}^{min}$, çıktı kriterinin minimum değeri olan 0,1; A_{20}^{max} , çıktı kriterinin maksimum değeri olan 1 ve $A_{20(i)}$, çıktı kriterinin i . iterasyonda aldığı değerdir. $F(W)$ uygunluk değerinin minimum olması en iyi ağırlık matrisinin elde edilmesini sağlamaktadır.

Tablo 4.13’te başlangıç durumları verilen firmalar için sırasıyla diferansiyel evrim algoritması ile desteklenmiş bulanık bilişsel haritalar yöntemi uygulanmıştır. Tablo 4.15’te tüm firmalar için iterasyonlar boyunca kararlı duruma gelene kadar bulunan değerler verilmiştir.

Şekil 4.5’te birinci firma için bulunan değerler grafiksel olarak gösterilmektedir. Başlangıç durumları incelendiğinde altı firma arasında dijital dönüşüm eğilimi en düşük firma birinci firma olarak tespit edilmiştir. Firmanın geleceğe yönelik eğilimi incelendiğinde on zaman periyodu sonunda 0,9537 değerinde kararlı duruma gelmiştir. Bu değer Tablo 4.16 incelendiğinde en kötü senaryoya yakın olarak bulunmuştur. Önemli olan değerden ziyade aralıktır.

Tablo 4.15. Firmaların BBH çıktı değerleri.

İteras.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
1. Firma																				
1	0,4200	0,4600	0,3500	0,3300	0,3000	0,3800	0,2200	0,3400	0,0800	0,3800	0,3800	0,1700	0,1300	0,2700	0,1900	0,4500	0,8800	0,7500	1	0,1200
2	0,6890	0,7379	0,7060	0,7716	0,5258	0,6287	0,5797	0,6735	0,6386	0,6111	0,6259	0,7114	0,6505	0,6875	0,6884	0,6407	0,6801	0,6838	0,7360	0,6251
3	0,8586	0,8799	0,8780	0,9379	0,6700	0,7406	0,6865	0,8734	0,8691	0,7967	0,7728	0,9241	0,8594	0,8719	0,8936	0,7568	0,5616	0,5602	0,5670	0,8802
4	0,9075	0,9190	0,9210	0,9675	0,7403	0,7803	0,7183	0,9267	0,9227	0,8673	0,8307	0,9612	0,9099	0,9173	0,9379	0,8049	0,5003	0,4780	0,4674	0,9390
5	0,9176	0,9271	0,9294	0,9729	0,7670	0,7913	0,7273	0,9376	0,9330	0,8863	0,8478	0,9675	0,9199	0,9262	0,9459	0,8198	0,4775	0,4421	0,4230	0,9502
6	0,9197	0,9287	0,9310	0,9741	0,7760	0,7941	0,7297	0,9401	0,9352	0,8913	0,8525	0,9689	0,9219	0,9280	0,9475	0,8238	0,4704	0,4291	0,4063	0,9527
7	0,9202	0,9291	0,9313	0,9744	0,7789	0,7947	0,7303	0,9407	0,9357	0,8927	0,8538	0,9693	0,9224	0,9284	0,9479	0,8249	0,4684	0,4248	0,4005	0,9534
8	0,9203	0,9291	0,9314	0,9744	0,7798	0,7949	0,7305	0,9409	0,9358	0,8931	0,8541	0,9694	0,9225	0,9284	0,9480	0,8251	0,4678	0,4234	0,3986	0,9536
9	0,9203	0,9292	0,9314	0,9745	0,7801	0,7949	0,7305	0,9409	0,9359	0,8932	0,8542	0,9694	0,9225	0,9285	0,9480	0,8252	0,4676	0,4230	0,3980	0,9537
10	0,9204	0,9292	0,9314	0,9745	0,7801	0,7949	0,7305	0,9409	0,9359	0,8932	0,8543	0,9694	0,9225	0,9285	0,9480	0,8252	0,4676	0,4229	0,3978	0,9537
2. Firma																				
1	0,2900	0,3800	0,3000	0,4200	0,3500	0,4400	0,3800	0,4500	0,4200	0,3300	0,3800	0,2900	0,4200	0,3700	0,3100	0,5000	0,8800	1	0,7500	0,1800
2	0,7094	0,7475	0,7376	0,8275	0,5581	0,6637	0,6255	0,7466	0,7398	0,6510	0,6540	0,7844	0,7306	0,7384	0,7431	0,6706	0,6583	0,7178	0,6716	0,6870
3	0,8802	0,8934	0,8947	0,9512	0,6963	0,7573	0,7016	0,8996	0,8938	0,8299	0,7979	0,9415	0,8797	0,8894	0,9113	0,7779	0,5516	0,5651	0,5512	0,9058
4	0,9184	0,9255	0,9279	0,9719	0,7588	0,7892	0,7252	0,9368	0,9307	0,8859	0,8468	0,9667	0,9165	0,9238	0,9440	0,8191	0,5012	0,4873	0,4727	0,9486
5	0,9255	0,9314	0,9339	0,9758	0,7810	0,7978	0,7321	0,9444	0,9381	0,8997	0,8599	0,9711	0,9238	0,9303	0,9498	0,8309	0,4833	0,4563	0,4368	0,9563
6	0,9269	0,9325	0,9351	0,9766	0,7882	0,7998	0,7339	0,9461	0,9396	0,9033	0,8633	0,9721	0,9253	0,9316	0,9510	0,8339	0,4778	0,4456	0,4231	0,9581
7	0,9272	0,9327	0,9353	0,9768	0,7904	0,8003	0,7343	0,9466	0,9400	0,9043	0,8641	0,9723	0,9257	0,9319	0,9512	0,8347	0,4763	0,4421	0,4183	0,9586
8	0,9272	0,9327	0,9354	0,9769	0,7911	0,8004	0,7345	0,9467	0,9401	0,9045	0,8644	0,9724	0,9258	0,9320	0,9513	0,8349	0,4758	0,4410	0,4167	0,9587
9	0,9272	0,9327	0,9354	0,9769	0,7913	0,8005	0,7345	0,9467	0,9401	0,9046	0,8644	0,9724	0,9258	0,9320	0,9513	0,8349	0,4757	0,4407	0,4162	0,9587
10	0,9273	0,9327	0,9354	0,9769	0,7913	0,8005	0,7345	0,9467	0,9401	0,9047	0,8644	0,9724	0,9258	0,9320	0,9513	0,8349	0,4757	0,4407	0,4162	0,9587
3. Firma																				
1	0,2500	0,3800	0,3000	0,3300	0,4000	0,4400	0,3400	0,3200	0,2500	0,3300	0,3800	0,3800	0,4600	0,2700	0,5000	0,2500	0,5000	0,5000	0,5000	0,2100
2	0,7075	0,7321	0,7373	0,7948	0,6021	0,6677	0,6121	0,7253	0,7045	0,6605	0,6578	0,7826	0,7298	0,7134	0,7663	0,6229	0,5653	0,5786	0,5542	0,7033
3	0,8786	0,8853	0,8947	0,9460	0,7047	0,7594	0,6976	0,8944	0,8851	0,8261	0,7915	0,9374	0,8724	0,8806	0,9076	0,7683	0,5338	0,5271	0,4979	0,9049
4	0,9177	0,9213	0,9284	0,9697	0,7544	0,7911	0,7237	0,9338	0,9265	0,8798	0,8392	0,9644	0,9113	0,9191	0,9407	0,8153	0,5039	0,4823	0,4488	0,9461
5	0,9252	0,9283	0,9347	0,9741	0,7735	0,7999	0,7311	0,9418	0,9347	0,8937	0,8527	0,9692	0,9196	0,9268	0,9472	0,8281	0,4911	0,4618	0,4247	0,9540
6	0,9268	0,9297	0,9359	0,9750	0,7801	0,8021	0,7331	0,9437	0,9365	0,8973	0,8563	0,9704	0,9215	0,9285	0,9486	0,8313	0,4868	0,4543	0,4153	0,9558
7	0,9271	0,9300	0,9362	0,9753	0,7823	0,8026	0,7336	0,9442	0,9370	0,8984	0,8573	0,9706	0,9220	0,9289	0,9489	0,8322	0,4854	0,4517	0,4119	0,9563
8	0,9272	0,9301	0,9363	0,9754	0,7830	0,8028	0,7338	0,9444	0,9371	0,8987	0,8576	0,9707	0,9221	0,9290	0,9490	0,8324	0,4850	0,4508	0,4108	0,9565
9	0,9272	0,9301	0,9363	0,9754	0,7832	0,8028	0,7338	0,9444	0,9371	0,8988	0,8576	0,9707	0,9221	0,9290	0,9491	0,8324	0,4849	0,4506	0,4104	0,9565

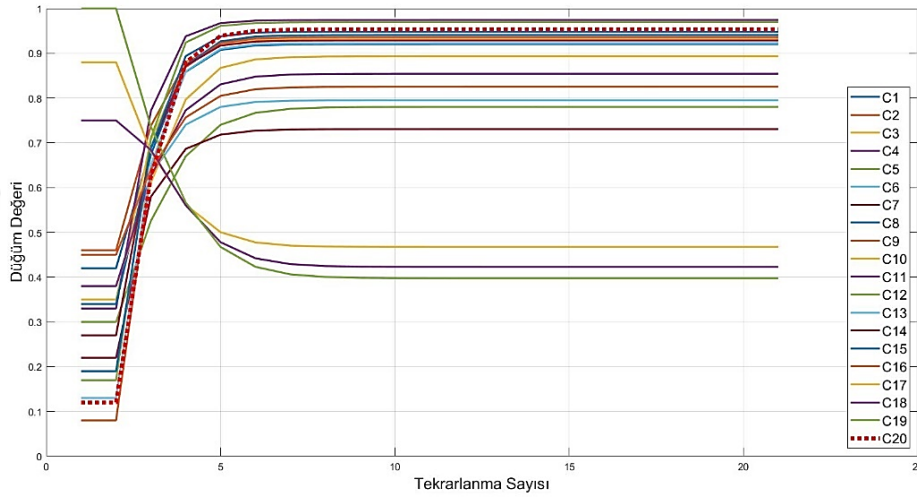
Tablo 4.15. (Devamı) Firmaların BBH çıktı değerleri.

İteras.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
4. Firma																				
1	0,5000	0,5400	0,5500	0,5800	0,4500	0,4100	0,1600	0,2300	0	0,2100	0,1900	0	0,2100	0,5000	0,6900	0,4500	0,3800	0,5000	0,5000	0,2300
2	0,7697	0,8151	0,8112	0,8464	0,6396	0,6781	0,5782	0,7092	0,6926	0,6508	0,6529	0,7522	0,7418	0,7887	0,8063	0,6984	0,5321	0,5797	0,5535	0,7301
3	0,8947	0,9075	0,9117	0,9551	0,7282	0,7695	0,6961	0,8994	0,8956	0,8366	0,8073	0,9442	0,8889	0,8991	0,9180	0,7990	0,5248	0,5310	0,4934	0,9182
4	0,9244	0,9307	0,9353	0,9730	0,7702	0,7988	0,7273	0,9371	0,9325	0,8873	0,8514	0,9679	0,9204	0,9265	0,9448	0,8329	0,5057	0,4925	0,4475	0,9519
5	0,9302	0,9356	0,9399	0,9763	0,7860	0,8067	0,7353	0,9440	0,9392	0,8990	0,8626	0,9717	0,9268	0,9322	0,9500	0,8422	0,4969	0,4759	0,4263	0,9579
6	0,9313	0,9367	0,9409	0,9771	0,7912	0,8086	0,7374	0,9455	0,9406	0,9019	0,8654	0,9726	0,9282	0,9335	0,9511	0,8445	0,4939	0,4698	0,4182	0,9593
7	0,9316	0,9369	0,9411	0,9772	0,7929	0,8090	0,7378	0,9459	0,9410	0,9027	0,8662	0,9728	0,9285	0,9338	0,9513	0,8451	0,4930	0,4678	0,4154	0,9597
8	0,9317	0,9370	0,9411	0,9773	0,7934	0,8092	0,7380	0,9461	0,9411	0,9030	0,8664	0,9728	0,9286	0,9339	0,9514	0,8453	0,4927	0,4672	0,4145	0,9598
9	0,9317	0,9370	0,9411	0,9773	0,7936	0,8092	0,7380	0,9461	0,9411	0,9031	0,8664	0,9729	0,9286	0,9339	0,9514	0,8453	0,4926	0,4670	0,4142	0,9598
10	0,9317	0,9370	0,9411	0,9773	0,7936	0,8092	0,7380	0,9461	0,9411	0,9031	0,8664	0,9729	0,9287	0,9339	0,9514	0,8453	0,4926	0,4669	0,4141	0,9598
5. Firma																				
1	0,7900	0,6700	0,7500	0,6300	0,7500	0,4700	0,5300	0,5400	0,0800	0,2900	0,1300	0,6300	0,4200	0,8700	0,6900	0,8000	0	0	0,2500	0,4600
2	0,8973	0,8981	0,8986	0,9356	0,8019	0,7403	0,6930	0,8864	0,8240	0,8281	0,7608	0,9380	0,8661	0,9006	0,9080	0,8350	0,4261	0,4392	0,4317	0,9128
3	0,9391	0,9390	0,9432	0,9787	0,8152	0,8065	0,7373	0,9514	0,9389	0,9163	0,8702	0,9764	0,9293	0,9345	0,9551	0,8652	0,5025	0,5359	0,4533	0,9682
4	0,9462	0,9461	0,9508	0,9829	0,8191	0,8216	0,7495	0,9589	0,9501	0,9271	0,8856	0,9804	0,9380	0,9418	0,9615	0,8743	0,5158	0,5574	0,4530	0,9734
5	0,9473	0,9472	0,9520	0,9835	0,8199	0,8249	0,7526	0,9598	0,9514	0,9284	0,8878	0,9809	0,9393	0,9431	0,9624	0,8762	0,5183	0,5623	0,4519	0,9740
6	0,9474	0,9475	0,9522	0,9836	0,8201	0,8255	0,7533	0,9600	0,9516	0,9286	0,8881	0,9810	0,9395	0,9433	0,9625	0,8766	0,5188	0,5635	0,4514	0,9741
7	0,9474	0,9475	0,9522	0,9836	0,8201	0,8255	0,7533	0,9600	0,9516	0,9286	0,8881	0,9810	0,9395	0,9433	0,9625	0,8766	0,5188	0,5635	0,4514	0,9741
6. Firma																				
1	0,8300	0,8800	0,8000	0,9200	0,8000	0,6900	0,7500	0,6300	0	0,6300	0,8100	0,4200	0,8300	0,8300	1	1	0,1300	0	0	0,6100
2	0,9388	0,9464	0,9462	0,9814	0,8729	0,8130	0,7473	0,9398	0,8953	0,9219	0,9151	0,9655	0,9417	0,9448	0,9590	0,9115	0,4488	0,4697	0,3637	0,9685
3	0,9564	0,9551	0,9599	0,9885	0,8647	0,8338	0,7565	0,9682	0,9592	0,9469	0,9173	0,9855	0,9497	0,9537	0,9692	0,9086	0,5217	0,5827	0,4603	0,9833
4	0,9576	0,9562	0,9615	0,9889	0,8577	0,8378	0,7593	0,9691	0,9616	0,9467	0,9159	0,9860	0,9501	0,9543	0,9699	0,9084	0,5390	0,6123	0,4878	0,9832
5	0,9576	0,9562	0,9616	0,9888	0,8549	0,8385	0,7600	0,9688	0,9615	0,9459	0,9152	0,9859	0,9499	0,9543	0,9698	0,9082	0,5433	0,6200	0,4958	0,9830
6	0,9576	0,9562	0,9617	0,9888	0,8539	0,8386	0,7602	0,9687	0,9614	0,9457	0,9150	0,9859	0,9498	0,9542	0,9697	0,9081	0,5443	0,6221	0,4981	0,9829
7	0,9576	0,9562	0,9617	0,9888	0,8539	0,8386	0,7602	0,9687	0,9614	0,9457	0,9150	0,9859	0,9498	0,9542	0,9697	0,9081	0,5446	0,6226	0,4988	0,9829

Tablo 4.16. En iyi ve en kötü firma senaryoları.

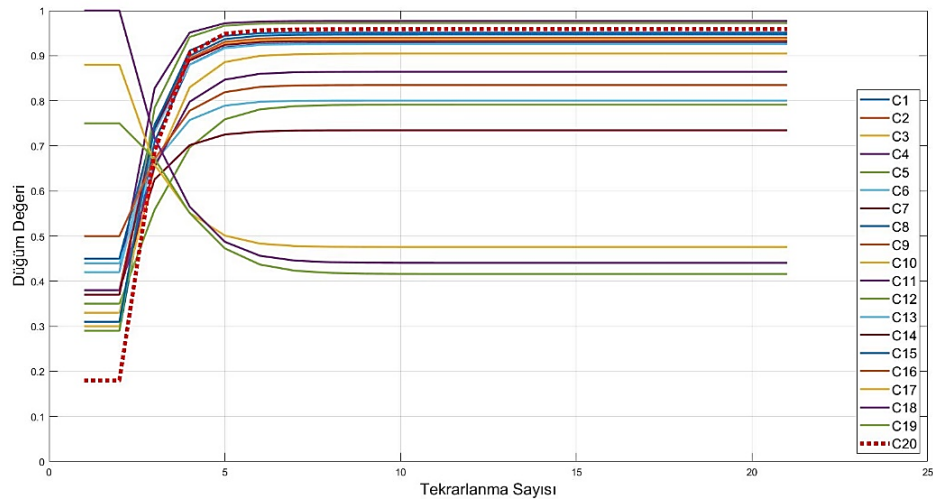
En İyi Firma Senaryosu																				
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1
2	0,9775	0,9736	0,9753	0,9957	0,9368	0,8794	0,8207	0,9885	0,9829	0,9817	0,9553	0,9949	0,9726	0,9745	0,9859	0,9481	0,4208	0,5330	0,3678	0,9955
3	0,9718	0,9669	0,9708	0,9939	0,9028	0,8576	0,7866	0,9835	0,9764	0,9720	0,9379	0,9926	0,9631	0,9662	0,9809	0,9344	0,5272	0,6805	0,4912	0,9928
4	0,9703	0,9651	0,9697	0,9933	0,8894	0,8529	0,7794	0,9817	0,9742	0,9683	0,9322	0,9918	0,9602	0,9637	0,9794	0,9305	0,5541	0,7162	0,5311	0,9917
5	0,9699	0,9647	0,9695	0,9931	0,8851	0,8519	0,7779	0,9812	0,9736	0,9671	0,9307	0,9916	0,9594	0,9630	0,9790	0,9295	0,5610	0,7245	0,5433	0,9914
6	0,9698	0,9646	0,9694	0,9930	0,8838	0,8517	0,7775	0,9810	0,9735	0,9668	0,9303	0,9915	0,9592	0,9629	0,9789	0,9292	0,5627	0,7264	0,5469	0,9913
7	0,9698	0,9645	0,9694	0,9930	0,8835	0,8516	0,7775	0,9810	0,9734	0,9667	0,9302	0,9915	0,9591	0,9628	0,9788	0,9291	0,5632	0,7268	0,5480	0,9913
8	0,9697	0,9645	0,9694	0,9930	0,8834	0,8516	0,7774	0,9810	0,9734	0,9667	0,9302	0,9915	0,9591	0,9628	0,9788	0,9291	0,5633	0,7269	0,5483	0,9912
9	0,9697	0,9645	0,9694	0,9930	0,8834	0,8516	0,7774	0,9810	0,9734	0,9667	0,9302	0,9915	0,9591	0,9628	0,9788	0,9291	0,5633	0,7270	0,5483	0,9912
En Kötü Firma Senaryosu																				
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
2	0,4903	0,5182	0	0,5102	0,3994	0	0	0,4656	0,484	0,4176	0,451	0,4858	0,5004	0,5129	0,5016	0,4645	1	0,7909	0,8098	0,4099
3	0,7202	0,7428	0,6505	0,8209	0,5554	0,5491	0,5169	0,7494	0,7344	0,6455	0,6565	0,7966	0,7252	0,7388	0,7599	0,6324	0,6596	0,6721	0,6939	0,7132
4	0,8553	0,8741	0,8646	0,9368	0,6678	0,7211	0,6662	0,8793	0,8742	0,7914	0,7696	0,9256	0,8627	0,8733	0,8957	0,7344	0,5406	0,5269	0,553	0,8758
5	0,8957	0,9102	0,91	0,961	0,7231	0,7696	0,7073	0,9169	0,9138	0,8471	0,8146	0,9539	0,9023	0,9103	0,93	0,7755	0,4882	0,4406	0,4607	0,9217
6	0,9049	0,9179	0,9188	0,9661	0,7449	0,782	0,718	0,926	0,9227	0,8637	0,8288	0,9597	0,911	0,9181	0,9371	0,7885	0,4689	0,4045	0,4177	0,9326
7	0,907	0,9194	0,9205	0,9672	0,7526	0,785	0,7208	0,9283	0,9247	0,8684	0,8328	0,9611	0,9128	0,9197	0,9386	0,7923	0,4628	0,3917	0,4009	0,9354
8	0,9074	0,9197	0,9209	0,9675	0,7552	0,7857	0,7215	0,9289	0,9252	0,8698	0,8339	0,9614	0,9132	0,9201	0,9389	0,7933	0,461	0,3875	0,395	0,9361
9	0,9075	0,9198	0,921	0,9676	0,756	0,7858	0,7216	0,929	0,9253	0,8702	0,8342	0,9615	0,9133	0,9201	0,939	0,7935	0,4605	0,3862	0,3931	0,9363
10	0,9076	0,9198	0,921	0,9676	0,7563	0,7859	0,7217	0,9291	0,9254	0,8703	0,8343	0,9616	0,9133	0,9201	0,939	0,7936	0,4604	0,3858	0,3924	0,9364

Birinci firmanın dijital dönüşüm eğiliminin zayıf olmasının sebebi halihazırda firmanın kriterlerinin iyi yönetilmemesidir. Kriterlerin başlangıç durumları incelendiğinde aynı zamanda dijital dönüşümü olumsuz olarak etkileyen C17, C18 ve C19 kriterlerinin değerleri de anket soruları kullanılarak 1'e yakın bulunmuştur. Bu durum dijital dönüşüm sürecini olumsuz etkilemiştir. Dönüşümü pozitif etkileyen kriterlerin iyi yönetilememesi firmanın istenilen düzeylere çıkamamasına neden olmuştur.



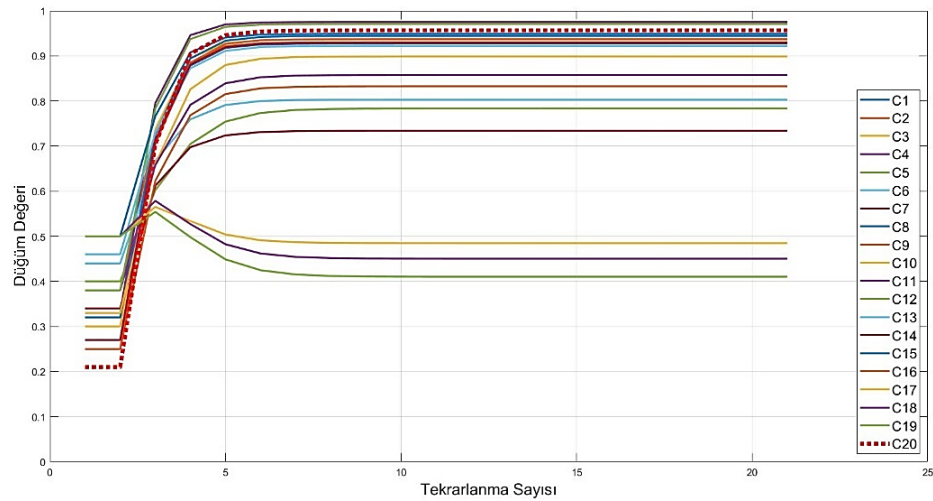
Şekil 4.5. Birinci firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.

İkinci firmanın başlangıç durumu incelendiğinde dijital dönüşüm süreçleri açısından birinci firmaya göre daha iyi durumda olduğu söylenebilir. Algoritma uygulandığında ikinci firmanın çıktı kriteri değeri on zaman periyodu sonrasında 0,9587 değeri alarak kararlı duruma ulaşmıştır. Bu firmada da birinci firmaya benzer şekilde dijital dönüşümü olumsuz etkileyen kriterlerin başlangıç değerleri yüksek ve diğer kriterler de iyi yönetilememektedir. Kriterler arasındaki etkileşimler de dijital dönüşüm eğilimini yüksek seviyelere bu koşullar altında çıkaramayacaktır. Şekil 4.6'da ikinci firmaya ait grafik verilmiştir.



Şekil 4.6. İkinci firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.

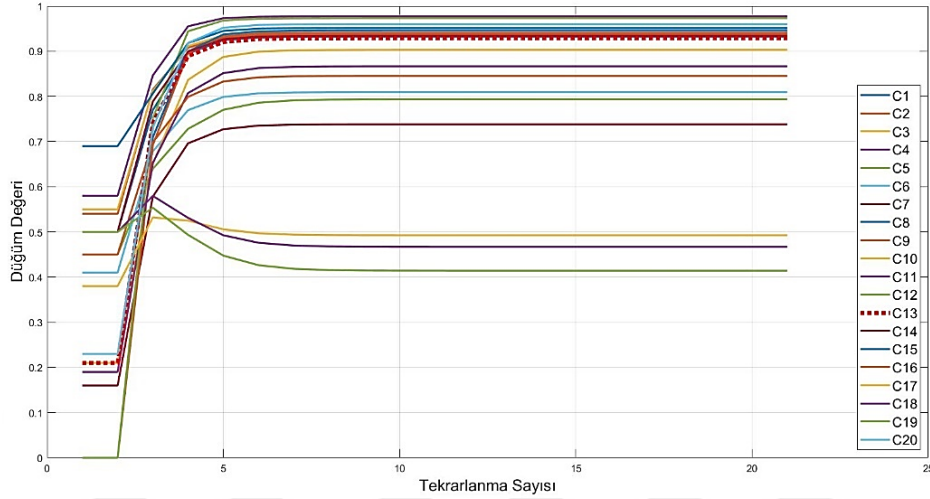
Birinci ve ikinci firmalara göre başlangıç kriterleri ve dijital dönüşüm süreçleri açısından daha iyi seviyede olan üçüncü firmanın yedi zaman periyodunda 0,9565 değeri alarak kararlı duruma ulaştığı belirlenmiştir. En kötü firma senaryosu ile karşılaştırıldığında üçüncü firmanın çok iyi bir gelişme sağlamadığı görülmüştür. Bunun sebebi önem sıralamasında ilk sıralarda yer alan kriterlerin iyi yönetilmemesidir. Ayrıca modeli olumsuz yönde etkileyen kriterler de iyi yönetilememektedir. Şekil 4.7’de üçüncü firmanın aldığı değerler verilmiştir.



Şekil 4.7. Üçüncü firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.

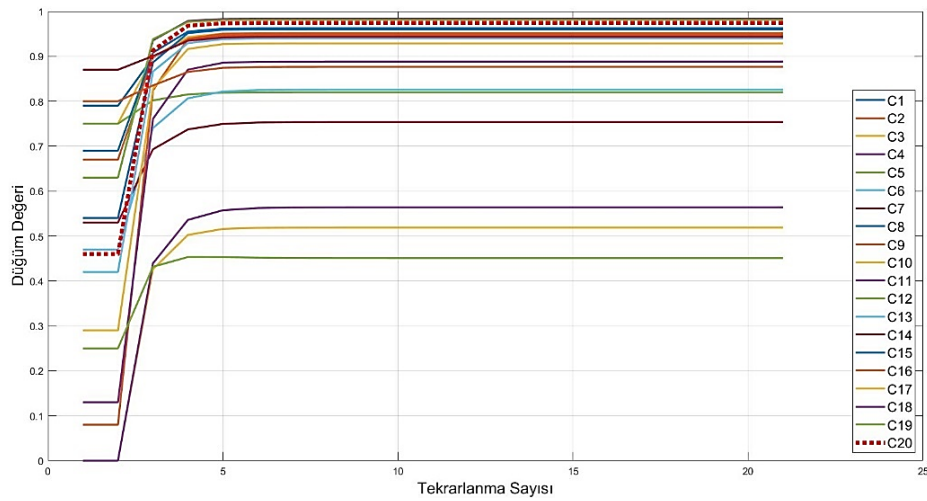
Şekil 4.8’de dördüncü firmaya ait algoritma sonuçlarının grafiksel gösterimi bulunmaktadır. Bu firmada dijital dönüşüm eğilim değeri on iterasyon sonucu 0,9598 değerine ulaşmıştır. İlk üç firmaya göre daha iyi sonuçlar elde edilmesinin nedeni kriterlerin diğer firmalara göre daha iyi yönetilmesidir. Mevcut durumda orta derecede

iyi yönetildiği görülen firmanın kriterlerinin önem derecelerine göre yapacağı iyileştirmeler dijital dönüşüm süreci açısından hızlı sonuçlar almasına neden olabilecektir.



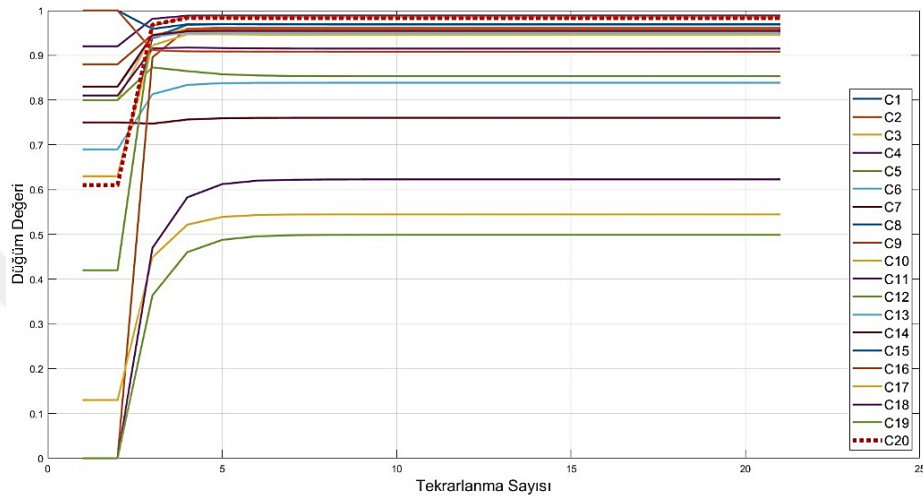
Şekil 4.8. Dördüncü firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.

Beşinci firma mevcut koşullarda dijital dönüşüm süreçlerini stratejik hedefleri halinde uygulamayı benimsemiş bir firmadır. Şirkette dijital dönüşümü etkileyen her kriter hakkında çalışmalar yapılmaktadır. Mevcut durum incelendiğinde firmaya ait başlangıç değerleri oldukça iyi seviyelerdedir. Başlangıç vektörünün algoritma sonucu on zaman periyodunda kararlı duruma ulaştığı görülmekte ve dijital dönüşüm eğilimi olarak adlandırılan çıktı kriterinin 0,9741 değerine ulaştığı hesaplanmıştır. Şekil 4.9’da iterasyonlar boyunca beşinci firmanın kriterlerinin aldığı değerler grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.9. Beşinci firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.

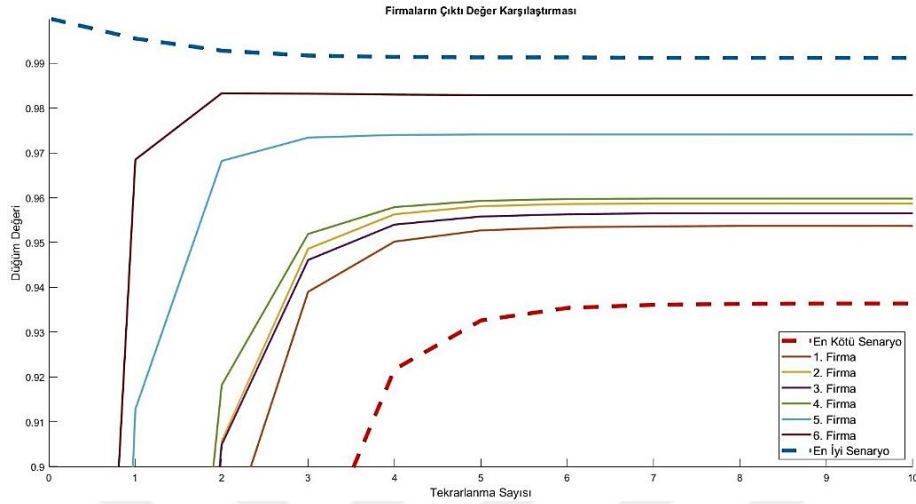
Altıncı firma ele alınan firmalar içerisinde dijital dönüşüm süreçleri açısından en iyi firmadır. Bu firmada başlangıç kriter değerleri oldukça yüksek olarak anket sonuçlarından tespit edilmiştir. Dijital dönüşüm süreçlerini olumsuz olarak etkileyen kriterler neredeyse mükemmel denecek kadar iyi yönetilmektedir. Diğer kriterler ise oldukça iyi seviyelerdedir. Uygulanan algoritma sonucu on zaman periyodu sonrasında çıktı kriterinin kararlı durum değeri oldukça yüksek olan 0,9829 değerine ulaşmıştır. Şekil 4.10'da altıncı firmaya ait grafiksel gösterim verilmiştir.



Şekil 4.10. Altıncı firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.

Şekil 4.11'de tüm firmaların C20 (dijital dönüşüm eğilimi) çıktı değerlerinin iterasyonlar boyunca aldığı değerler verilmiştir. Ayrıca temel alınan en iyi ve en kötü senaryolar da şekilde görülmektedir. Kesikli çizgiler sırasıyla mevcut durumda tüm kriterlerin dijital dönüşüm süreçleri açısından en iyi olarak yönetildiği en iyi senaryo ve kriterlerin en kötü yönetildiği en kötü senaryoyu belirtmektedir. Birinci ve ikinci firmalar mevcut durumda diğer firmalardan dijital dönüşüm süreçleri açısından daha kötü durumda olan firmalardır. Üçüncü ve dördüncü firmalar dijital dönüşüm açısından orta düzeyde yönetilen firmalar, beşinci ve altıncı firmalar ise mevcut durumda iyi yönetilen firmalardır. İkinci firma mevcut durumda üçüncü firmadan daha kötü seviyede olmasına rağmen ikinci iterasyon adımı sonrasında ikinci firma çıktı kriteri C20 daha iyi seviyeye ulaşmış ve kararlı durumda 0,9587 değerini almıştır. Üçüncü firmanın çıktı kriteri kararlı durum değeri 0,9565 olarak bulunmuştur. Bu iki firmanın mevcut durumları incelenecek olursa dijital dönüşüm sürecini en çok etkileyen kriterlerden C1, C4, C7, C14 kriterlerinin başlangıç durum değerleri ikinci firmada daha yüksek değerler almıştır. Bu sebeple gelecekte ikinci firma bu kriterlerin

yüksek değerleri ve etkileşimleri sayesinde üçüncü firmanın çıktı kriteri kararlı durum değerlerinde daha üst seviyeye ulaşmıştır.



Şekil 4.11. Tüm firma senaryolarının C20 çıktı kriteri değişimleri.

4.2.3. Duyarlılık analizi

Duyarlılık analizi kısmında belirlenen 6 firma için dijital dönüşüm sürecini olumlu olarak etkileyen en önemli 3 kriter olan C15, C14 ve C13 kriterlerinin mevcut değerlerinin 1 değeri alarak çok iyi durumda olduğu varsayılmıştır. Böylelikle dijital dönüşüm süreçlerinde bu kriterlerin, modelin gelecek öngörülerinde önemini görmek mümkün olabilecektir. Analiz sayısı tamamen karar vericiye bağlı olup, istenildiği şekilde artırılıp, azaltılabilir. Tablo 4.17’de C15, C14 ve C13 kriterlerinin 1 değeri olarak ayarlandığı altı firmanın başlangıç kriter değerleri verilmiştir.

Tablo 4.17. Revize edilmiş firma senaryoları.

Firma	C1	C2	C3	C4	C5	.....	C15	C16	C17	C18	C19	C20
1	0,42	0,46	0,35	0,33	0,30	.....	1,00	0,45	0,88	0,75	1,00	0,24
2	0,29	0,38	0,30	0,42	0,35	.....	1,00	0,50	0,88	1,00	0,75	0,28
3	0,25	0,38	0,30	0,33	0,40	.....	1,00	0,25	0,50	0,50	0,50	0,31
4	0,50	0,54	0,55	0,58	0,45	.....	1,00	0,45	0,38	0,50	0,50	0,31
5	0,79	0,67	0,75	0,63	0,75	.....	1,00	0,80	0,00	0,00	0,25	0,52
6	0,83	0,88	0,80	0,92	0,80	.....	1,00	1,00	0,13	0,00	0,00	0,63

Bulanık bilişsel haritalar ve diferansiyel evrim algoritması uygulama adımları ile firmaların iterasyon sonrası aldıkları kararlı değerler Tablo 4.18’de verilmiştir.

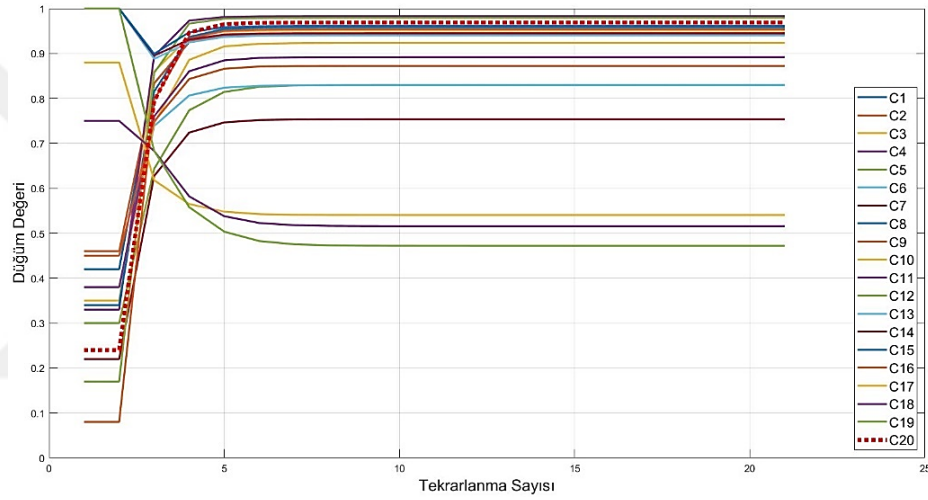
Tablo 4.18. Revize edilmiş firma senaryoları BBH değerleri.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
1. Firma Senaryosu																				
1	0,4200	0,4600	0,3500	0,3300	0,3000	0,3800	0,2200	0,3400	0,0800	0,3800	0,3800	0,1700	1,00	1,00	1,00	0,4500	0,8800	0,7500	1,00	0,2400
2	0,8335	0,8338	0,8599	0,8944	0,6433	0,7387	0,6276	0,8154	0,7968	0,7446	0,7603	0,8571	0,8882	0,8952	0,8992	0,7488	0,6180	0,6829	0,6834	0,7937
3	0,9253	0,9268	0,9370	0,9731	0,7736	0,8065	0,7240	0,9368	0,9329	0,8859	0,8604	0,9667	0,9247	0,9310	0,9471	0,8432	0,5650	0,5820	0,5580	0,9467
4	0,9404	0,9414	0,9485	0,9813	0,8145	0,8239	0,7466	0,9547	0,9503	0,9157	0,8847	0,9772	0,9368	0,9422	0,9585	0,8661	0,5480	0,5379	0,5035	0,9653
5	0,9429	0,9438	0,9505	0,9827	0,8258	0,8281	0,7519	0,9576	0,9530	0,9216	0,8902	0,9788	0,9394	0,9445	0,9606	0,8710	0,5426	0,5227	0,4826	0,9681
6	0,9434	0,9442	0,9509	0,9830	0,8289	0,8290	0,7531	0,9583	0,9535	0,9229	0,8915	0,9791	0,9399	0,9450	0,9611	0,8721	0,5410	0,5179	0,4754	0,9687
7	0,9435	0,9443	0,9510	0,9830	0,8297	0,8293	0,7534	0,9584	0,9537	0,9233	0,8918	0,9792	0,9401	0,9451	0,9611	0,8723	0,5406	0,5164	0,4730	0,9688
8	0,9436	0,9443	0,9510	0,9831	0,8300	0,8293	0,7535	0,9585	0,9537	0,9234	0,8919	0,9792	0,9401	0,9451	0,9612	0,8724	0,5405	0,5160	0,4723	0,9689
9	0,9436	0,9443	0,9510	0,9831	0,8300	0,8293	0,7535	0,9585	0,9537	0,9234	0,8919	0,9792	0,9401	0,9451	0,9612	0,8724	0,5404	0,5158	0,4720	0,9689
2. Firma Senaryosu																				
1	0,2900	0,3800	0,3000	0,4200	0,3500	0,4400	0,3800	0,4500	0,4200	0,3300	0,3800	0,2900	1,00	1,00	1,00	0,5000	0,8800	0,75	0,7500	0,2800
2	0,8295	0,8318	0,8608	0,9128	0,6613	0,7582	0,6676	0,8505	0,8502	0,7623	0,7667	0,8860	0,8914	0,8987	0,9035	0,7625	0,6183	0,7246	0,6370	0,8187
3	0,9298	0,9301	0,9390	0,9756	0,7824	0,8129	0,7342	0,9438	0,9391	0,8966	0,8670	0,9703	0,9271	0,9334	0,9498	0,8482	0,5650	0,5921	0,5560	0,9524
4	0,9434	0,9435	0,9496	0,9824	0,8195	0,8269	0,7503	0,9577	0,9524	0,9220	0,8895	0,9786	0,9380	0,9434	0,9599	0,8689	0,5480	0,5435	0,5131	0,9677
5	0,9455	0,9454	0,9513	0,9835	0,8296	0,8304	0,7542	0,9601	0,9546	0,9269	0,8943	0,9799	0,9403	0,9454	0,9616	0,8733	0,5428	0,5277	0,4954	0,9700
6	0,9459	0,9457	0,9516	0,9837	0,8324	0,8311	0,7551	0,9607	0,9551	0,9280	0,8954	0,9802	0,9408	0,9458	0,9620	0,8742	0,5413	0,5229	0,4891	0,9705
7	0,9460	0,9458	0,9517	0,9838	0,8332	0,8313	0,7554	0,9608	0,9552	0,9283	0,8956	0,9803	0,9409	0,9459	0,9621	0,8744	0,5409	0,5215	0,4869	0,9707
8	0,9460	0,9458	0,9517	0,9838	0,8334	0,8313	0,7554	0,9608	0,9552	0,9284	0,8957	0,9803	0,9409	0,9459	0,9621	0,8745	0,5407	0,5210	0,4862	0,9707
3. Firma Senaryosu																				
1	0,2500	0,3800	0,3000	0,3300	0,4000	0,4400	0,3400	0,3200	0,2500	0,3300	0,3800	0,3800	1,00	1,00	1,00	0,2500	0,5000	0,5000	0,5000	0,3100
2	0,8244	0,8174	0,8557	0,8908	0,6993	0,7575	0,6593	0,8322	0,8218	0,7669	0,7662	0,8820	0,8863	0,8917	0,9012	0,7186	0,5314	0,5943	0,5263	0,8271
3	0,9276	0,9242	0,9380	0,9727	0,7866	0,8126	0,7326	0,9401	0,9333	0,8924	0,8603	0,9678	0,9220	0,9282	0,9468	0,8390	0,5491	0,5591	0,5065	0,9508
4	0,9420	0,9397	0,9493	0,9806	0,8131	0,8271	0,7502	0,9549	0,9486	0,9162	0,8820	0,9768	0,9337	0,9393	0,9574	0,8635	0,5499	0,5395	0,4887	0,9655
5	0,9443	0,9421	0,9511	0,9819	0,8204	0,8307	0,7544	0,9573	0,9510	0,9207	0,8866	0,9782	0,9362	0,9416	0,9593	0,8682	0,5491	0,5325	0,4803	0,9677
6	0,9447	0,9425	0,9515	0,9821	0,8225	0,8315	0,7554	0,9578	0,9515	0,9217	0,8876	0,9785	0,9367	0,9421	0,9597	0,8692	0,5486	0,5302	0,4771	0,9681
7	0,9448	0,9426	0,9515	0,9822	0,8230	0,8317	0,7557	0,9579	0,9516	0,9219	0,8879	0,9786	0,9368	0,9422	0,9598	0,8693	0,5485	0,5295	0,4760	0,9682
8	0,9448	0,9426	0,9516	0,9822	0,8232	0,8317	0,7557	0,9579	0,9517	0,9220	0,8879	0,9786	0,9369	0,9422	0,9598	0,8694	0,5484	0,5293	0,4757	0,9683
9	0,9448	0,9426	0,9516	0,9822	0,8232	0,8317	0,7557	0,9579	0,9517	0,9220	0,8879	0,9786	0,9369	0,9422	0,9598	0,8694	0,5484	0,5293	0,4755	0,9683

Tablo 4.18. (Devamı) Revize edilmiş firma senaryoları BBH değerleri.

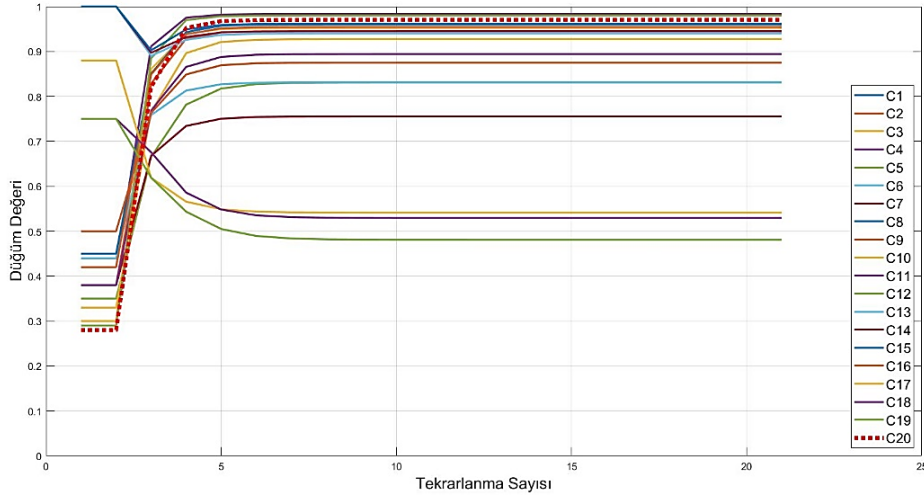
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
4. Firma Senaryosu																				
1	0,5000	0,5400	0,5500	0,5800	0,4500	0,4100	0,1600	0,2300	0	0,2100	0,1900	0	1,00	1,00	1,00	0,4500	0,3800	0,5000	0,5000	0,3100
2	0,8603	0,8639	0,8955	0,9162	0,7246	0,7439	0,6160	0,8117	0,8026	0,7495	0,7528	0,8538	0,9037	0,9086	0,9060	0,7771	0,5036	0,5952	0,5298	0,8355
3	0,9327	0,9322	0,9436	0,9751	0,7974	0,8091	0,7236	0,9391	0,9350	0,8934	0,8652	0,9688	0,9282	0,9339	0,9491	0,8557	0,5429	0,5640	0,5056	0,9541
4	0,9444	0,9434	0,9520	0,9817	0,8194	0,8256	0,7479	0,9549	0,9502	0,9175	0,8863	0,9776	0,9375	0,9428	0,9588	0,8723	0,5499	0,5466	0,4864	0,9671
5	0,9463	0,9454	0,9536	0,9828	0,8256	0,8296	0,7534	0,9572	0,9525	0,9216	0,8905	0,9789	0,9397	0,9448	0,9605	0,8757	0,5508	0,5406	0,4778	0,9690
6	0,9467	0,9458	0,9540	0,9830	0,8273	0,8305	0,7546	0,9576	0,9529	0,9225	0,8913	0,9791	0,9401	0,9452	0,9609	0,8764	0,5508	0,5387	0,4747	0,9694
7	0,9468	0,9459	0,9540	0,9830	0,8278	0,8307	0,7549	0,9577	0,9530	0,9227	0,8915	0,9792	0,9402	0,9453	0,9610	0,8765	0,5508	0,5381	0,4737	0,9695
8	0,9468	0,9459	0,9540	0,9830	0,8280	0,8307	0,7549	0,9578	0,9530	0,9228	0,8916	0,9792	0,9403	0,9453	0,9610	0,8766	0,5508	0,5379	0,4733	0,9695
5. Firma Senaryosu																				
1	0,7900	0,6700	0,7500	0,6300	0,7500	0,4700	0,5300	0,5400	0,0800	0,2900	0,1300	0,6300	10,000	10,000	10,000	0,8000	0	0	0,2500	0,5200
2	0,9310	0,9166	0,9346	0,9590	0,8447	0,7755	0,7044	0,9218	0,8765	0,8719	0,8177	0,9604	0,9372	0,9400	0,9497	0,8724	0,4174	0,4604	0,4262	0,9432
3	0,9526	0,9477	0,9558	0,9846	0,8476	0,8255	0,7468	0,9633	0,9533	0,9353	0,8962	0,9827	0,9441	0,9485	0,9652	0,8911	0,5257	0,5714	0,4748	0,9769
4	0,9553	0,9513	0,9589	0,9863	0,8440	0,8352	0,7567	0,9660	0,9581	0,9390	0,9026	0,9841	0,9460	0,9506	0,9673	0,8941	0,5518	0,6008	0,4880	0,9785
5	0,9556	0,9518	0,9594	0,9864	0,8420	0,8370	0,7590	0,9660	0,9583	0,9388	0,9027	0,9842	0,9462	0,9508	0,9675	0,8943	0,5581	0,6087	0,4919	0,9785
6	0,9556	0,9518	0,9595	0,9864	0,8413	0,8374	0,7595	0,9660	0,9583	0,9386	0,9026	0,9842	0,9462	0,9509	0,9674	0,8943	0,5596	0,6109	0,4932	0,9784
7	0,9556	0,9518	0,9595	0,9864	0,8411	0,8374	0,7596	0,9660	0,9583	0,9385	0,9025	0,9842	0,9462	0,9509	0,9674	0,8942	0,5600	0,6114	0,4935	0,9784
6. Firma Senaryosu																				
1	0,8300	0,8800	0,8000	0,9200	0,8000	0,6900	0,7500	0,6300	0	0,6300	0,8100	0,4200	10,000	10,000	1	1	0,1300	0	0	0,6300
2	0,9476	0,9507	0,9545	0,9844	0,8853	0,8246	0,7597	0,9480	0,9090	0,9311	0,9252	0,9709	0,9550	0,9575	0,9654	0,9210	0,4496	0,4808	0,3662	0,9735
3	0,9599	0,9574	0,9631	0,9896	0,8735	0,8403	0,7645	0,9709	0,9626	0,9512	0,9232	0,9869	0,9532	0,9570	0,9718	0,9153	0,5327	0,5975	0,4713	0,9849
4	0,9604	0,9578	0,9639	0,9897	0,8650	0,8428	0,7659	0,9711	0,9639	0,9499	0,9207	0,9870	0,9525	0,9566	0,9718	0,9140	0,5532	0,6284	0,5024	0,9844
5	0,9602	0,9578	0,9640	0,9896	0,8617	0,8432	0,7662	0,9707	0,9636	0,9490	0,9198	0,9868	0,9521	0,9563	0,9716	0,9135	0,5583	0,6366	0,5116	0,9841
6	0,9602	0,9577	0,9640	0,9895	0,8606	0,8432	0,7663	0,9705	0,9634	0,9486	0,9195	0,9868	0,9520	0,9562	0,9715	0,9133	0,5596	0,6388	0,5143	0,9840
7	0,9602	0,9577	0,9640	0,9895	0,8603	0,8432	0,7663	0,9705	0,9634	0,9485	0,9195	0,9867	0,9520	0,9562	0,9715	0,9133	0,5599	0,6393	0,5151	0,9840

Birinci firmanın en önemli üç kriterinin başlangıç durum değerleri 1 olarak alındığında C20 çıktı kriteri dokuz iterasyon sonucu 0,9689 değerinde kararlı duruma ulaşmıştır. Bir önceki aşamada firmanın gerçek değerleri ile algoritmalar çalıştırıldığında bu değer on iterasyon adımı sonrasında 0,9537 olarak bulunmuştu. Firmanın sadece bu kriterlere önem vererek dijital dönüşüm süreçleri açısından kötü durumdan orta seviyede duruma geçebileceği öngörülmüştür. Orta seviye bir firma olabilmesi için bu kriterleri çok iyi yönetmesi yeterli olmamasına rağmen önem sırasına göre kriterlerde iyileştirmeler yapılarak gelişme sağlanabilir. Bu geçiş iterasyon sayısı açısından zamansal olarak da daha hızlı olabilecektir. Şekil 4.11’de birinci firmaya ait başlangıç durumu değişimlerinden sonra oluşan grafik verilmiştir.



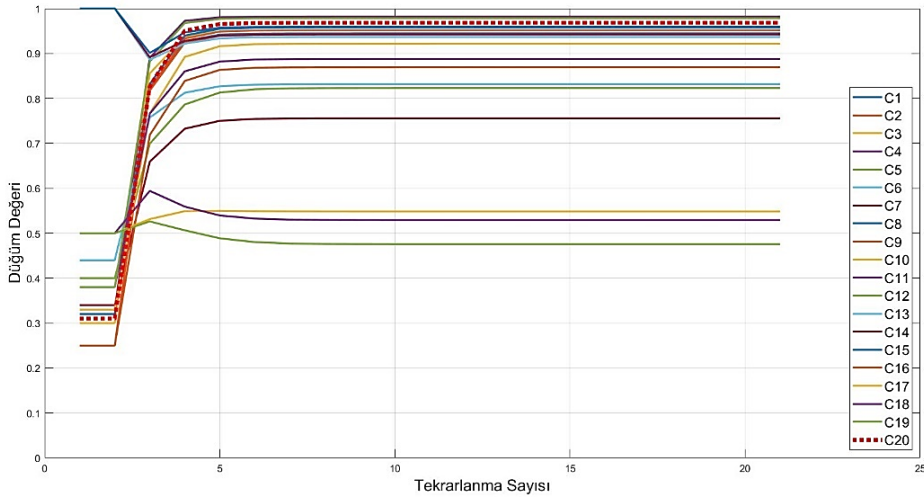
Şekil 4.12. Revize edilmiş birinci firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.

İkinci firmanın en önemli üç kriterinin başlangıç durum değerleri 1 olarak alındığında C20 çıktı kriteri sekiz iterasyon sonucu 0,9707 değerinde kararlı duruma ulaşmıştır. Bir önceki aşamada firmanın gerçek değerleri ile algoritmalar çalıştırıldığında bu değer on iterasyon adımı sonrasında 0,9587 olarak bulunmuştu. Firmanın sadece bu kriterler önem vererek dijital dönüşüm süreçleri açısından kötü durumdan orta seviyeye geçebileceği öngörülmüştür. Bu geçiş iterasyon sayısı açısından zamansal olarak da on adımdan sekiz adıma inebilmiştir. Böylelikle ikinci firma hem daha iyi bir seviyeye ulaşacak hem de değişim için daha kısa süreler gerekecektir. Şekil 4.12’de ikinci firmaya ait başlangıç durumu değişimlerinden sonra oluşan grafik verilmiştir.



Şekil 4.13. Revize edilmiş ikinci firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.

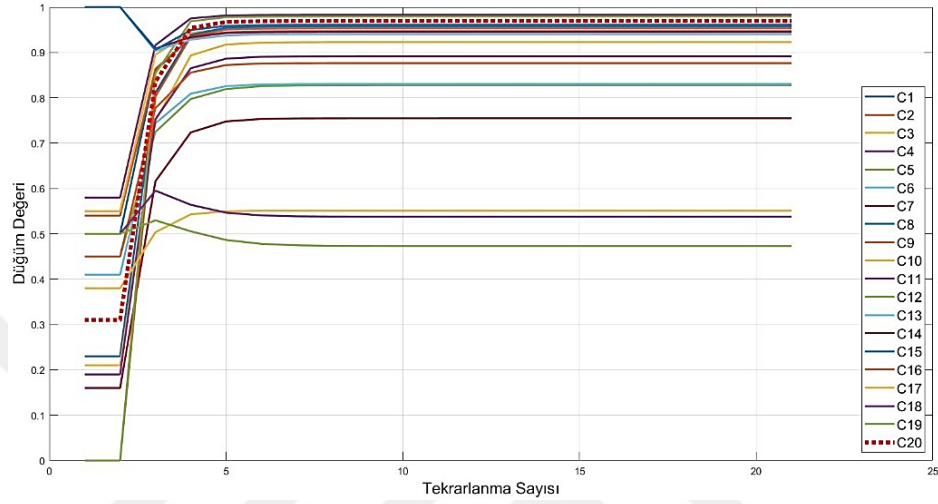
Üçüncü firma için, modelin en önemli üç kriterinin başlangıç durum değerleri 1 olarak alındığında C20 çıktı kriteri dokuz iterasyon sonucu 0,9683 değerinde kararlı duruma ulaşmıştır. Bir önceki aşamada firmanın gerçek değerleri ile algoritmalar çalıştırıldığında bu değer dokuz iterasyon adımı sonrasında 0,9565 olarak bulunmuştu. Üçüncü firma, ikinci firmaya göre daha iyi mevcut duruma sahip olmasına rağmen yapılan iyileştirmeler sonucunda da ikinci firmaya göre geride kalmıştır. Ancak kriter önem sıralamasına göre iyileştirmeler ile dijital dönüşüm süreçleri açısından üst seviyeye gelebilecektir. Şekil 4.13'te üçüncü firmaya ait kriter değerlerinin kararlı duruma gelinceye kadar değişimleri grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.14. Revize edilmiş üçüncü firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.

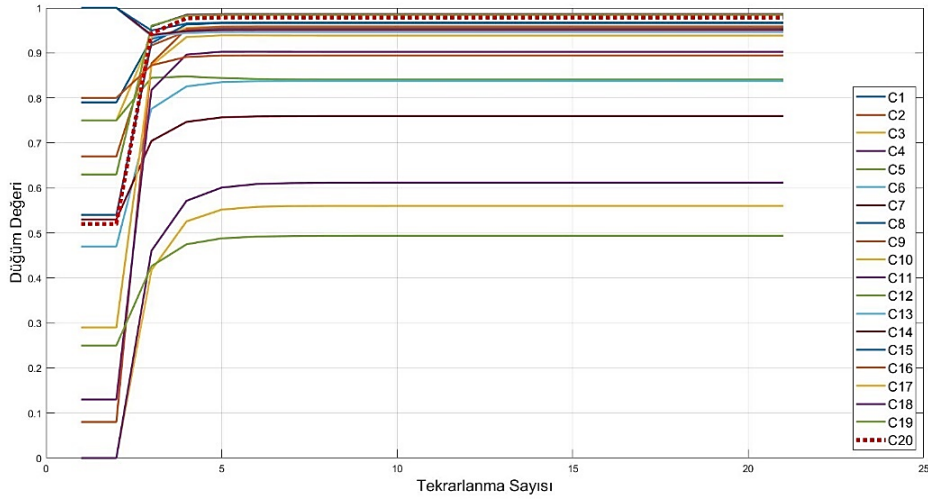
Dördüncü firmanın en önemli üç kriterinin başlangıç durum değerleri 1 olarak alındığında C20 çıktı kriteri sekiz iterasyon sonucu 0,9695 değerinde kararlı duruma ulaşmıştır. Bir önceki aşamada firmanın gerçek değerleri ile algoritmalar

çalıştırıldığında bu değer on iterasyon adımı sonrasında 0,9598 olarak bulunmuştur. En önemli üç kriterin başlangıç değerleri 1 olarak başlatıldığında firma iki zaman periyodu öncesinde daha yüksek bir seviyeye ulaşmıştır. Üçüncü firma ile karşılaştırıldığında C12 kriterinin başlangıç değeri 0 olmasına rağmen daha iyi bir duruma ulaşmış olduğu görülmektedir. Şekil 4.14'te dördüncü firmaya ait kriter değerlerinin kararlı duruma gelinceye kadar değişimleri grafiksel olarak verilmiştir.



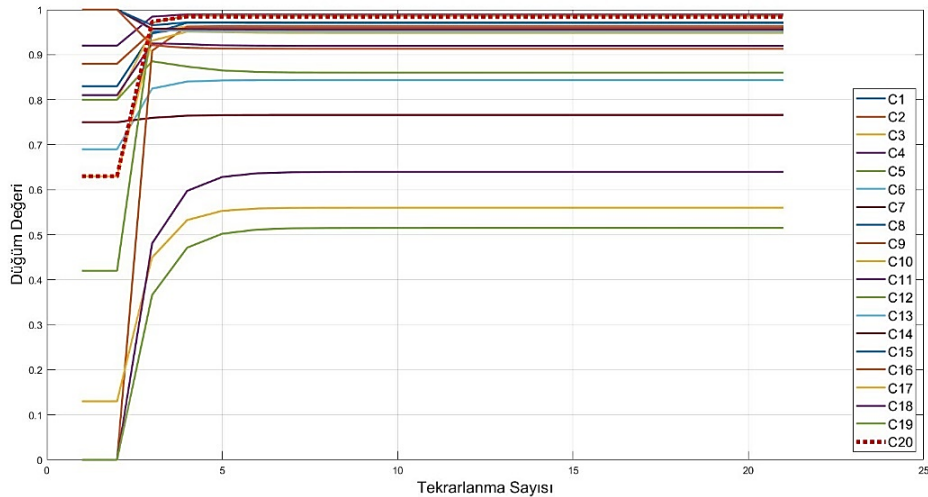
Şekil 4.15. Revize edilmiş dördüncü firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.

Beşinci firmanın en önemli üç kriterinin başlangıç durum değerleri 1 olarak alındığında C20 çıktı kriteri yedi iterasyon sonucu 0,9784 değerinde kararlı duruma ulaşmıştır. Bir önceki aşamada firmanın gerçek değerleri ile algoritmalar çalıştırıldığında bu değer yedi iterasyon adımı sonrasında 0,9741 olarak bulunmuştu. Mevcut durumda dijital dönüşüm süreçlerine önem veren bu firmada en önemli kriterlerde yaşanan artışlar firmayı dijital dönüşüm açısından daha yüksek seviyelere çıkartacaktır. Şekil 4.15'te beşinci firmaya ait başlangıç durumu değişimlerinden sonra oluşan grafik verilmiştir.



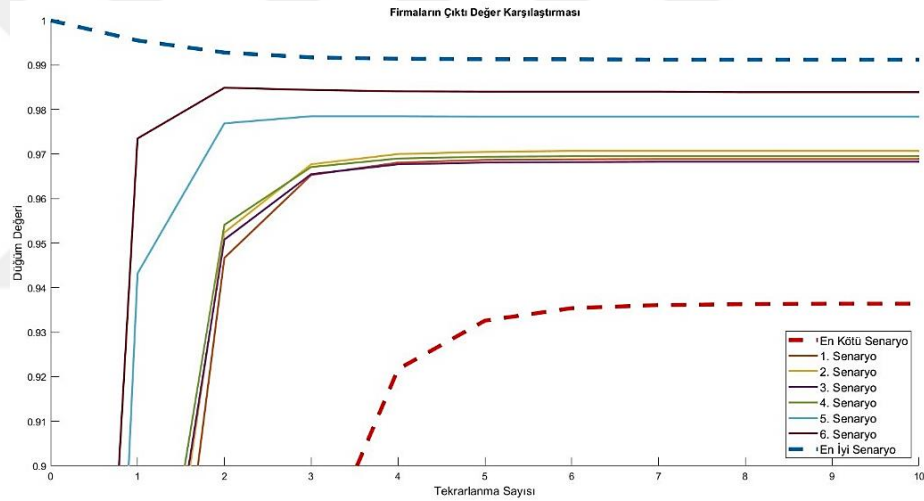
Şekil 4.16. Revize edilmiş beşinci firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.

Son olarak incelenen firmalardan mevcut durumda dijital dönüşüm süreçlerinde en iyi yönetilen altıncı firmanın en önemli kriterleri olan C13, C14 ve C15 kriterlerinin başlangıç durum değerleri 1 olarak alındığında yedi iterasyon sonucunda 0,9840 değerinde kararlı duruma geldiği bulunmuştur. Bir önceki aşamada firmanın gerçek değerleri ile algoritmalar çalıştırıldığında bu değer yedi iterasyon adımı sonrasında 0,9829 olarak bulunmuştu. En iyi senaryo baz alındığında 0,9912 değerine oldukça yaklaşılarak 0,9840 değerinde kararlı duruma ulaşılması altıncı firmanın dijital dönüşüm açısından en iyi seviyelerde olduğunu göstermektedir. Şekil 4.16’da altıncı firmaya ait başlangıç durumu değişimlerinden sonra oluşan grafik verilmiştir.



Şekil 4.17. Revize edilmiş altıncı firma kriterlerine ait grafiksel gösterim.

Tüm firmalar için modelin en önemli 3 kriterinin mevcut durum değerlerinin 1 olarak alındığı senaryolar incelenmiştir. Şekil 4.17’de bu senaryoların çıktı kriterlerinin iterasyonlar boyunca aldığı değerlerin tek grafikte verildiği görülmektedir. Önceki bölümde firmaların mevcut durum değerlerinin anketlerden alındığı gerçek veriler ile yapılan analizlere göre en temel farklılık ikinci firmanın en önemli üç kriterde yaptığı değişik sonucu ortaya çıkan fayda olmuştur. İkinci firmanın sadece bu kriterlere odaklanarak yapacağı iyileştirmeler mevcut durumda dijital dönüşüm açısından gerisinde olduğu firmaların önüne geçeceğini göstermektedir. Önemli görülebilecek diğer farklılık ise birinci firmaya aittir. Birinci firma sadece en önemli kriterlerde yapacağı değişiklik ile dijital dönüşüm açısından üçüncü firmadan gelecekte daha iyi bir konuma gelebilecektir. Bu iki firma dışındaki dört firma incelendiğinde ise yapılan değişikliklerin en iyi duruma yakınlaştıklarının göstergesi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.18. Revize edilmiş tüm senaryolarının C20 çıktı kriteri değişimleri.



5. MODELİN DOĞRULAMASI

Savunma Modelleme ve Simülasyon Ofisi, kavramsal model doğrulamayı “kavramsal modelin altında yatan teori ve varsayımların doğru olduğunun ve doğrulanmış gereksinimlerin temsilinin makul ve doğru soyutlama düzeyinde olduğunun belirlenmesi” olarak tanımlamaktadır (Liu ve ark., 2011). Buna göre önerilen dijital dönüşüm süreci modelinin yapısı, mantığı, nedensel ilişkileri ve süreçleri literatür temelli incelendiğinde makul ve geçerli olduğu ortaya konulmuştur.

Çalışmada kodlar MATLAB yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Hataları en aza indirebilecek şekilde kodlar modüllere ayrılmış şekilde düzenlenmiştir. Model ilk olarak küçük veri örnekleri (araştırmacı tarafından çizilen hipotetik BBH’lar) ve bazı çalışmalardaki veriler kullanılarak birçok olası vaka üzerinde test edilmiştir. Modeldeki sonuçların doğru sonuçlar verdiğinden emin olabilmek için aynı zamanda el ile yapılan hesaplamalar ile karşılaştırılmıştır.

Modelin, ilgilenilen gerçek hayat sistemini doğru bir şekilde temsil etmesini sağlamak için model doğrulaması yapılır. Gerçek hayat sistemlerini taklit eden modellerde, ne kadar dikkatli tasarlanmış olursa olsun hiçbir model kesinlikle doğru ve geçerli olarak belirlenemez (Ford, 2010). Genel olarak problemlerin karmaşıklığı, dinamikliği, doğrusal olmaması ve özellikle bu çalışmada oluşturulan yüksek kriterli BBH modelleri, genel anlamda model doğrulamasını zorlaştırmaktadır. Aynı bir doğrulama veri kümesi kullanma kavramı bu tür modeller için geçerli değildir. İki temel doğrulama aşaması bu çalışmada mevcuttur. Bunlardan ilki modelin kuruluşlar için kullanılmasının kolaylığıdır. Böylelikle kendi dijital dönüşüm süreçleri ile ilgili kendi içsel değerlendirmeleri yapabileceklerdir. İkincisi ise literatür destekli doğru bilgi sağlaması ve içerdiği bilgilerdir. Kabul görmüş modellerin entegrasi ile sağlanan modelin makul olması kuruluşlar için tereddüte yer vermeyecektir. Model kullanıcı dostu yönüyle kolaylıkla güncellenebilir ve uzman görüşleri kolaylıkla modele uyarlanabilir. Günümüz teknolojik gelişmeleri ile mevcut koşullarda değişiklik yaşanır ise model kolaylıkla güncellenebilecektir.

Dikkatlice ve kapsamlı bir şekilde toplanan gerçek veriler, doğrulanmış kavramlar ve programlama yöntemleri sonucunda, analiz ve simülasyon süreçleri, model sonuçlarının gerçekçi, tatmin edici olduğunu ve gerçeklikten ayrılmadığını ortaya koymakta ve bu da modelin doğruluğunu göstermektedir. Ancak bu çalışmada kullanılan modelin mükemmeli olduğunu garanti etmez ve diğer çalışmalar modeldeki eksiklikleri ortaya çıkarabilir (Ford, 2010). Çünkü asıl model gerçek sistemin kendisidir (Kleijnen, 1995).



6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Dijital teknolojiler, üreticilere ve endüstriyel şirketlere yeni fırsatlar ve zorluklar sunan en büyük küresel trendlerden biridir. Dijitalleşmenin ve dijital dönüşümün etkilerine ilişkin mevcut literatürde yer alan modellerde kesin bir uzlaşmanın olduğunu söylemek güçtür. Dijitalleştirilmiş bir üretime ulaşmak büyük bir zorluk olup, öncelikle dijitalleşme kavramının tam olarak anlaşılmasını gerektirir.

Dijital dönüşüm gibi süreçlerin modellenmesi ve analizi oldukça karmaşık bir problemdir. Yapılan tez çalışmasında, literatür ve uzman görüşleri kullanılarak dijital dönüşüm sürecini oluşturan kriterler belirlenmiş ve model oluşturulmuştur. Mevcut literatürde yer alan dijital olgunluk modellerinden yola çıkarak hazırlanan modelin kapsamlı olması amaçlanmıştır. Bu amaç ile 20 kriterden oluşan bir model ortaya çıkmıştır. Modelde literatürden farklı olarak 19 girdi ve 1 çıktı kriteri olmak üzere bütünlük bir yapı bulunmaktadır. Örneğin bazı modellerde sadece teknolojik kavramlar ele alınmış, bazı modellerde yönetsel kavramlar da yer almıştır. Tez çalışmasında oluşturulan modelde bütünsel bir bakış açısıyla süreçte dijital dönüşüme etkisi olan tüm kavramların yer alması sağlanmıştır. Dijital dönüşüm süreci kapsamında bileşenlerin iyi yönetildiği bir duruma başarıyla ulaşmak, stratejik çabalar gerektirmekte ve dijitalleşmeyle ilgili olası engellerin anlaşılması başarı için büyük önem taşımaktadır. Da Silva ve ark. (2020) bu engellerin, finansman, yöneticiler ve ilgili yeterlilikten yoksun operatörler ile ilgili olduğunu belirlemiştir. Modele ait bir diğer farklılık ise dijital dönüşüme olumsuz olarak etki eden 3 engelleyici kriterin de yer almasıdır. Bu kriterler finansal güçlükler, dijital beceri eksikliği, dönüşüme hazırlıksız başlama isteği olarak belirlenmiştir.

Tezde kullanılan yöntemler uzmanların subjektif değerlendirmelerinin en iyi şekilde yansıtılabilmesi için literatürde kabul görmüş bulanık temelli olarak seçilmiştir. Model oluşturulduktan sonra uzlaşmacı olarak kriterler arasındaki neden sonuç ilişkilerinin tespit edilmesinde oldukça fazla kullanılan bulanık DEMATEL yöntemi ile kriterler arasındaki etkileşimler belirlenerek, bulanık bilişsel haritalar yöntemine girdi olarak verilmiştir. Bulanık bilişsel haritalar yönteminde modelin oluşturulması aşamasında

uzmanların oybirliği ile kriterlerin arasındaki ilişkilerin yönünü belirleme zorluğunun üstesinden bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak gelinmiştir. Bulanık bilişsel haritalar yöntemi ile ilk olarak kriterlerin önem sıralaması yapılmıştır. Önem sıralamasına göre zeki teknoloji, zeki organizasyon ve zeki imalat kriterleri temel senaryodan farklara göre sırasıyla 0,0122, 0,0119 ve 0,0108 değerleri alarak ilk üç sırada yer almıştır. Daha sonrasında savunma sanayine tedarikçi olabilecek altı firma için oluşturulan anket yardımıyla başlangıç durumları tespit edilip, firmaların dijital dönüşüm süreçleri açısından gelecek durum öngörülerini ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca duyarlılık analizi yapılarak, statik analiz kısmında tespit edilen en önemli 3 kriterin (zeki teknoloji, zeki organizasyon ve zeki imalat) çok iyi yönetilmesi durumunda ortaya çıkacak gelecek durum eğilimleri, firmaların mevcut durumları ile karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasında incelenen altı firma dijital dönüşüm süreçleri açısından mevcut durumda iyi, orta ve kötü seviyelerde yönetilen firmalardır. Geliştirilen yöntemle tespit edilen sonuçlara göre dijital dönüşüm modeli çıktı değişkeni birinci firmada dokuz zaman periyodu sonrasında 0,9537, ikinci firmada sekiz zaman periyodu sonrasında 0,9587, üçüncü firmada dokuz zaman periyodu sonrasında 0,9565, dördüncü firmada dokuz zaman periyodu sonrasında 0,9598, beşinci firmada altı zaman periyodu sonrasında 0,9747 ve son olarak altıncı firmada altı zaman periyodu sonrasında 0,9829 değerinde kararlı duruma ulaşmıştır. Sonuçlara göre en önemli değişim ikinci ve üçüncü firmalar incelendiğinde görölmektedir. Başlangıç durumda anketlerden alınan verilere göre ikinci firmanın çıktı kriteri 0,18, üçüncü firmanın çıktı kriteri 0,21 olarak bulunmuştu. Fakat geliştirilen bulanık DEMATEL ve BBH yöntemi uygulandığında bu değerlerin gelecek durumda sırasıyla ikinci ve üçüncü firma için 0,9587 ve 0,9565'e ulaştığı görölmüştür. Bu durumun en büyük nedeni modeldeki en önemli zeki organizasyon, BT mimarisi gibi kriterlerin ikinci firmada daha iyi yönetilmesidir.

Firmaların mevcut durumlarına göre kriter etkileşimlerini baz alarak uygulanan entegre yöntem sonrasında duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizi yapılmasında amaç, firmalara dijital dönüşümlerine doğru başlama noktaları konusunda karar destek sağlamaktır. Bu amaçla her firma için mevcut durumlarındaki en önemli üç kriterinin başlangıç değeri en iyi seviyeyi gösteren 1 değerine ayarlanmıştır. Böylelikle değişimin dijital dönüşüm sürecinin başarısının gelecek

öngörülerini alınmıştır. Dijital dönüşüm modeli çıktı değişkeni birinci firmada sekiz zaman periyodu sonrasında 0,9689, ikinci firmada yedi zaman periyodu sonrasında 0,9707, üçüncü firmada sekiz zaman periyodu sonrasında 0,9683, dördüncü firmada yedi zaman periyodu sonrasında 0,9695, beşinci firmada altı zaman periyodu sonrasında 0,9784 ve son olarak altıncı firmada altı zaman periyodu sonrasında 0,9840 değerinde kararlı duruma ulaşmıştır. Sonuçlara göre ikinci firma eğer en önemli üç kriter olan zeki teknoloji, zeki organizasyon ve zeki imalata ağırlık verdiğinde mevcut durumda kendisinden daha iyi olan üçüncü ve dördüncü firmanın gelecekte önüne geçebilme imkanı bulacaktır. Çalışmada tespit edilen sonuçlar firmalara yaptıkları değişimlerin ve odaklanma noktalarının sonuçlarını görme fırsatı vermektedir.

Dijital dönüşüm sürecinin analizinin yapılmasının amaçlandığı bu tez çalışmasında çalışma alanı ve yöntem açısından literatüre kazandırılan temel katkılar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Literatürde yer alan dijital olgunluk modellerin incelenmesi ve uzman görüşleri sonucunda mevcut modellerin genelini kapsayan kapsamlı bir dijital dönüşüm süreç modeli ortaya çıkarılmıştır.
- Bulanık DEMATEL ve BBH yöntemlerinin birlikte kullanılması ile uzmanların tamamen objektif düşüncelerinin modele yansıtılması sağlanmıştır. İki yöntemin literatürde bu tez çalışmasındaki şekliyle kullanıldığına rastlanmamıştır.
- Literatürde dijital dönüşüm sürecinin analiz edildiği çalışmalardan farklı olarak kuruluşlara mevcut durumlarından yola çıkarak gelecek durum öngörülerini sağlanmıştır.
- Doğrusal olmayan Hebbian ve diferansiyel evrim algoritmasının BBH yönteminde öğrenme algoritması olarak kullanımı ile klasik BBH yönteminde karmaşık problemlerde ortaya çıkabilen kararlı durumların aynı değerlere ulaşmasının önüne geçilmiştir.
- Oluşturulan model ve modelin analizi için kullanılan yöntemler esnek yapısı sayesinde tüm sektörlere istenilen değişimler ile kolaylıkla uygulanabilecek ve bir karar destek sistemi olarak kullanılabilecektir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı öğrenme algoritmaları kullanılarak oluşturulan modellerin analizinin yapılması teşvik edici görülmektedir. Bulanık sinir ağlarını temel alan BBH modelleri geliştirilerek modelin verimli analizleri yapılabilecektir. Uzmanlar ve karar vericiler gibi alan hakkında bilgili daha fazla

paydaşla ve farklı sektörlerde, tez vaka çalışmasının geliştirilmesi sağlanabilecektir. Böylelikle farklı sektörlerde farkındalığın arttırılmasına yönelik çalışmaların literatüre katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Abdul-Hamid, A.-Q., Ali, M. H., Osman, L. H., & Tseng, M.-L. (2021). The drivers of industry 4.0 in a circular economy: The palm oil industry in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 324, 129216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129216>
- Abdullah, F. M., Al-Ahmari, A. M., & Anwar, S. (2022). Exploring Key Decisive Factors in Manufacturing Strategies in the Adoption of Industry 4.0 by Using the Fuzzy DEMATEL Method. *Processes*, 10(5), 987. <https://doi.org/10.3390/pr10050987>
- Acuña-Carvajal, F., Pinto-Tarazona, L., López-Ospina, H., Barros-Castro, R., Quezada, L., & Palacio, K. (2019). An integrated method to plan, structure and validate a business strategy using fuzzy DEMATEL and the balanced scorecard. *Expert Systems with Applications*, 122, 351–368. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.01.030>
- Agca, O., Gibson, J., Godsell, J., Ignatius, J., Davies, C. W., & Xu, O. (2017). *An Industry 4 Readiness Assessment Tool*. WMG-The University of Warwick: Coventry.
- Akdil, K. Y., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. In A. Ustundag & E. Cevikcan (Eds.), *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation* (pp. 61–94). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_4
- Alizadeh, S., & Ghazanfari, M. (2009). Learning FCM by chaotic simulated annealing. *Chaos, Solitons & Fractals*, 41(3), 1182–1190. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2008.04.058>
- Alizadeh, S., Ghazanfari, M., Jafari, M., & Hooshmand, S. (2007). Learning FCM by Tabu Search. *International Journal of Computer and Information Engineering*, 1(9), 2784–2791.
- Altameem, T., & Amoon, M. (2019). Crime activities prediction using hybridization of firefly optimization technique and fuzzy cognitive map neural networks. *Neural Computing and Applications*, 31(5), 1263–1273. <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3561-7>
- Andreou, A. S., Mateou, N. H., & Zombanakis, G. A. (2005). Soft computing for crisis management and political decision making: The use of genetically evolved fuzzy cognitive maps. *Soft Computing*, 9(3), 194–210. <https://doi.org/10.1007/s00500-004-0344-0>
- Automation, R. (2014). *The Connected Enterprise Maturity Model*. 12.
- Axelrod, R. (Ed.). (1976). *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites*. Princeton University Press. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt13x0vw3>

- Bakhtavar, E., Valipour, M., Yousefi, S., Sadiq, R., & Hewage, K. (2021). Fuzzy cognitive maps in systems risk analysis: A comprehensive review. *Complex & Intelligent Systems*, 7(2), 621–637. <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00228-2>
- Abdul-Hamid, A.-Q., Ali, M. H., Osman, L. H., & Tseng, M.-L. (2021). The drivers of industry 4.0 in a circular economy: The palm oil industry in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 324, 129216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129216>
- Abdullah, F. M., Al-Ahmari, A. M., & Anwar, S. (2022). Exploring Key Decisive Factors in Manufacturing Strategies in the Adoption of Industry 4.0 by Using the Fuzzy DEMATEL Method. *Processes*, 10(5), 987. <https://doi.org/10.3390/pr10050987>
- Acuña-Carvajal, F., Pinto-Tarazona, L., López-Ospina, H., Barros-Castro, R., Quezada, L., & Palacio, K. (2019). An integrated method to plan, structure and validate a business strategy using fuzzy DEMATEL and the balanced scorecard. *Expert Systems with Applications*, 122, 351–368. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.01.030>
- Agca, O., Gibson, J., Godsell, J., Ignatius, J., Davies, C. W., & Xu, O. (2017). *An Industry 4 Readiness Assessment Tool*. WMG-The University of Warwick: Coventry.
- Akdil, K. Y., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. In A. Ustundag & E. Cevikcan (Eds.), *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation* (pp. 61–94). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_4
- Alizadeh, S., & Ghazanfari, M. (2009). Learning FCM by chaotic simulated annealing. *Chaos, Solitons & Fractals*, 41(3), 1182–1190. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2008.04.058>
- Alizadeh, S., Ghazanfari, M., Jafari, M., & Hooshmand, S. (2007). Learning FCM by Tabu Search. *International Journal of Computer and Information Engineering*, 1(9), 2784–2791.
- Altameem, T., & Amoon, M. (2019). Crime activities prediction using hybridization of firefly optimization technique and fuzzy cognitive map neural networks. *Neural Computing and Applications*, 31(5), 1263–1273. <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3561-7>
- Andreou, A. S., Mateou, N. H., & Zombanakis, G. A. (2005). Soft computing for crisis management and political decision making: The use of genetically evolved fuzzy cognitive maps. *Soft Computing*, 9(3), 194–210. <https://doi.org/10.1007/s00500-004-0344-0>
- Automation, R. (2014). *The Connected Enterprise Maturity Model*. 12.
- Axelrod, R. (Ed.). (1976). *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites*. Princeton University Press. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt13x0vw3>
- Bakhtavar, E., Valipour, M., Yousefi, S., Sadiq, R., & Hewage, K. (2021). Fuzzy cognitive maps in systems risk analysis: A comprehensive review. *Complex & Intelligent Systems*, 7(2), 621–637. <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00228-2>

- Baykasoğlu, A., Kaplanoğlu, V., Durmuşoğlu, Z. D. U., & Şahin, C. (2013). Integrating fuzzy DEMATEL and fuzzy hierarchical TOPSIS methods for truck selection. *Expert Systems with Applications*, 40(3), 899–907. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.046>
- Berghaus, S., & Back, A. (2017). Disentangling the Fuzzy Front End of Digital Transformation: Activities and Approaches. *ICIS 2017 Proceedings*, 1–17.
- Bertolini, M., & Bevilacqua, M. (2010). Fuzzy Cognitive Maps for Human Reliability Analysis in Production Systems. In C. Kahraman & M. Yavuz (Eds.), *Production Engineering and Management under Fuzziness* (pp. 381–415). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12052-7_16
- Bhagawati, M. T., Manavalan, E., Jayakrishna, K., & Venkumar, P. (2019). Identifying Key Success Factors of Sustainability in Supply Chain Management for Industry 4.0 Using DEMATEL Method. In H. Vasudevan, V. K. N. Kottur, & A. A. Raina (Eds.), *Proceedings of International Conference on Intelligent Manufacturing and Automation* (pp. 583–591). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2490-1_54
- Birgün, S., & Ulu, M. (2021). Site Selection for a Training Centre Focused on Industry 4.0 by Using DEMATEL and COPRAS. In N. M. Durakbasa & M. G. Gençyılmaz (Eds.), *Digital Conversion on the Way to Industry 4.0* (pp. 37–50). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62784-3_4
- Chang, B., Chang, C.-W., & Wu, C.-H. (2011). Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1850–1858. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.114>
- Chen, Y., Mazlack, L., & Lu, L. (2012). Learning fuzzy cognitive maps from data by ant colony optimization. *Proceedings of the 14th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation*, 9–16.
- Chirra, S., & Kumar, D. (2018). Evaluation of Supply Chain Flexibility in Automobile Industry with Fuzzy DEMATEL Approach. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 19(4), 305–319. <https://doi.org/10.1007/s40171-018-0195-7>
- Da Silva, V. L., Kovaleski, J. L., Pagani, R. N., Silva, J. D. M., & Corsi, A. (2020). Implementation of Industry 4.0 concept in companies: Empirical evidences. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(4), 325–342. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1699258>
- Dalvi-Esfahani, M., Niknafs, A., Kuss, D. J., Nilashi, M., & Afrough, S. (2019). Social media addiction: Applying the DEMATEL approach. *Telematics and Informatics*, 43, 101250. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2019.101250>
- De Carolis, A., Macchi, M., Kulvatunyou, B., Brundage, M. P., & Terzi, S. (2017). Maturity Models and Tools for Enabling Smart Manufacturing Systems: Comparison and Reflections for Future Developments. In J. Ríos, A. Bernard, A. Bouras, & S. Foufou (Eds.), *Product Lifecycle Management and the Industry of the Future* (Vol. 517, pp. 23–35). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72905-3_3
- Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (2017). *The UK's Industrial Strategy*. <https://www.manufacturingusa.com/pages/program-details>

- Dickerson, J. A., & Kosko, B. (1993). Virtual worlds as fuzzy cognitive maps. *Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium*, 471–477. <https://doi.org/10.1109/VRAIS.1993.380742>
- Digital Strategy 2025. (2016). Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.
- Dinçer, H., & Yüksel, S. (2021). Effects of Governmental Policies in Banking Industry by using Fuzzy DEMATEL. *Maruf İktisat İslâm İktisadî Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 51–74.
- Dizbay, İ. E., & Öztürkoğlu, Ö. (2021). Determining Significant Factors Affecting Vaccine Demand and Factor Relationships Using Fuzzy DEMATEL Method. In C. Kahraman, S. Cevik Onar, B. Oztaysi, I. U. Sari, S. Cebi, & A. C. Tolga (Eds.), *Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions* (pp. 682–689). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51156-2_79
- Ebert, C., & Duarte, C. H. C. (2016). Requirements Engineering for the Digital Transformation: Industry Panel. *2016 IEEE 24th International Requirements Engineering Conference (RE)*, 4–5. <https://doi.org/10.1109/RE.2016.21>
- Ebert, C., & Duarte, C. H. C. (2018). Digital Transformation. *IEEE Software*, 35(4), 16–21. <https://doi.org/10.1109/MS.2018.2801537>
- Elibal, K., & Özceylan, E. (2022). Comparing industry 4.0 maturity models in the perspective of TQM principles using Fuzzy MCDM methods. *Technological Forecasting and Social Change*, 175, 121379. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121379>
- Fakoor Saghih, A. M., & Hajmandi, N. (2020). Introducing a Conceptual Model of Electronic Tourism Development in Iran using Fuzzy DEMATEL. *Journal of Tourism and Development*, 9(2), 15–32. <https://doi.org/10.22034/jtd.2019.176704.1681>
- Ferreira, F. A. F., Ferreira, J. J. M., Fernandes, C. I. M. A. S., Meidutė-Kavaliauskienė, I., & Jalali, M. S. (2017). Enhancing knowledge and strategic planning of bank customer loyalty using fuzzy cognitive maps. *Technological and Economic Development of Economy*, 1–17. <https://doi.org/10.3846/20294913.2016.1213200>
- Finance, A. (n.d.). Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. *Audit Tax Consulting Corporate: Zurich, Swiss*, 2015.
- Florescu, A., & Barabas, S. A. (2020). Modeling and Simulation of a Flexible Manufacturing System—A Basic Component of Industry 4.0. *Applied Sciences*, 10(22), 8300. <https://doi.org/10.3390/app10228300>
- Ford, A. (2010). *Modeling the Environment, Second Edition*. Island Press.
- Fuller, R. (2000). *Introduction to Neuro-Fuzzy Systems*. Springer. <http://www.springer.com/gp/book/9783790812565>
- Gabus, A., & Fontela, E. (1972). *World Problems, An Invitation to Further Thought within the Framework of DEMATEL*. Battelle Geneva Research Centre.
- Ghadami, L., Masoudi Asl, I., Hessam, S., & Modiri, M. (2021). Developing hospital accreditation standards: Applying fuzzy DEMATEL. *International Journal of*

- Ghanbari, M., Rostami, F., & Geravandi, S. (2022). Analysis of Factors Affecting on Change of Agricultural Land Control in Iran: Use of Fuzzy Cognitive Maps Based on Experts Opinion. *Land Management Journal*, 0. https://lmj.areeo.ac.ir/article_125639.html
- Ghazanfari, M., Alizadeh, S., Fathian, M., & Koulouriotis, D. E. (2007a). Comparing simulated annealing and genetic algorithm in learning FCM. *Applied Mathematics and Computation*, 192(1), 56–68.
- Ghazanfari, M., Alizadeh, S., Fathian, M., & Koulouriotis, D. E. (2007b). Comparing simulated annealing and genetic algorithm in learning FCM. *Applied Mathematics and Computation*, 192(1), 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2007.02.144>
- Gökalp, E., Şener, U., & Eren, P. E. (2017). Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. In A. Mas, A. Mesquida, R. V. O'Connor, T. Rout, & A. Dorling (Eds.), *Software Process Improvement and Capability Determination* (Vol. 770, pp. 128–142). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67383-7_10
- Haykin, S. (2007). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation (3rd Edition)*. Prentice-Hall, Inc.
- Hebb, D. O. (1949). *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*. Wiley.
- Hosseini, S. M., Soltanpour, Y., & Paydar, M. M. (2022). Applying the Delphi and fuzzy DEMATEL methods for identification and prioritization of the variables affecting Iranian citrus exports to Russia. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-06738-0>
- Hozdić, E. (2015). Smart Factory for Industry 4.0: A Review. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 7(1), 28–35.
- Huerga, A. V. (2002). *A Balanced Differential Learning algorithm in Fuzzy Cognitive Maps*. 7.
- PricewaterhouseCoopers. *Industry 4.0—Self Assessment*. (2016). <https://i4-0-self-assessment.pwc.nl/i40/landing/>
- Jassbi, J., Mohamadnejad, F., & Nasrollahzadeh, H. (2011). A Fuzzy DEMATEL framework for modeling cause and effect relationships of strategy map. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5967–5973. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.11.026>
- Jeong, J. S., García-Moruno, L., Hernández-Blanco, J., & Sánchez-Ríos, A. (2016). Planning of rural housings in reservoir areas under (mass) tourism based on a fuzzy DEMATEL-GIS/MCDA hybrid and participatory method for Alange, Spain. *Habitat International*, 57, 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.07.008>
- Jung, K., Kulvatunyou, B., Choi, S., & Brundage, M. P. (2016). An Overview of a Smart Manufacturing System Readiness Assessment. In I. Nääs, O. Vendrametto, J. Mendes Reis, R. F. Gonçalves, M. T. Silva, G. von Cieminski, & D. Kiritsis (Eds.), *Advances in Production Management Systems. Initiatives*

- for a Sustainable World (pp. 705–712). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51133-7_83
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0* (p. 678). Final Report of the Industrie 4.0 Working Group.
- Kalemullov, M., Platov, A., & Silaeva, A. (2021). Integration of the controlling mechanism into the Deming-Shewhart PDCA cycle in the context of digitalization. *SHS Web of Conferences*, 106. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202110601036>
- Kannappan, A., Tamilarasi, A., & Papageorgiou, E. I. (2011). Analyzing the performance of fuzzy cognitive maps with non-linear hebbian learning algorithm in predicting autistic disorder. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1282–1292.
- Kireev, V. S., Smirnov, I. S., & Tyunyakov, V. S. (2018). Automatic Fuzzy Cognitive Map Building Online System. *Procedia Computer Science*, 123, 228–233. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.01.035>
- Kleijnen, J. P. C. (1995). Verification and validation of simulation models. *European Journal of Operational Research*, 82(1), 145–162. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00016-6](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00016-6)
- Konti, A., Mamma, D., Scarlat, N., & Damigos, D. (2022). The Determinants of the Growth of the European Bioplastics Sector—A Fuzzy Cognitive Maps Approach. *Sustainability*, 14(10), 6035. <https://doi.org/10.3390/su14106035>
- Kosko, B. (1986). *Fuzzy cognitive maps*. 24, 65–75.
- Kosko, B. (1988). Hidden patterns in combined and adaptive knowledge networks. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2(4), 377–393. [https://doi.org/10.1016/0888-613X\(88\)90111-9](https://doi.org/10.1016/0888-613X(88)90111-9)
- Kottas, T. L., Boutalis, Y. S., & Christodoulou, M. A. (2010). Fuzzy Cognitive Networks: Adaptive Network Estimation and Control Paradigms. In M. Glykas (Ed.), *Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications* (pp. 89–134). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03220-2_5
- Kumar, A., Agrawal, R., Wankhede, V. A., Sharma, M., & Mulat-weldemeskel, E. (2022). A framework for assessing social acceptability of industry 4.0 technologies for the development of digital manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*, 174, 121217. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121217>
- Kumar, R., Sindhwani, R., & Singh, P. L. (2021). IIoT implementation challenges: Analysis and mitigation by blockchain. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/JGOSS-08-2021-0056>
- Kurniawati, D., & Yulianto, H. (2015). Productivity Improvement of Small Scale Medium Enterprises (SMEs) on Food Products: Case at Yogyakarta Province, Indonesia. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, 189–194. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.01.037>

- Kwahk, K.-Y., & Kim, Y.-G. (1999). Supporting business process redesign using cognitive maps. *Decision Support Systems*, 25(2), 155–178. [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(99\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(99)00003-2)
- Labucay, I. (2022). Is There a Smart Sustainability Transition in Manufacturing? Tracking Externalities in Machine Tools over Three Decades. *Sustainability*, 14(2), 838. <https://doi.org/10.3390/su14020838>
- Ladeira, M. J. M., Ferreira, F. A. F., Ferreira, J. J. M., Fang, W., Falcão, P. F., & Rosa, A. A. (2019). Exploring the determinants of digital entrepreneurship using fuzzy cognitive maps. *International Entrepreneurship and Management Journal*, 15(4), 1077–1101. <https://doi.org/10.1007/s11365-019-00574-9>
- Lee, J., Jun, S., Chang, T.-W., & Park, J. (2017). A Smartness Assessment Framework for Smart Factories Using Analytic Network Process. *Sustainability*, 9(5), 794. <https://doi.org/10.3390/su9050794>
- Leyh, C., Schäffer, T., Bley, K., & Forstnhäusler, S. (2016). *SIMMI 4.0 – A Maturity Model for Classifying the Enterprise-wide IT and Software Landscape Focusing on Industry 4.0*. 1297–1302. <https://doi.org/10.15439/2016F478>
- Li, R.-J. (1999). Fuzzy method in group decision making. *Computers & Mathematics with Applications*, 38(1), 91–101. [https://doi.org/10.1016/S0898-1221\(99\)00172-8](https://doi.org/10.1016/S0898-1221(99)00172-8)
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmittz, E., & Schröter, M. (2015). IMPULS - Industrie 4.0- Readiness. *Impuls-Stiftung Des VDMA*.
- Lin, C. (2009). An immune algorithm for complex fuzzy cognitive map partitioning. *Proceedings of the First ACM/SIGEVO Summit on Genetic and Evolutionary Computation - GEC '09*, 315. <https://doi.org/10.1145/1543834.1543877>
- Lin, C.-J., & Wu, W.-W. (2004). A fuzzy extension of the dematel method for group decision making. *European Journal Of Operational Research*, 156, 445–455.
- Lin, C.-J., & Wu, W.-W. (2008). A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 34(1), 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.08.012>
- Linardos, V., Drakaki, M., Tzionas, P., & Karnavas, Y. L. (2022). Machine Learning in Disaster Management: Recent Developments in Methods and Applications. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 4(2), 446–473. <https://doi.org/10.3390/make4020020>
- Liu, J., Yu, Y., Zhang, L., & Nie, C. (2011). An Overview of Conceptual Model for Simulation and Its Validation. *Procedia Engineering*, 24, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2618>
- Liu, Y., Wood, L. C., Venkatesh, V. G., Zhang, A., & Farooque, M. (2021). Barriers to sustainable food consumption and production in China: A fuzzy DEMATEL analysis from a circular economy perspective. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 1114–1129. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.07.028>
- Luo, X., Wei, X., & Zhang, J. (2010). Guided Game-Based Learning Using Fuzzy Cognitive Maps. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 3(4), 344–357. <https://doi.org/10.1109/TLT.2010.26>

- Luthra, S., Govindan, K., Kharb, R. K., & Mangla, S. K. (2016). Evaluating the enablers in solar power developments in the current scenario using fuzzy DEMATEL: An Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 379–397. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.041>
- Machado, E., Scavarda, L. F., Caiado, R. G. G., & Thomé, A. M. T. (2021). Barriers and Enablers for the Integration of Industry 4.0 and Sustainability in Supply Chains of MSMEs. *Sustainability*, 13(21), 11664. <https://doi.org/10.3390/su132111664>
- Mangla, S. K., Luthra, S., Rich, N., Kumar, D., Rana, N. P., & Dwivedi, Y. K. (2018). Enablers to implement sustainable initiatives in agri-food supply chains. *International Journal of Production Economics*, 203, 379–393. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.012>
- Manufacturing USA. (2019). *Program Details*. <https://www.manufacturingusa.com/pages/program-details>
- Maqbool, A., & Khan, N. Z. (2020). Analyzing barriers for implementation of public health and social measures to prevent the transmission of COVID-19 disease using DEMATEL method. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 14(5), 887–892. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.06.024>
- Marchant, T. (1999). Cognitive maps and fuzzy implications. *European Journal of Operational Research*, 114(3), 626–637. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00133-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00133-7)
- Maskrey, S. A., Mount, N. J., & Thorne, C. R. (2022). Doing flood risk modelling differently: Evaluating the potential for participatory techniques to broaden flood risk management decision-making. *Journal of Flood Risk Management*, 15(1), e12757. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12757>
- Mehregan, M. R., Hashemi, S. H., Karimi, A., & Merikhi, B. (2014). Analysis of interactions among sustainability supplier selection criteria using ISM and fuzzy DEMATEL. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 7(3), 270–294. <https://doi.org/10.1504/IJADS.2014.063226>
- Mendonca, M., Rossato Chrun, I., Antonio Ferreira Finocchio, M., & Eire de Mello, E. (2015). Fuzzy Cognitive Maps Applied to Student Satisfaction Level in an University. *IEEE Latin America Transactions*, 13(12), 3922–3927. <https://doi.org/10.1109/TLA.2015.7404928>
- Mittal, S., Romero, D., & Wuest, T. (2018). Towards a Smart Manufacturing Maturity Model for SMEs (SM3E). In I. Moon, G. M. Lee, J. Park, D. Kiritsis, & G. von Cieminski (Eds.), *Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0* (pp. 155–163). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99707-0_20
- Mpelogianni, V., Arvanitakis, I., & Groumpos, P. (2019). State Feedback of Complex Systems Using Fuzzy Cognitive Maps. *International Journal of Business and Technology*, 6(3), 1–6. <https://doi.org/10.33107/ijbte.2018.6.3.14>
- Nair, A., Reckien, D., & van Maarseveen, M. F. A. M. (2020). Generalised fuzzy cognitive maps: Considering the time dynamics between a cause and an effect. *Applied Soft Computing*, 92, 106309. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106309>

- Nápoles, G., Grau, I., Bello, R., & Grau, R. (2014). Two-steps learning of Fuzzy Cognitive Maps for prediction and knowledge discovery on the HIV-1 drug resistance. *Expert Systems with Applications*, 41(3), 821–830. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.08.012>
- Nimawat, D., & Gidwani, B. D. (2021). Identification of cause and effect relationships among barriers of Industry 4.0 using decision-making trial and evaluation laboratory method. *Benchmarking: An International Journal*, 28(8), 2407–2431. <https://doi.org/10.1108/BIJ-08-2020-0429>
- Nozari, M. A., Ghadikolaei, A. S., Govindan, K., & Akbari, V. (2021). Analysis of the sharing economy effect on sustainability in the transportation sector using fuzzy cognitive mapping. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127331. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127331>
- Ocampo, L., Deiparine, C. B., & Go, A. L. (2020). Mapping Strategy to Best Practices for Sustainable Food Manufacturing Using Fuzzy DEMATEL-ANP-TOPSIS. *Engineering Management Journal*, 32(2), 130–150. <https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1733379>
- Ocampo, L., & Yamagishi, K. (2020). Modeling the lockdown relaxation protocols of the Philippine government in response to the COVID-19 pandemic: An intuitionistic fuzzy DEMATEL analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, 72, 100911. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100911>
- Oja, E. (1982). Simplified neuron model as a principal component analyzer. *Journal of Mathematical Biology*, 15(3), 267–273.
- Oleśków-Szłapka, J., & Stachowiak, A. (2019). The Framework of Logistics 4.0 Maturity Model. In A. Burduk, E. Chlebus, T. Nowakowski, & A. Tubis (Eds.), *Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance* (Vol. 835, pp. 771–781). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97490-3_73
- Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2003). Defuzzification within a multicriteria decision model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 11(5), 635–652. <https://doi.org/10.1142/S0218488503002387>
- Özkurt, C. (2016). *The status of manufacturing industry in Turkey from the industry 4.0 perspective: A survey on manufacturing industry in Sakarya*. Sakarya University.
- Pacchini, A. P. T., Lucato, W. C., Facchini, F., & Mummolo, G. (2019). The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. *Computers in Industry*, 113, 103125. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.103125>
- Papadopoulos, T., Singh, S. P., Spanaki, K., Gunasekaran, A., & Dubey, R. (2022). Towards the next generation of manufacturing: Implications of big data and digitalization in the context of industry 4.0. *Production Planning & Control*, 33(2–3), 101–104. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1810767>
- Papageorgiou, E. I. (2012). Learning Algorithms for Fuzzy Cognitive Maps—A Review Study. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 42(2), 150–163. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2011.2138694>

- Papageorgiou, E. I. (Ed.). (2014). *Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering* (Vol. 54). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39739-4>
- Papageorgiou, E. I., & Groumpos, P. P. (2005a). A new hybrid method using evolutionary algorithms to train Fuzzy Cognitive Maps. *Applied Soft Computing*, 5(4), 409–431. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2004.08.008>
- Papageorgiou, E. I., & Groumpos, P. P. (2005b). A weight adaptation method for fuzzy cognitive map learning. *Soft Computing*, 9(11), 846–857. <https://doi.org/10.1007/s00500-004-0426-z>
- Papageorgiou, E. I., Markinos, A. T., & Gemtos, T. A. (2011). Fuzzy cognitive map based approach for predicting yield in cotton crop production as a basis for decision support system in precision agriculture application. *Applied Soft Computing*, 11(4), 3643–3657. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2011.01.036>
- Papageorgiou, E. I., Parsopoulos, K. E., Stylios, C. S., Groumpos, P. P., & Vrahatis, M. N. (2005). Fuzzy Cognitive Maps Learning Using Particle Swarm Optimization. *Journal of Intelligent Information Systems*, 25(1), 95–121. <https://doi.org/10.1007/s10844-005-0864-9>
- Papageorgiou, E. I., Stylios, C. D., & Groumpos, P. P. (2004). Active Hebbian learning algorithm to train fuzzy cognitive maps. *International Journal of Approximate Reasoning*, 37(3), 219–249. <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2004.01.001>
- Papageorgiou, E., Stylios, C., & Groumpos, P. (2003). Fuzzy Cognitive Map Learning Based on Nonlinear Hebbian Rule. In T. D. Gedeon & L. C. C. Fung (Eds.), *AI 2003: Advances in Artificial Intelligence* (Vol. 2903, pp. 256–268). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-24581-0_22
- Penn, A. S., Knight, C. J. K., Lloyd, D. J. B., Avitabile, D., Kok, K., Schiller, F., Woodward, A., Druckman, A., & Basson, L. (2013). Participatory Development and Analysis of a Fuzzy Cognitive Map of the Establishment of a Bio-Based Economy in the Humber Region. *PLOS ONE*, 8(11), e78319. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078319>
- Plumanns, L., Janssen, D., Vossen, R., & Isenhardt, I. (2019). Organizational and Individual Factors for Training of the Manufacturing Workforce in Digitalization. *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 1158–1166. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2019.8725042>
- Polyakov, A. E., & Ivanov, M. S. (2018). Investigation of the Controlled Electrotechnical Complex of a Flow Line by Means of Fuzzy Cognitive Maps. *Fibre Chemistry*, 49(6), 405–407. <https://doi.org/10.1007/s10692-018-9908-0>
- Pourkhabbaz, H. R., Aghdar, H., Mohammadyari, F., & Javanmardi, S. (2015). Land suitability Evaluation for determining of agricultural land use by Multi Criteria Decision Making models ANP- DEMATEL and FAHP Chang (Case study: Behbahan fringe). *Journal of Environmental Studies*, 41(2), 429–445. <https://doi.org/10.22059/jes.2015.54992>
- PricewaterhouseCoopers. (2016). *Industry 4.0: Building the digital enterprise*. 36.
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of*

- Reckien, D. (2014). Weather extremes and street life in India—Implications of Fuzzy Cognitive Mapping as a new tool for semi-quantitative impact assessment and ranking of adaptation measures. *Global Environmental Change*, 26, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.03.005>
- Sadeghi-Niaraki, A. (2020). Industry 4.0 Development Multi-Criteria Assessment: An Integrated Fuzzy DEMATEL, ANP and VIKOR Methodology. *IEEE Access*, 8, 23689–23704. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2965979>
- Salmeron, J. L., Mansouri, T., Moghadam, M. R. S., & Mardani, A. (2019). Learning Fuzzy Cognitive Maps with modified asexual reproduction optimisation algorithm. *Knowledge-Based Systems*, 163, 723–735. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.09.034>
- Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R.-C., Reichstein, C., Neumaier, P., & Jozinović, P. (2015). Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results. In W. Abramowicz (Ed.), *Business Information Systems* (pp. 16–27). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19027-3_2
- Schmitt, P., Schmitt, J., & Engelmann, B. (2019). Evaluation of proceedings for SMEs to conduct I4.0 projects. *Procedia CIRP*, 86, 257–263. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.007>
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>
- Sharma, M., Joshi, S., & Kumar, A. (2020). Assessing enablers of e-waste management in circular economy using DEMATEL method: An Indian perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(12), 13325–13338. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07765-w>
- Sharma, Y. K., Mangla, S. K., Patil, P. P., & Uniyal, S. (2018). Sustainable Food Supply Chain Management Implementation Using DEMATEL Approach. In N. A. Siddiqui, S. M. Tauseef, & K. Bansal (Eds.), *Advances in Health and Environment Safety* (pp. 115–125). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7122-5_13
- Si, S.-L., You, X.-Y., Liu, H.-C., & Zhang, P. (2018). DEMATEL Technique: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature on Methodologies and Applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, e3696457. <https://doi.org/10.1155/2018/3696457>
- Singapore, E. D. B. (2018). *The Singapore smart industry readiness index*.
- Sjödín, D. R., Parida, V., Leksell, M., & Petrovic, A. (2018). Smart Factory Implementation and Process Innovation. *Research-Technology Management*, 61(5), 22–31. <https://doi.org/10.1080/08956308.2018.1471277>
- Stach, W., Kurgan, L., & Pedrycz, W. (2008). Data-driven Nonlinear Hebbian Learning method for Fuzzy Cognitive Maps. *2008 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (IEEE World Congress on Computational Intelligence)*, 1975–1981. <https://doi.org/10.1109/FUZZY.2008.4630640>

- Stach, W., Kurgan, L., & Pedrycz, W. (2010). A divide and conquer method for learning large Fuzzy Cognitive Maps. *Fuzzy Sets and Systems*, 161(19), 2515–2532. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2010.04.008>
- Storn, R., & Price, K. (1996). Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization*, 11, 341–359.
- Stylios, C. D., & Groumpos, P. P. (2004). Modeling complex systems using fuzzy cognitive maps. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 34(1), 155–162. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2003.818878>
- Suzan, V., & Yavuzer, H. (2020). A Fuzzy Dematel Method To Evaluate The Most Common Diseases In Internal Medicine. *International Journal of Fuzzy Systems*, 22(7), 2385–2395. <https://doi.org/10.1007/s40815-020-00921-x>
- Taber, W. R. (1994). Fuzzy cognitive maps model social system. *AI Expert*, 19–23.
- Tadić, S., Zečević, S., & Krstić, M. (2014). A novel hybrid MCDM model based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy VIKOR for city logistics concept selection. *Expert Systems with Applications*, 41(18), 8112–8128. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.07.021>
- Taghavifard, M. T., Kouhi, H., & Mohammadifar, M. (2017). Identification and Analysis of Effective Factors on the Banking Acceptance by Children and Teenagers Using Fuzzy DEMATEL(Case: Bank Keshavarzi in Mazandaran). *Quarterly Journal of Islamic Finance and Banking Studies*, 2(4), 119–152.
- Thavi, R. R., Narwane, V. S., Jhaveri, R. H., & Raut, R. D. (2021). To determine the critical factors for the adoption of cloud computing in the educational sector in developing countries – a fuzzy DEMATEL approach. *Kybernetes, ahead-of-print*(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/K-12-2020-0864>
- Tirolas, M., & Stylios, C. (2022). Introducing Fuzzy Cognitive Map for predicting Engine's Health Status. *IFAC-PapersOnLine*, 55(2), 246–251. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.04.201>
- Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55(4), 189–208. <https://doi.org/10.1037/h0061626>
- Torbacki, W., & Kijewska, K. (2019). Identifying Key Performance Indicators to be used in Logistics 4.0 and Industry 4.0 for the needs of sustainable municipal logistics by means of the DEMATEL method. *Transportation Research Procedia*, 39, 534–543.
- Tsadiras, A. K. (2008). Comparing the inference capabilities of binary, trivalent and sigmoid fuzzy cognitive maps. *Information Sciences*, 178(20), 3880–3894. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.05.015>
- Tsadiras, A. K., Kouskouvelis, I., & Margaritis, K. G. (2003). Using Fuzzy Cognitive Maps as a Decision Support System for Political Decisions. In Y. Manolopoulos, S. Evripidou, & A. C. Kakas (Eds.), *Advances in Informatics* (pp. 172–182). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-38076-0_12
- Tsai, S.-B., Chen, K.-Y., Zhao, H., Wei, Y.-M., Wang, C.-K., Zheng, Y., Chang, L.-C., & Wang, J. (2016). Using a Mixed Model to Explore Evaluation Criteria for

- Bank Supervision: A Banking Supervision Law Perspective. *PLOS ONE*, 11(12), e0167710. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167710>
- Türkiyenin Sanayi Devrimi ‘Dijital Türkiye’ Yol Haritası. (2017). Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. <https://www.sanayi.gov.tr/tsddtyh.pdf>
- Van Broekhoven, E., & De Baets, B. (2006). Fast and accurate center of gravity defuzzification of fuzzy system outputs defined on trapezoidal fuzzy partitions. *Fuzzy Sets and Systems*, 157(7), 904–918. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2005.11.005>
- Vinodh, S., & Wankhede, V. A. (2020). Application of fuzzy DEMATEL and fuzzy CODAS for analysis of workforce attributes pertaining to Industry 4.0: A case study. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(8), 1695–1721. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2020-0322>
- Weber, C., Königsberger, J., Kassner, L., & Mitschang, B. (2017). M2DDM – A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing. *Procedia CIRP*, 63, 173–178. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.309>
- Xixi, Y., Fengqian, D., & Chao, L. (2022). Time series prediction based on high-order intuitionistic fuzzy cognitive maps with variational mode decomposition. *Soft Computing*, 26(1), 189–201. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-06455-0>
- Yager, R. R., & Filev, D. P. (1994). Essentials of Fuzzy Modeling and Control. *New York: John Wiley&Sons*, 6(4), 22–23.
- Yavas, V., & Ozkan-Ozen, Y. D. (2020). Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 135, 101864. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101864>
- Yesil, E., Ozturk, C., Dodurka, M. F., & Sahin, A. (2013). Control engineering education critical success factors modeling via Fuzzy Cognitive Maps. *2013 12th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ITHET.2013.6671061>
- Zaccaria, D., Passarella, G., D’Agostino, D., Giordano, R., & Sandoval-Solis, S. (2013). *Irrigation Delivery Performance Versus Environmental Externalities: A Risk Assessment and Management Perspective*.
- Zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), 338–335.
- Zeller, V., Hocken, C., & Stich, V. (2018). Acatech Industrie 4.0 Maturity Index – A Multidimensional Maturity Model. In I. Moon, G. M. Lee, J. Park, D. Kiritsis, & G. von Cieminski (Eds.), *Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0* (Vol. 536, pp. 105–113). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99707-0_14
- Zhu, Y., & Zhang, W. (2008). An Integrated Framework for Learning Fuzzy Cognitive Map using RCGA and NHL Algorithm. *4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/WiCom.2008.2527>
- Ziv, G., Watson, E., Young, D., Howard, D. C., Larcom, S. T., & Tanentzap, A. J. (2018). The potential impact of Brexit on the energy, water and food nexus in

the UK: A fuzzy cognitive mapping approach. *Applied Energy*, 210, 487–498.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.033>

Zou, X., & Liu, J. (2018). A Mutual Information-Based Two-Phase Memetic Algorithm for Large-Scale Fuzzy Cognitive Map Learning. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 26(4), 2120–2134.
<https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2017.2764445>



EKLER

EK A. Dijital Dönüşüm Değerlendirme Anketi

C1-İŞ MODELLERİ, ÜRÜN VE HİZMETLER

1. Firmanızda dijital sistemler, ürünler ve servisler toplam değerimize katkı sağlıyor mu?

1: Katkı yok-Dijital sistemler etki etmez. Değer sadece ürünlerin satışı ile sağlanır. (ÖRN: Geleneksel bakım-onarım faaliyetleri)

5: Ana katkı-Değer, sadece lisanslar ve dijital sistemler ile oluşturulur. (ÖRN: Bulut çözümler, 3D yazıcılar)

2. Firmanızda bir ürün yaklaşık olarak hangi seviyeye kadar dijital hale dönüştürülmektedir (Barkod sistemleri, IoT teknolojileri, bulut çözümler)?

1: Yok-Ürün listelerimizde sadece fiziksel ürünlere odaklanıyoruz. (ÖRN: IoT teknolojisi olmayan cihazlar, mekanik özellikli internet bağlantısı olmayan ekipmanlar)

5: Tümüyle-Dijital sistemler ürünlerimizde odak noktamızdır. Fiziksel ürünler sadece aracı olarak kullanılmaktadır. (ÖRN: İlave makine eklentileri ve geliştirmeleri için uygulama mağazaları)

3. Ürünleriniz müşteri tarafından kişiselleştirilebilir mi?

1: Hayır-Müşteriler tarafından değiştirilemez. (ÖRN: Kalıp bazlı seri imalatlar)

5: Tümüyle-Ürünlerimiz müşteri tarafından istedikleri şekilde özelleştirilebilir (ÖRN: İstenilen şekilde yapılandırma uygulamaları)

4. Ürün ya da hizmetlerinizin yaşam süreçlerini hangi seviyeye kadar dijitalleştirilmektedir?

1: Yok-Ürün süreçlerinde farklı adımlarda farklı dijital teknolojiler uygulanmaktadır. (ÖRN: Tasarım ve üretim entegrasyonu yok)

5: Tümüyle-Yaşam döngüsündeki tüm süreçlerde dijital hale getirilmektedir. (ÖRN: Tasarım aşamasında dijital prototip yardımıyla testlerinin gerçekleştirilmesi)

5. İş süreçlerinizde veriler ve veri analizleri firmanız için ne seviyede önemlidir? (Makinelerin ürettiği veriler, müşteri ya da tedarikçileriniz tarafından gelen veriler)

1: Önemi yok- İş süreçlerimizde veri analizleri kullanılmıyor.

5: Çok Önemli- Firmamız için verilerin analizi çok önemlidir. (ÖRN: Ürün fiyatının belirlenmesi için makine verilerinin kullanılması)

6. Ürün, sistem veya hizmetlerinizin geliştirilmesi için paydaşlarınızla (müşteri, tedarikçi vb) olan ortaklığınız ne seviyededir?

1: Ortaklık Yok-Paydaşlar ile herhangi bir fikir alışverişi yapılmaz.

5: Yüksek seviye-Paydaşlarımızla birlikte ürünlerin tasarlanması ve geliştirilmesi pazar gücümüzün artmasına katkı sağlamaktadır

C2-PAZAR & MÜŞTERİ ERİŞİMİ

7. Ürün veya hizmetlerinizi müşterilere pazarlamak için entegre satış ağları kullanıyor musunuz?

1: Tek ağ- Geleneksel yöntem ile satış pazarlama (ÖRN: fiziksel mağaza satışı)

5: Birden fazla satış ağı-Çoklu dijital satış ağlarının entegre edilmesi (Dijital satış platformları, online hizmetler)

8. Müşteriler ile etkileşimlerinizde sosyal ağları (sosyal medya siteleri, çeşitli bloglar ve formlar vb.) ne seviyede kullanıyorsunuz?

1: Sınırlı iletişim- Sosyal ağların yerine tek yönlü iletişim araçlarının tercih edilmesi (ÖRN: Firmaların web sayfaları, dergiler)

5: Çok Fazla-Pazar payını arttırmak için birden fazla sosyal ağın kullanılması (ÖRN: Müşterilerin sosyal mecralar yardımıyla ürün tasarım ve geliştirme süreçlerine dahil edilmesi)

9. Satış süreçleriniz dijital açıdan yeterli midir?

1: Yetersiz- Geleneksel yöntemler ile fiziki satış yapılır. (ÖRN: Matbu evraklar kullanılarak fiziki satışlar)

5: Yeterli-Satış süreçleri dijital sistemlerle desteklenmektedir. (ÖRN: Ürünlere tam zamanlı erişim imkanı, ürünleri özelleştirebilme ve online sipariş verebilme imkanı)

10. Fiyat politikalarınız müşteri beklentileri ile uygun mu ve dinamik olarak değişiyor mu?

1: Hayır- Tüm müşteriler için aynı sabit fiyatlandırma politikası. (ÖRN: Geleneksel yöntemler ile belirlenmiş sabit fiyat listeleri)

5: Evet- Otonom sistemler yardımıyla fiyatların belirlenmesi, indirim ve kampanyaların dinamik olarak tam zamanlı gerçekleştirilmesi (ÖRN: Müşteri çeşitlerine, sektörlere ve ürünlere gösterilen ilgiye göre farklı fiyatlandırmaların yapılması)

11. Satış miktarını arttırmak için müşterileri ne seviyede analiz edersiniz? (Cinsiyetleri, Yaş grupları, tercihleri, alım günü, lokasyonları vb.)

1: Önemsiz-Satış verileri analiz edilmez.

5: Önemli-Ürünlerin satışları sonucu müşteri profilini ve kullanıcı deneyimlerini izlemek için bütünleşik veri toplama ağları

12. İş ortaklarınızla müşterilere ulaşım noktasındaki yaklaşımlarınızla ilgili paylaşımda bulunuyor musunuz? (Ortak veri tabanları kullanımı, müşteriler ile ilgili fikir alışverişlerinde bulunulması)

1: Yok-İş ortakları ile paylaşım yok. Farklı tanımlamaların kullanılması, ayrı veri tabanlarında depolanması

5: Yüksek paylaşım- ortak veritabanlarının kullanılması, aynı müşteri kartlarının ve verilerin kullanımı

C3-DEĞER ZİNCİRLERİ & SÜREÇLER

13. Ürünün tasarımından üretimine kadar olan süreçteki dijitalleşme seviyesini nasıl tanımlarsınız?

1: Hiç-Süreç boyunca bilgi akışı sınırlı. (ÖRN: manuel veri girişleri, çizim programları ile makineler arasında haberleşme yok)

5: Yüksek seviye-Tasarımdan üretime kadar olan sürecin tamamen entegrasyonu (ÖRN: CAD CAM programları ile makinelerin entegrasyonları, Makinelerden ERP programlarına veri akışının sağlanması)

14. Üretim esnekliğiniz hangi seviyede, talep dalgalanmalarına karşın hızlı tepki verebiliyor musunuz?

1: yok-Talep dalgalanmalarına karşın esneklik yok. Uzun süreli setuplar

5: Esneklik fazla-Çeviklik hızı yüksek, Değişikliklere anlık cevap verebilme ve zaman çizelgesini anlık görüntüleyebilme

15. Sipariş tahmin süreçlerinden, planlamaya, üretime, depolamaya ve sevkiyata kadar ki tüm süreçleri kapsayan IT entegrasyonunuz var mı, hangi seviyede?

1: Entegre sistem yok- Süreçler arasında entegrasyon yok. Geleneksel yöntem ile planlama

5: Tüm süreçleri kapsayan entegre planlama sistemi-Tüm süreçler boyunca anlık bilgi iletimi (ÖRN: sipariş süreçlerindeki değişiklikler anlık olarak üretimi etkiler)

16. Üretimde kullandığınız tüm makine ve ekipman teçhizatınızın dijital seviyesi nedir?

1: Tümüyle fiziksel cihazlar- Ekipmanlar manuel çalışmaktadır. Anlık veri akışı sağlanamaz.

5: Tümüyle dijital ekipmanlar-Birbirleriyle haberleşen ekipmanlar, Anlık veri alışverişi sayesinde canlı fabrika simülasyonu

17. Yatay değer zincirinizin dijitalleşme seviyesini nasıl değerlendirirsiniz?

1: Oldukça Düşük- Süreç boyunca bilgi akışı sağlanmıyor. (ÖRN: Lojistik firmasının IT'ye erişimi yok)

5: Oldukça yüksek seviye-Tüm süreç boyunca devamlı bilgi akışının sağlanması (ÖRN: Tedarikçilerin direkt olarak IT ye entegrasyonu)

C4-BT MİMARİSİ

18. BT sisteminizin Endüstri 4.0'ın gerektirdiği ihtiyaçları ne seviyede karşılamaktadır?

1: Hiç-IT sistemi Endüstri 4.0 ihtiyaçlarını karşılayacak düzeyde değil. Gerekli değişiklikler için kolaylıkla geliştirilemez.

5: Tümüyle- IT sistemi ihtiyaçların tamamını karşılamakta ve gelecek durumdaki olası gereklilikleri karşılayabilmek için yapılacak geliştirmelere açıktır.

19. Üretim süreçlerinizi izlemek için Üretim yürütme sistemi (MES) ya da benzer sistemler kullanıyor musunuz?

1: yok-Üretim planlama ve kontrol süreçleri IT sistemleri olmadan manuel yapılmaktadır.

5: Kapsamlı- MES ve ERP sistemleri entegre olarak kullanılmaktadır.

20. Anlık üretim, müşteri ve tedarikçi verilerini toplamak ve analiz etmek için IT sistemleriniz hangi seviyede?

1: Oldukça Düşük-Veri toplama ve analiz etme için bir sistem yok.

5: Oldukça Yüksek- Üretim ve ekipmanları anlık olarak izleme, kontrol etme ve optimize etme düzeyi.

21. Sosyal medya, bulut bilgi işleme sistemleri gibi son dönemde gelişen yeni teknolojiler firmanızdaki operasyon süreçleri üzerinden ne kadar etkili?

1: Önemsiz- Sadece olması gereken küçük yatırımların gerçekleştirilmesi (ÖRN: sadece sosyal medya hesabı olması)

5: Oldukça önemli- İş operasyonları üzerinde önemli etki (ÖRN: tüketici profillerinin izlenmesi, paylaşım platformlarının oluşturulması)

22. IT ekibiniz talep edilen işlemleri hangi süre, kalite seviyesi ve maliyetle gerçekleştirebiliyor?

1: Düzensiz- Gereksinimle zamanında ve beklenen kalitede gerçekleştirmiyor. (ÖRN: Maliyetler kaynaklı tedarik edememe, uzun tedarik süreleri)

5: Tam zamanlı gerçekleştirme- Dinamik olarak gereksinimlere cevap verebilme kapasitesinde. Firma ve IT sistemleri tamamen uyumlu çalışmaktadır.

23. Paydaşlarınızda (Müşteriler, tedarikçiler, iş ortakları vb.) IT entegrasyonunuz hangi derecededir?

1: Yok-Müşteri ve tedarikçi erişimine izin verilmeyen izole IT sistemleri

5: Tümüyle entegre, anlık veri alışverişleri sağlanıyor. (Müşteri- tedarikçi portallarıyla entegre ERP sistemleri)

C5-UYUM, RİSK, GÜVENLİK

24. Dijital uyum politikanızın karmaşıklığı hangi seviyededir?

1: Karmaşık değil- Dijital bir endüstriyel kontrol sistemi yok. Yerinde analiz ve iç kontrol süreçleri dijital değil.

5: Çok karmaşık- Eksiksiz bir şekilde oluşturulmuştur. Dijital bir endüstriyel kontrol sistemi tarafından desteklenmektedir.

25. Dijital ürün ve hizmetlerinizde fikri mülkiyetin korunmasını sağlıyor musunuz ve dış fikri mülkiyetleri ihlal etmediğinizi garanti edebiliyor musunuz?

1: Düşük güven- Fikri mülkiyetin korunması fırsatçı olarak gerçekleştirilir. Dış fikri mülkiyetin ihlali konusunda güvence verilemez.

5: Yüksek güven- Fikri mülkiyetlerin güvenliği ve ihlallerin önlenmesi için bütünlük süreçleri oluşturulmuştur.

26. Risk yönetiminiz dijital ürün ve hizmetlerini hangi seviyede içermektedir?

1: Kapsamaz- Risk yönetimi dijital ürün ve hizmetleri kapsamamaktadır

5: Kapsamlı şekilde içerir- Risk yönetimi ürün ve hizmetlerin dijitalleşmesi ile ortaya çıkan riskleri ve üretimin kendisini kapsamaktadır.

27. Dijital ürün ve hizmetleriniz vergi ile ilgili konularda hangi seviyede yönetiliyor?

1: Yok- Dijital ürünler için farklı bir yaklaşım bulunmuyor.

5: Tümüyle- Dijital varlıkların korunumu (patentler, fikri mülkiyetler, lisanslar vs) için özel bir yaklaşım mevcuttur ve vergi süreçleri optimize edilmiştir.

28. Üretiminiz bilgi işlem güvenliği açısından hangi seviyede ele alınıyor?

1: Yok- Üretimde IT güvenliği dikkate alınmıyor.

5: Tümüyle- Üretim güvenliği tümüyle entegre sistemler tarafından sağlanıyor. Siber saldırılardan korunmaya yardımcı sistemler kullanılıyor.

29. Paydaşlarınızı (müşteriler, tedarikçiler, iş ortakları vs) uyum ve risk yönetiminizde hangi seviyede dahil ediyorsunuz?

1: Yok-Risk yönetimi sadece firma içinde gerçekleştirilir. Diğer paydaşlar dahil edilmez.

5: Tümüyle- Risk yönetimi paydaşlar ile birlikte düzenlenmekte ve belirli periyotlarla gözden geçirilmektedir.

C6-ORGANİZASYON & KURUM KÜLTÜRÜ

30. Verileri kullanarak değer yaratma kabiliyetinizi nasıl derecelendirirsiniz?

1: Oldukça düşük- Veriler toplanıyor fakat değer yaratma konusunda analiz edilmiyor.

5: Oldukça yüksek- İş süreçlerinin optimizasyonu ve ürün geliştirme süreçleri için veri analizlerine dayalı sistematik yaklaşımlar bulunmaktadır.

31. Firmanızdaki Endüstri 4.0 ile ilgili kaynakları nasıl derecelendirirsiniz? (Veri analizi, IoT, CPS, HMI, üretim güvenliği, dijital PLM vb.)

1: Oldukça düşük- Endüstri 4.0 kaynakları ile ilgili bilgi eksikliği ve organizasyonda sorumlulukların ve kişilerin belirlenmemiş olması

5: Oldukça yüksek- Endüstri 4.0 konuları için organizasyonlar oluşturulmuştur ve sorumlulukları belirlenmiştir.

32. Firmanızda Endüstri 4.0 ile ilgili yönetiminizin bakış açısı nasıldır, katılım, destek ve uzmanlık düzeyleri hangi seviyededir?

1: Oldukça düşük katılım- Yönetim endüstri 4.0 hakkında bilgi sahibi fakat uzmanlığı yok. Bu konuda oluşturulmuş bir yol haritası bulunmuyor.

5: Oldukça yüksek katılım- Tüm yönetim ekibi Endüstri 4.0 konusunda bilgi sahibidir ve bu konuda yol haritasına sahiplerdir.

33. Firmanız Endüstri 4.0 konusunda dış destek alıyor mu? (Müşteriler, tedarikçiler, danışmanlar, üniversite iş birlikleri vs.)

1: Yok- İşbirliğinde bulunulmuyor. Sadece firma içinde kısıtlı imkanlarla araştırmalar yapılıyor.

5: Yoğun iş birliği, Endüstri 4.0 için sağlanan açık imkanlardan yararlanılıyor (ÖRN: Akıllı model fabrikalar, müşteriler için açık laboratuvar imkanları)

C7-LİDERLİK, STRATEJİ, KÜLTÜR

34. Firmanız Nesnelerin İnternetini destekleyen bir firma tarafından yürütülen çalışmada minimum bir Kavram Kanıtlama Çalışmasını (POC) finanse edebilecek güçte midir?

1: Katkı yok-Hayır

5: Çok Yüksek Katkı-Evet

35. Firmanızın yönetimi rekabet gücü, kalite, büyüme veya operasyonel mükemmellik açısından büyük önem taşıyan nesnelerin interneti gibi kavramlara önem vermekte midir?

1: Kesinlikle katılmıyorum.

5: Kesinlikle katılıyorum.

36. Firmanız, ihtiyaçlar doğrultusunda verileri ve bilgi işlem kaynaklarını kullanıp analiz edebilecek organizasyonu oluşturmak için yol haritalarına sahip mi?

1: Hayır.

5: Evet, yol haritası hazırlanmış durumda

37. Firmanız Nesnelerin interneti projesini uygulayabilmek için harici veya dahili yetkin kişileri belirlemiş durumda mı?

1: Hayır.

5: Evet, belirlenmiş durumda

38. Firmanız yeni teknolojileri ve diğer yenilikleri kavrayabilecek tecrübeye sahip mi?

1: Kesinlikle katılmıyorum.

5: Kesinlikle katılıyorum.

39. Firmanızdaki nesnelerin interneti projeleri için belirlemiş olduğunuz takımınız proje için gerekli süre, maliyet ve kaynakları ortaya çıkartacak bir çalışma yapmış durumda mı?

1: Belirlenmiş bir takımımız bulunmuyor.

5: Önceden yapmış bulunmaktayız.

40. Firmanızda nesnelerin interneti proje takımınız ve BT organizasyonlarınız arasında yapılan çalışmalara bakıldığında bir uyum bulunuyor mu?

1: Belirlenmiş bir takımımız bulunmuyor.

5: Önceden yapmış bulunmaktayız.

41. Firmanızda eskiden beri sahip olduğunuz kurumsal programlar nesnelerin interneti için yeni veri odaklı çözümlere yardımcı olabilecek, uyumlu ve gizliliğin sağlanmasını sağlayacak yetkinlikte mi?

1: Kesinlikle katılıyorum.

5: Kesinlikle katılmıyorum.

C8-IoT VERİLERİN KORUNMASI VE İŞLENMESİ

42. Firmanız güncel Nesnelerin interneti verilerine sahip durumda mı?

1: Hayır, sahip değil, sahip olabileceğini sanmıyoruz.

2: Hayır, ama sahip olabileceğini sanıyoruz.

3: Evet, yeni sahip olunmaya çalışılıyor.

4: Evet, ama kısıtlı miktarda sahip, çeşitlilik yok.

5: Evet, yeterince fazla miktarda sahip ve çeşitlilik fazla.

C9-IoT TAKIM UZMANLIĞI

43. Firmanızda nesnelerin interneti verilerini analiz ve idare edebilecek yetkinlikte bir veya birden çok takımınız bulunuyor mu?

1: Hayır.

2: Hayır. Herhangi bir takım oluşturmak için çalışmamız ve düşüncemiz yok.

3: Hayır, ama takım oluşturmayı planlıyoruz.

4: Evet, takım mevcut fakat kısıtlı yetkinlikte çalışıyor.

5: Evet, takım mevcuttur ve oluşabilecek tüm sorunlara çözüm getirebilecek yetkinliktedir.

44. Firmanız nesnelerin interneti için dış destek alıyor mu (kiralık veri bilimcileri) ya da veri analizleri yapabilecek veri analistlerine sahip mi?

1: Hayır.

2: Hayır. Kiralama ya da personel istihdamı düşünülmüyor.

3: Hayır, ama kiralamayı ya da personel istihdam etmeyi planlıyoruz.

4: Evet, sahibiz fakat yeterli düzeyde yetkinlik yok.

5: Evet, sahibiz ve oluşabilecek tüm sorunlara çözüm getirebilecek yetkinliktedir.

45. Firmanız nesnelerin interneti proje ekibinde görev alacak yetkinlikteki kişileri belirlemiş durumda mıdır?

1: Hayır.

2: Hayır, belirlemeyi planlamıyoruz.

3: Hayır, belirlemeyi düşünüyoruz. İsimler üzerinde değerlendirme yapıyoruz.

4: Evet, belirlenmiş olan bazı uzman kişiler bulunmaktadır.

5: Evet, takımlar belirlenmiş durumdadır ve ekip olarak çalışmalar sürdürülmektedir.

C10-ANALİZ İÇİN VERİ ENTEGRASYONU

46. Firmanız yapılacak olan veri analizlerinde birden fazla veri kaynaklarını kullanabilecek yetkinlikte midir?

1: Hayır.

2: Hayır, kullanmayı planlamıyoruz.

3: Hayır, kullanmayı planlıyoruz ama henüz nasıl yapılacağını düşünüyoruz.

4: Evet, çeşitli veriler ile yapabiliyor durumdayız.

5: Evet, süreç akışlarını da kapsayan çeşitli veriler ile bunu yapabilmekteyiz.

47. Firmanız, mevcut analiz ettiğiniz verileriniz ile nesnelerin interneti verilerini bütünleşik bir şekilde entegre edebilecek yetkinlikte mi?

1: Hayır.

2: Hayır, bütünleştirmeyi planlamamaktayız.

3: Hayır, bütünleştirmeyi planlıyoruz ama henüz nasıl yapılacağını düşünüyoruz.

4: Evet, çeşitli veriler ile entegre edebilmekteyiz.

5: Evet, süreç akışlarını da içeren çeşitli veriler ile nesnelerin internetini entegre edebilmekteyiz.

C11-İŞ SÜREÇLERİ DEĞİŞİKLİĞİ

48. İşletmeniz operasyonel olarak IoT teknolojilerini uygulayabileceği düzeylere ve süreçlere hakim midir?

1: Hayır.

5: Kesinlikle katılıyorum.

49. Sensör verileriniz işletmenizde karar mekanizmaları ile doğrudan iletişim halinde bulunmakta mıdır?

1: Hayır.

5: Kesinlikle katılıyorum.

C12-ZEKİ ÜRÜN

Sensör Verilerinin Entegrasyonu

50. Firmanızdaki sensörler ve aktüatörler ile ürünleriniz entegre edilmiş durumda mıdır?

1: Ürünlerimiz entegre edilmemiş durumdadır. Ürünlerimizin internet bağlantısı bulunmamaktadır.

2: Entegrasyon bulunmaktadır.

3: Sensör verileri ürünler tarafından bağımsız olarak işlenir.

4: Ürün tarafından veri analizleri yapılmaktadır.

5: Ürünler tarafından analiz edilen verilere dayanarak ürünlerimiz bağımsız olarak tepki verebilir.

İletişim ve Bağlantı

51. Firmanızdaki ürünleriniz birbirleri ile iletişim kurabilir mi ya da diğer sistemler ile entegre edilmiş midir?

1: Evet, Ürünlerimizin ara yüzleri mevcuttur.

2: Firmamızdaki ürünlerimiz I/O sinyalleri iletebilir ve alabilirler.

3: Fieldbus (endüstriyel ağ sistemleri) arabirimleri bulunmaktadır.

4: Endüstriyel Ethernet ara yüzleri mevcuttur.

5: İnternet erişimleri mevcuttur.

Veri Saklama ve Bilgi Alışverişi

52. Ürünleriniz veri saklama ve bilgi alışverişinde bulunabilme becerisine sahip midir?

1: Sahip değil.

2: İşletmemizin ürünleri açık olarak tanımlanabilir durumdadır.

3: Ürünlerimizde dahili veri depolama bulunmamaktadır yalnızca pasif depolama yapabilmektedir.

4: Ürünlerimizde dahili veri depolama alanları bulunmaktadır.

5: Ürünlerimiz veri ve bilgi alışverişi konularında mükemmeldir.

Ürün İşlevinin İzlenmesi

53. Ürünleriniz BT destekli izlemeyi etkinleştirebilecek yetenekte midir?

1: Herhangi bir izleme yapılmamaktadır.

2: Hata tespiti noktasında kullanılmaktadır.

3: Çalışma durumunuzu kontrol ederek teşhisi sağlayabilir.

4: Ürünlerimiz, işlevsel yeteneğimizi tahmin edebilecek yetkinliktedir.

5: Ürünlerimiz bağımsız olarak gerekli kontrol tedbirlerini gerçekleştirebilir.

Ürünle İlgili BT Hizmetleri

54. Firmanızın ürünlerine ait veya diğer ürünleri ile ilişkili BT hizmetleri bulunuyor mu?

1: Ürünlerimizle ilgili BT hizmetimiz mevcut değildir.

2: Servislere erişim noktasında çevrim için hizmet sunulmaktadır.

3: Servis versiyonlarının gerçekleştirilmesi ürünlerimiz üzerinden doğrudan yapılır.

4: İşletmemizin ürünleri bağımsız olarak hizmet gerçekleştirebilmektedir.

5: Ürünlerimiz BT altyapısı ile doğrudan entegre olacak şekilde tasarlanmıştır.

Ürünün Çevresindeki İş Modelleri

55. Firmanızın ürünleriniz için gerçekleştirdiği iş modelleri mevcut mu?

1: Firmamız sadece ürün satışından kazanç elde etmektedir.

2: Satış sonrası ürünlerimiz ile ilgili olarak detaylı öneriler sunulmaktadır.

3: Ürün satışı sonrasında danışmanlık hizmetimizin yanında müşteri taleplerine göre kişiselleştirilmesi de sağlanmaktadır.

4: Ürünlerimiz ile birlikte vereceğimiz hizmetimizi de satmaktayız.

5: Fiziksel ürünler dışında ürünlerin işlevlerine ait hizmetleri satmaktayız.

C13-ZEKİ İMALAT

Üretimde Veri İşleme

56. İşletmenizde üretilen verilerin kullanılma durumunu nasıl tanımlarsınız?

1: Veri ile ilgili hiçbir çalışma bulunmamaktadır.

2: Sadece dokümantasyon amaçlı veri toplanılmaktadır.

3: Veriler zaman zaman değerlendirilmektedir.

4: Hedeflere ulaşmada verilerin izlenebilirliği ve geri dönüşler önem taşımaktadır.

5: Verilerin toplanması, değerlendirilmesi büyük çoğunlukla otomasyona bağlanmıştır.

Makineden Makineye İletişim

57. Üretiminizde makinelerin haberleşmesini gerçekleştirecek donanıma sahip misiniz?

- 1: Makine ve ekipmanlar arasında haberleşme bulunmamaktadır.
- 2: Makine ve ekipmanlar arasında birtakım arabirimler bulunmaktadır.
- 3: Endüstriyel ethernet arayüzleri mevcuttur.
- 4: Makinelerin internet erişimi sağlanmıştır.
- 5: Makineden makineye iletişim servisleri kullanılmaktadır.

Kurumsal Network Düzeyi

58. Bilgi teknolojileri iş birimleri arasında aktif olarak kullanılmakta mıdır?

- 1: Şirketimizde üretim iş birimleri arasında bilgi alışverişini sağlanmamaktadır.
- 2: Bilgi değişimi, geleneksel olarak telefon ile sağlanmaktadır.
- 3: Bilgi alışverişinde standart formlar ve araçlar kullanılmaktadır.
- 4: Veri sunucuları çapraz ağa bağlı ve tek biçimli formatı kullanmaktadır.
- 5: Departmanlar arasında ağ üzerinden bilgi teknolojileri kullanılmaktadır.

BT Üretim Altyapısı

59. Bilgi teknolojileri ve iletişim ağını hangi şekilde kullanmaktasınız?

- 1: Posta ve telekomünikasyon kullanılarak bilgi akışı sağlanmaktadır.
- 2: Merkezi veri sunucularına sahibiz.
- 3: İnternet tabanlı ortak kullanılabilen sunucular üzerinden departmanlar iletişimde olmaktadır.
- 4: Otomatik bilgi geçişi kurumsal olarak sağlanır.
- 5: Tedarikçi ve tüketicinin entegre olduğu bilgi ağına sahip bulunmaktadır.

İnsan-Makine Etkileşimi

60. Makineler ve üretim elemanları ile çalışanların iletişimi nasıl gerçekleştirilmektedir?

- 1: Hiçbir bilgi akışı yoktur. Manuel kullanım ile üretim gerçekleştirilmektedir.
- 2: Göstergeleri yerel ve kullanımı kontrol edilebilen makineler kullanılmaktadır.
- 3: Üretim tek merkezden otomatik olarak yürütülmektedir.
- 4: Mobil ekranlar üretim süreçlerimizde aktif şekilde kullanılmaktadır.
- 5: Üretimde arttırılmış ve genişletilmiş gerçeklik teknolojileri kullanılmaktadır.

Küçük Parti Üretim ile Verimlilik

61. Küçük parti üretimlerinde üretim şeklinizi nasıl tanımlarsınız?

- 1: Üretimimizde herhangi bir hat dengelem işlemi uygulanmamaktadır.
- 2: Esnek üretim aktif bir şekilde kullanılmakta ve dengelenme yapılmaktadır.
- 3: Ürünler için modüler üretim tarzı aktif olarak süreçlerimize entegredir.

4: Bileşen odaklı, esnek ve modüler ürün olarak üretim yapılmaktadır.

5: Müşteri ve tedarikçilerin üretim sürecine dahil olabildiği, esnek, modüler ve bileşen odaklı ürün yapısına sahip bulunmaktadır.

C14-ZEKİ ORGANİZASYON

İş Süreçlerinin Ağını Oluşturma

62. Satın alma süreciniz doğru verilerle adapte, tedarik süreçleri belirli kuralları olan ve tedariki sorun olmayan her yere ulaşım sağlama yeteneğinizi nasıl değerlendirirsiniz?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

63. Lojistik süreçlerinizin üretim ve satın alma ile ilişkisi ne ölçüde başarılıdır?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

64. İşletmenizin kontrol departmanı, tüm iş süreçlerinde aktif bir gözlemci ve gerektiğinde karar verici midir?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

65. Bakım, modern planlama tekniklerine göre yapılmakta mıdır?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

66. Ürünlerinizde kaliteyi hangi düzeyde ön plana almaktasınız?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

Müşteri Odaklılık

67. Satış personelleriniz güncel gelişmeleri ve trendleri izlemekte ve dijital yollara başvurmakta mıdır?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

68. Modern gelişimler müşterinin daha iyi hizmet almasını sağlamak için aktif bir şekilde kullanılmakta mıdır?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

69. Satış sonrası hizmetleriniz rekabet konusunda kurumunuzu öne geçirebilmekte midir?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

Kurum Kültürü ve Personel

70. Stratejinizde dijital yetkinlik ile ilgili bilgi birikime sahip personel istihdamı konusunda açıkça kararlar var mıdır?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

71. Personel alımındaki stratejinizde, dijital ortamlardan yararlanılmakta mıdır?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

72. Yeni ürün/hizmet modellerine uyum sağlamakta mısınız?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

73. İşletmenizde sürekli eğitimin uygulanmasını sağlamakta mısınız?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

74. Liderlik kültürünün önemini vurgulamakta mısınız?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

C15-ZEKİ TEKNOLOJİ

Siber Güvenlik Stratejisi

75. İşletmeniz siber güvenlik kapsamında riskleri değerlendirmekte midir?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

76. Ofisteki risklerin önlenmesi için kavramsal bir çalışma bulunmakta mıdır?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

77. Güvenlik için oluşturduğunuz bir strateji bulunmakta mıdır?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

78. Kendi ürün ve hizmetleriniz için bir güvenlik stratejiniz var mıdır?

1: Hayır

5: Evet ve sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

C16-STANDARTLARIN YÖNETİMİ VE STANDARDİZASYON

79. Yönetim araçlarından standart olarak kullandığınız bir araç var mıdır?

1: Yok

5: Var ve üzerinde sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

80. Süreçler kullandığınız standartlarda açık bir şekilde tanımlanmış mıdır?

1: Yok

2: Var ve üzerinde sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

81. İşletmenizde risklerin değerlendirilmesi için standartlar kullanılmakta mıdır?

1: Yok

5: Var ve üzerinde sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

82. Standartlar baz alınarak stratejileriniz geliştirilmekte midir?

1: Yok

5: Var ve üzerinde sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

83. İşletmenizde standartlaştırma işlemleri için bir departman veya takım bulunmakta mıdır?

1: Yok

5: Var ve üzerinde sürekli gelişimler sağlanmaktadır.

C17-FİNANSAL GÜÇLÜKLER

84. İşletmenizde dijital dönüşümün getirdiği finansal gereklilikleri karşılama düzeyinizi nasıl tanımlarsınız?

1: Çok İyi

2: Tasarlanmakta

3: Sınırlı

4: Uygulamada

5: Çok Kötü

85. Finansal faydaları tanımlama konusunda ne kadar yetkinsiniz?

1: Çok fazla

5: Çok az

C18-DİJİTAL BECERİ EKSİKLİĞİ

86. İşletmenizde dijital beceri açısından çalışanlarınızı ortalama nasıl tanımlarsınız?

1: Çok İyi

5: Çok Kötü

87. İşletmenizde teknolojik gelişimlere ayak uydurabilecek çalışma takımları bulunmakta mıdır?

1: Hayır

5: Birlikte ve aktif iletişim ile çalışabilmektedirler.

C19-DÖNÜŞÜME HAZIRLIKSIZ BAŞLAMA İSTEĞİ

88. İşletmenizde dijital dönüşüm süreçlerinin anlaşılabilirliğini ne düzeyde tanımlarsınız?

1: Çok İyi

5: Çok Kötü



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Enes Furkan Erkan

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2017, Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2015 yılından beri Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Erkan, E. F., Uygun, Ö., Kiraz, A. & Canpolat, O. (2019) A model for readiness assessment of digital transformation using integrated fuzzy DEMATEL and fuzzy cognitive Map, 10th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems, 9-11 September 2019, Sakarya, Turkey, pp. 717-727
- Kiraz, A., Canpolat, O., Erkan, E. F., & Uygun, Ö. (2019) IMPULS kriterleri ile Endüstri 4.0 eğiliminin değerlendirilmesi: Bir bulanık bilişsel harita uygulaması. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 7(1), 14-23, doi.org/10.21541/apjes.332543
- Kiraz, A., Özkurt, C., Taşkın, H. & Erkan, E. F. (2019) An industry 4.0 maturity level assessing model based on fuzzy DEMATEL Method, 10th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems, 9-11 September 2019, Sakarya, Turkey, pp. 381-392
- Kiraz, A., Uygun, O., Erkan, E. F., & Canpolat, O. (2020) Fuzzy cognitive mapping approach to the assessment of Industry 4.0 tendency, Scientia Iranica, doi.org/10.24200/sci.2019.51200.2057

- Erkan, E. F., Uygun, Ö., Kiraz, A. & Canpolat, O. (2021) An integrated Fuzzy DEMATEL and Fuzzy Cognitive Maps approach for the assessing of the Industry 4.0 Model, Journal of Engg. Research, doi.org/10.36909/jer.12303 (Online First)

DİĞER ESERLER:

- Erkan, E. F., Canpolat O., Kiraz, A., Uygun, Ö. (2017) Determining the Effective Concepts of Institutionalization. IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM), 19(12), 36-42, doi.org/10.9790/487X-1912013642
- Erkan, E. F., Teke, Ç. & Güleriyüz, Ç. (2016) A Fuzzy Expert System for Risk Self-Assessment of Chronic Diseases, IOSR Journal of Computer Engineering, 18(6), 29-33, doi:10.9790/0661-1806052933
- Erkan, E. F., Uygun, Ö., & Kiraz, A. (2018) Kurumsallaşma analizi için bulanık bilişsel haritalar temelli yeni bir yaklaşım. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2), 557-571, doi.org/10.16984/saufenbilder.330835
- Erkan, E. F. & Uygun, Ö. (2020) Scenario based examination of institutional leaning using fuzzy cognitive maps. Computers & Industrial Engineering, 147, 106642, doi.org/10.1016/j.cie.2020.106642
- Faydalı, R. & Erkan, E. F. (2020) Makine Seçim Probleminin Bulanık VIKOR Yöntemiyle İncelenmesi, Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications, 3(1), 7-12, doi:10.38016/jista.677785
- Kiraz, A., Canpolat, O., Erkan, E. F., & Özer, Ç. (2019) Artificial neural networks modeling for the prediction of Pb (II) adsorption. International Journal of Environmental Science and Technology, 16(9), 5079-5086, doi.org/10.1007/s13762-018-1798-4
- Kiraz, A., Canpolat, O., Erkan, E. F., & Albayrak, F. (2018) Evaluating R&D Projects Using Two Phases Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (14), 49-53, doi.org/10.31590/ejosat.428343
- Kiraz, A., Canpolat, O., Erkan, E. F., & Albayrak, F. (2018) Determining Importance Degrees of Strategic Plan Goals with Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (13), 72-76, doi: 10.31590/ejosat.428357
- Kiraz, A., Canpolat, O., Erkan, E. F., & Uygun, Ö. (2019) IMPULS kriterleri ile Endüstri 4.0 eğiliminin değerlendirilmesi: Bir bulanık bilişsel harita uygulaması. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 7(1), 14-23, doi.org/10.21541/apjes.332543
- Uygun, Ö., Dalkılıç, F. & Erkan, E. F. (2018) Bulanık Ahp ve bulanık moora yöntemleri kullanarak tedarikçi seçimi, Academic Perspective Procedia, 1(1), 1189-1199. doi: 10.33793/acperpro.01.01.189
- Uygun, Ö., Demir, H. İ. & Erkan, E. F. (2016) Influential analysis, prioritization and mapping of strategic goals with fuzzy DEMATEL: An empirical case study in

a Turkish university, MATTER: International Journal of Science and Technology, 2(1), 39-58, doi: 10.20319/Mijst.2016.s21.3958

- Uygun, Ö., Erkan, E. F. & Demir, H. İ. (2017) An evaluation model for green supply chain management using fuzzy cognitive maps", Academic Platform-Journal of Engineering and Science, 5(3), 26-34, doi:10.21541/apjes.326841
- Uygun, O., Yalcin, S., Kiraz, A., & Erkan, E. F. (2020) A novel assessment approach to EFQM driven institutionalization using integrated fuzzy multi-criteria decision-making methods, Scientia Iranica, doi.org/10.24200/sci.2018.5398.1259
- Yapay Zeka Dijital Sistemler ve Uygulamaları, Bölüm Adı:(Bulanık Bilişsel Haritalar) (2021)., Erkan, E. F. & Uygun, Ö., Papatya Bilim, Editör: Cemalettin Kubat, Basım sayısı:1, Sayfa sayısı: 528, ISBN: 978-605-9594-88-2, Türkçe (Bilimsel Kitap)

