

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ADAPTİF AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS) İLE
SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİKÇİ SEÇİMİ**

**Hazırlayan
Ümmü AHAT**

**Danışman
Prof. Dr. Arzu ORGAN**

**AĞUSTOS 2021
DENİZLİ**

**ADAPTİF AĐ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFİS)
İLE SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİKÇİ SEÇİMİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İşletme Ana Bilim Dalı
Sayısal Yöntemler Programı**

**Ümmü AHAT
Danışman
Prof. Dr. Arzu ORGAN**

**AĞUSTOS 2021
DENİZLİ**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atıfta bulunulduğunu beyan ederim.

Ümmü AHAT

ÖN SÖZ

Yüksek lisans tezimi tamamlama sürecinde bana duyduğu inanç, gösterdiği alaka ve hoşgörü için, benimle paylaştığı bilgi ve deneyimleri, kıymetli tavsiyeleri için değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Arzu ORGAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Tez Savunma Sınavı'nda yer almalarından ötürü ayrıcalıklı ve şanslı hissettiğim, çok değerli eleştiri ve görüşlerini paylaşan, bilgi ve birikimlerini paylaşmaktan çekinmeyen, deneyim ve akademik bakış açılarına hayran olduğum değerli Doç. Dr. Semin PAKSOY hocama ve değerli Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KOÇAK hocama desteklerinden ötürü çok teşekkür ederim.

Bu süreçte, desteklerini ve fikirlerini esirgemeyen değerli Arş. Gör. Samet ATA'ya teşekkürlerimi sunarım. Eğitim ve öğrenim hayatım boyunca, keza hayatımın her alanında, desteklerini her daim hissettiren, her daim yanımda olan, annem Huriye AHAT, babam RIZA AHAT, kardeşim Ayşe GÜLEŞ ve çok kıymetli eşi Edip GÜLEŞ'e teşekkürlerimi sunarak, tezimi can parçalarımına ithaf etmek istiyorum.

ÖZET

**ADAPTİF AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS) İLE
SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİKÇİ SEÇİMİ**

AHAT, Ümmü
Yüksek Lisans Tezi
İşletme Ana Bilim Dalı
Sayısal Yöntemler Programı
Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Arzu ORGAN
Ağustos 2021, ix+106 sayfa

Sürdürülebilir tedarikçi seçimi, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminin başarısını doğrudan etkileyen faktörlerden biridir. Etkin sürdürülebilirlik kriterlerinin belirlenmesi, etkin ve verimli bir sürdürülebilir tedarik zinciri meydana getirmek için oldukça önem arz etmektedir. Doğru sürdürülebilir tedarikçi seçimi, işletme açısından oldukça kritik bir karar problemidir. Yapılan son araştırmalar, sürdürülebilir tedarikçilerin performanslarının ölçülmesinde, yapay zekâ tekniklerinin daha iyi bir yöntem olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bu çalışmada, Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Yapay Sinir Ağı (YSA) yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Etkin ve verimli bir model geliştirmek ve işletme açısından en etkin sürdürülebilirlik kriterlerini belirlemek adına ANFIS yöntemi ile girdi seçimi yapılmıştır. ANFIS yöntemi ile belirlenen en etkin sürdürülebilirlik kriterleri; sosyal sorumluluk, maliyet, atık yönetimi ve teslim süresi olarak belirlenmiştir. ANFIS ve YSA yöntemleriyle sürdürülebilir tedarikçi performans tahmini hesaplamaları yapılmıştır. Geliştirilen ANFIS modeli ve YSA modeliyle gerçekleştirilen tahmin performanslarını karşılaştırmak amacıyla, çoklu regresyon analizi modeli geliştirilmiştir. Ortalama ve standart hata değerleri incelendikten sonra, belirlenen performans parametreleri olan R^2 , MSE, RMSE, MAE, MAPE regresyon indekslerinden WIA değerleri hesaplanarak; geliştirilen modeller karşılaştırılmıştır. Performans tahmininde en başarılı model ANFIS modeli olarak belirlenmiştir. Daha sonra, ANFIS modeline göre sürdürülebilir tedarikçi seçimi yapılmış ve firma için en uygun tedarikçi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi, Yapay Sinir Ağı, ANFIS Girdi Seçimi, Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimi, ANFIS, YSA, Çoklu Regresyon Analizi, Sürdürülebilir Tedarikçi Performansı Tahmini

ABSTRACT
SUSTAINABLE SUPPLIER SELECTION WITH ADAPTIVE
NETWORK-BASED FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)

AHAT, Ümmü
Master's Thesis
Department of Business Administration
Quantitative Methods Programme
Advisor of Thesis: Prof. Dr. Arzu Organ
August 2021, ix+106 pages

Sustainable supplier selection is one of the factors that directly affect the success of sustainable supply chain management. Determining effective sustainability criteria is very important to create an effective and efficient sustainable supply chain. Choosing the right sustainable supplier is a critical decision problem for the business. Recent studies show that artificial intelligence techniques are a better method in measuring the performance of sustainable suppliers. Therefore, in this study, Adaptive Network Based Fuzzy Inference System (ANFIS) and Artificial Neural Network (ANN) methods were used.

Input selection was made with the ANFIS method in order to develop an effective and efficient model and to determine the most effective sustainability criteria for the business. The most effective sustainability criteria determined by the ANFIS method include social responsibility, cost, waste management and delivery time. Sustainable supplier performance estimation calculations were made with ANFIS and ANN methods. A multiple regression analysis model was developed in order to compare the predicted performances conducted with the developed ANFIS model and ANN model. After examining the mean and standard error values, WIA values were calculated from the regression indexes of the determined performance parameters called R^2 , MSE, RMSE, MAE, MAPE. And then the developed methods were compared. Sustainable supplier selection was conducted by the ANFIS model, which allows for the most successful performance estimation and also has the highest level of accuracy.

Keywords: Adaptive Network Based Fuzzy Inference System, Artificial Neural Network, ANFIS Input Selection, Sustainable Supplier Selection, ANFIS, ANN, Multiple Regression Analysis, Sustainable Supplier Performance Estimation

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİKÇİ SEÇİMİ

1.1 Sürdürülebilirlik.....	4
1.1.1 Üçlü Performans Kavramı.....	8
1.1.1.1 Ekonomik Sürdürülebilirlik.....	9
1.1.1.2 Sosyal Sürdürülebilirlik.....	10
1.1.1.3 Çevresel Sürdürülebilirlik.....	10
1.2 Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi.....	10
1.3 Sürdürülebilir Tedarikçi Seçim Problemi.....	15
1.4 Sürdürülebilir Tedarikçi Seçim Problemi Çözüm Yöntemleri.....	17
1.4.1 Tedarikçi Seçim Yöntemleri.....	17
1.4.1.1 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri.....	18
1.4.1.2 Maliyet Tabanlı Yöntemler.....	19
1.4.1.3 Matematiksel Programlama Yöntemleri.....	19
1.4.1.4 İstatistiksel Yöntemler.....	19
1.4.1.5 Yapay Zekâ Yöntemleri.....	20
1.4.1.6 Tümlleşik Yöntemler.....	20
1.4.2 Sürdürülebilir Tedarikçi Seçim Yöntemleri.....	20
1.5 Literatür Araştırması.....	21
1.5.1 Tedarikçi Seçiminde ANFIS Yöntemi.....	21
1.5.2 Tedarikçi Seçiminde YSA Yöntemi.....	24

İKİNCİ BÖLÜM

ADAPTİF AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS)

2.1 Bulanık Mantık.....	27
2.1.1 Bulanık Küme Teorisi.....	29
2.1.2 Üyelik Fonksiyonları.....	31
2.1.2.1 Üçgen Üyelik Fonksiyonu.....	33
2.1.2.2 Yamuk Üyelik Fonksiyonu.....	33
2.1.2.3 Gaussian Üyelik Fonksiyonu.....	33
2.1.2.4 Sigmondial Üyelik Fonksiyonu.....	33
2.1.2.5 Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu.....	34
2.1.3 Bulanık Sayı.....	34
2.1.4 Bulanık Çıkarım Sistemi.....	36
2.1.4.1 Bulanıklaştırma.....	37
2.1.4.2 Çıkarım.....	37
2.1.4.3 Durulaştırma.....	38
2.2 Yapay Sinir Ağı.....	40
2.2.1 Biyolojik Sinir Hücresi.....	42
2.2.2 Yapay Sinir Ağının Yapısı.....	43

2.2.2.1 Giriş.....	45
2.2.2.2 Ağırlık	46
2.2.2.3 Toplama Fonksiyonu	46
2.2.2.4 Aktivasyon Fonksiyonu	47
2.2.2.5 Çıktı.....	47
2.2.3 Yapay Sinir Ağı Modelleri	47
2.2.3.1 İleri Beslemeli Ağlar.....	48
2.2.3.2 Geri Beslemeli Ağlar	52
2.3 Sinirsel Bulanık Sistemler.....	54
2.4 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS).....	57
2.4.1 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi'nin Yapısı.....	58
2.4.2 ANFIS Öğrenme Algoritması	60
2.4.3 MATLAB ANFIS Modellemesi.....	62
2.5 Performans Göstergeleri	66

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ADAPTİF AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS) İLE BİR UYGULAMA

3.1 Çalışmanın Amacı.....	69
3.2 Çalışmanın Yöntemi	70
3.3 Karar Komitesinin ve Kriterlerin Belirlenmesi	71
3.4 Verilerin Elde Edilmesi.....	72
3.5 ANFIS Sürdürülebilirlik Kriterleri (Girdi) Seçimi	73
3.6 ANFIS Modelinin Kurulması	76
3.7 Yapay Sinir Ağı Modelinin Kurulması.....	80
3.8 ANFIS Modeli, YSA Modelinin Performanslarının Değerlendirilmesi	85
3.9 ANFIS Modeli ile Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimi	89
SONUÇ	91
KAYNAKLAR	93
ÖZ GEÇMİŞ	106

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. TBL Yaklaşımının Gösterimi.....	8
Şekil 2. Kurumsal Sürdürülebilirlik Gösterimi	9
Şekil 3. Geleneksel Tedarik Zinciri Yönetiminin Gösterimi	11
Şekil 4. Tedarikçi Seçim Süreci	16
Şekil 5. Tedarikçi Seçim Problemi Çözüm Yöntemleri	18
Şekil 6. Sürdürülebilir Tedarikçi Seçim Yöntemleri.....	21
Şekil 7. Klasik Küme ve Bulanık Küme	30
Şekil 8. Klasik Küme ve Bulanık Küme Gösterimi	30
Şekil 9. Üyelik Fonksiyonu Bölümleri.....	31
Şekil 10. Dilsel Değişkenlerin Grafikselsel Gösterimi.....	32
Şekil 11. S, Z ve Pi Fonksiyon Grafikleri	32
Şekil 12. Üçgen, Yamuk, Gaussian, Sigmondial, Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonları ..	34
Şekil 13. Pure Sistem Gösterimi	36
Şekil 14. Takagi-Sugeno-Kang Modeli Gösterimi.....	36
Şekil 15. Tipik Bulanık Sistem Gösterimi	37
Şekil 16. Durulaştırma Yöntemleri Gösterimi	40
Şekil 17. Sinir Hücresi Gösterimi	43
Şekil 18. Yapay Sinir Ağı Gösterimi	44
Şekil 19. Yapay Sinir Ağının Fonksiyonları Gösterimi	45
Şekil 20. Yapay Sinir Ağı Genel Gösterimi	45
Şekil 21. İleri Beslemeli ve Tekrarlayan Geri Beslemeli Ağ Türleri.....	48
Şekil 22. İleri Beslemeli Ağ	48
Şekil 23. İleri Beslemeli Ağ Modellerinin Gösterimi	48
Şekil 24. Perceptron Modeli Yapısı	49
Şekil 25. ADALINE Modeli	50
Şekil 26. MADALINE Modeli.....	50
Şekil 27. Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli.....	51
Şekil 28. Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı.....	52
Şekil 29. Geri Beslemeli Ağ.....	52
Şekil 30. Geri Beslemeli Ağ Modelleri Gösterimi	52
Şekil 31. SOM Ağı Topolojisi.....	53
Şekil 32. Sinirsel-Bulanık Sistem Gösterimi.....	55
Şekil 33. ANFIS Modeli.....	58

Şekil 34. ANFIS Öğrenme Prosesi Gösterimi.....	61
Şekil 35. MATLAB R2016a Ekranı.....	62
Şekil 36. FIS Editör Ekranı	63
Şekil 37. ANFIS Editör Ekranı	64
Şekil 38. ANFIS Editör “Generate FIS” Arayüzü.....	65
Şekil 39. zmf, pimf ve smf Fonksiyonları	65
Şekil 40. gaussmf, gauss2mf ve gbellmf Fonksiyonları.....	65
Şekil 41. sigmf, dsigmf ve psigmf Fonksiyonları	65
Şekil 42. trimf, trapmf Fonksiyonları.....	65
Şekil 43. Modelin Eğitilmesi.....	66
Şekil 44. Belirli Bir Çevrimde Elde Edilen Hata Değerinin Gösterimi	66
Şekil 45. Araştırma Modeli	71
Şekil 46. Birli Girdi Kombinasyonları	74
Şekil 47. Birli Girdi Kombinasyonlar Hata Değerleri.....	74
Şekil 48. İkili Girdi Kombinasyonları.....	75
Şekil 49. ANFIS Modeli Akış Şeması	77
Şekil 50. ANFIS Modeli ve Eğitim Verilerinin Karşılaştırılması.....	78
Şekil 51. ANFIS Modeli ve Test Verilerinin Karşılaştırılması.....	78
Şekil 52. ANFIS Modeli Çıktıları ve Kontrol Verilerinin Karşılaştırılması	79
Şekil 53. ANFIS Modeli Kural Görünümü	79
Şekil 54. ANFIS Modeli Regresyon Grafiği	80
Şekil 55. YSA Modeli Akış Şeması	80
Şekil 56. MATLAB R2016a YSA Arayüz Ekranı.....	81
Şekil 57. Ağ Oluşturma Arayüzü	81
Şekil 58. YSA Eğitim Arayüzü	84
Şekil 59. Ağ Eğitim Performans Grafiği	85
Şekil 60. YSA Modeli Regresyon Grafikleri	85
Şekil 61. ANFIS Model Çıktı.....	90

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Sürdürülebilirlik Yaklaşımının Etkilediği Yedi Alan	6
Tablo 2. ANFIS Yöntemi Literatür Araştırması	24
Tablo 3. YSA Literatür Araştırması	26
Tablo 4. Toplama, Çıkarma, Çarpma ve Bölme İşlem Formülleri	35
Tablo 5. Toplama ve Çıkarma İşlem Formülleri	35
Tablo 6. Çarpma ve Bölme İşlem Formülleri	35
Tablo 7. Toplama Fonksiyonları ve Formülleri	46
Tablo 8. Hibrit Nöro-Bulanık Sistemler	56
Tablo 9. Performans Göstergeleri	68
Tablo 10. Sürdürülebilirlik Kriterleri	72
Tablo 11. Üyelik Fonksiyonları Hata Değerleri	77
Tablo 12. Ağ Oluşturma Bilgileri	82
Tablo 13. Eğitim Fonksiyonları Hata Değerleri	83
Tablo 14. Eğitim, Öğrenme ve Transfer Fonksiyonu Hata Değerleri	83
Tablo 15. Çoklu Regresyon Analizi Sonuç Tablosu	86
Tablo 16. Ortalama ve Standart Hata Değerleri	87
Tablo 17. ÇRA, ANFIS, YSA Modeli Sonuçlarının Karşılaştırılması	87
Tablo 18. Tedarikçi Firmalarının Ciro Payından Aldıkları Yüzde	90

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

ADALINE	Adaptive Linear Element
ANFIS	Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems
ANN	Adaptive Neural Network
ART	Adaptive-Resonance Theory
BCG	Boston Consulting Group
BM	Bulanık Mantık
BP	Back-Propagation
CFCM	Contex-based Fuzzy C-means
COM	Center of Mean
DMU	Decisioning Making Units
ECLAC	The Economic Commission for Latin America
EFuNN and dmEFuNN	Dynamic Evolving Fuzzy Neural Network
FALCON	Fuzzy Adaptive Learning Control Network
FCM	Fuzzy C-means Clustering
FGP	Fuzzy Foal Programming
FIS	Fuzzy Inference System
FNN	Fuzzy Neural Network
FUN	Fuzzy Net
GA	Genetic Algorithm
GP	Grid Partitioning
GRI	Global Reporting Initiative
GSCM	Green Supply Chain Management
GUI	Graphical User Interface
KAM	Kourosch and Arash Model
LT	Lukasiewicz – Tarski
MADALINE	Many Adaptive Linear Element
MAE	Mean Absolute Error
MATLAB	Matrix Laboratory
MeOM	Mean of Maksima
MIT	Massachusetts Institue of Technology
MLP	Multi-Layer Perceptron Model
MOM	Middle of Maxima
MSE	Mean Square Error
NEFCON	Neuro Fuzzy Controller
PSO	Particle Swarm Optimization
RMSE	Root Mean Squared Percentage Error
SC	Subractive Clustering
SCM	Supply Chain Management
SOM	Self Organizing Maps
SONFIN	Self Constructing Neural Fuzzy Inference Network
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SSCM	Sustainable Supply Chain Management
TBL	Triple Bottom Line
TSK	Takagi-Sugeno-Kang
VLSI	Verry-Large-Scale-Integrated
WIA	Willmott Index of Agreement
YSA	Yapay Sinir Ağı

GİRİŞ

Bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, işletmelerin geleneksel pazarlardan, global pazara geçişi kaçınılmaz olmuştur. İşletmelerin, global faaliyetlerini sürdürmek, global pazarda tutunabilmek için rekabet avantajı kazanmak, faaliyetlerini ve faaliyetlerinin sürekliliğini sağlayabilmek adına, tedarik zincirleri boyunca etkinliği ve verimliliği sağlamaları gereklidir (Lin vd., 2009: 6461). İşletme yöneticilerinin %62'si global pazarda rekabetçi olabilmek için sürdürülebilirlik stratejisi uygulanması gerektiğini düşünmektedir (Haanaes, 2019: 1). Tedarik zincirlerinde, sürdürülebilirlik kavramını gündemine alan işletmeler maliyet avantajı sağlarken, aynı zamanda kurumsal itibar kazanmaktadırlar. İşletmenin, çevre bilinci ile hareket etmesi, çevreye duyarlı olması, insan yaşamı ve alanına zarar vermeyen faaliyetlerde bulunması, sürdürülebilir bir çerçeve ve bakış açısıyla gerçekleştirdiği faaliyetleri sayesinde, marka değeri artmaktadır. İşletmeler, sürdürülebilirlik kavramının bileşenleri arasında uyumlu bir denge sağlamalı ve bu dengeyi korumaya gayret etmelidir. Bu sayede, işletmenin çevresel ve sosyal kaygılara saygı duyarak, ekonomik hedeflerini gerçekleştirmesi söz konusudur. Bu bağlamda, işletmeler tarafından sürdürülebilirlik kavramı kabul görmeye beraber, aynı zamanda bir iş stratejisi haline gelmiştir. BCG/MIT (Boston Consulting Group/ Massachusetts Institute of Technology) tarafından yapılan bir araştırmada, yöneticilerin %90'ı sürdürülebilirliği önemli bulurken, şirketlerin sadece %60'ının sürdürülebilirliği stratejilerine dahil ettiği sonucuna ulaşılmıştır (Haanaes, 2019: 3). Bu bağlamda, sürdürülebilirlik kavramının giderek önemi artmakta ve sürdürülebilirlik bakış açısı, tedarik zinciri faaliyetlerinde yerini almaktadır.

Günümüz bilişim dünyasında, insan düşüncesine yakın düşünebilen, öğrenen ve belki de gelecekte kendi kendine karar vermektense öte, bağımsız olarak gelişebilecek bir sistem söz konusu olacaktır. Bu sebeple, yapay zekâ çalışmalarına yönelimler söz konusudur (Güneri vd., 2010; Damdhani vd., 2013; Asgari ve Abbasi, 2014; Aksoy vd., 2014; Özkan ve İnal, 2014; Okwu ve Tartibu, 2020). Rekabetin çetin olduğu bilişim çağında, işletmeler, rekabet edebilmek adına teknolojik gelişim ve değişimlerden mümkün olduğunca fazla yararlanmak ve çağa ayak uydurmak durumundadırlar. İşletmelerin, çağa ayak uydurmak ve rekabet avantajı elde edebilmek için stratejilerini sürdürülebilir tedarik zinciri boyunca planlaması ve uygulaması gereklidir. İşletmeler sürdürülebilir tedarik zincirini etkin yönetebilmek adına, işletme ve tedarikçi işletme ilişkilerine önem vermektedirler.

Sürdürülebilir tedarikçi seçimi, çevre koruma ve sosyal yükümlülük bilincine sahip işletmelerin gündeminde olduğu gibi, işletmelerin sosyal, çevresel ve ekonomik hedeflerine ulaşmaları açısından önemli bir husustur. Yanlış sürdürülebilir tedarikçi firması, işletmenin var olan imajına zarar verebileceği gibi, işletmenin yasal yükümlülükler altında kalmasına neden olabilir. Bu sebeplerle, işletmelerin sürdürülebilir tedarikçi performanslarını tahmin etmekte yüksek doğruluk ile çalışan, güvenilir metodolojiler sağlamak açısından bu çalışma katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda, sürdürülebilirlik kriterlerinin belirlenmesi, sürdürülebilir tedarik zinciri yaratmaya yönelik kritik bir adımdır. Bu nedenle, bu çalışmada en etkin sürdürülebilirlik kriterlerinin belirlenmesi için ANFIS metodundan yararlanılmıştır. İşletmenin, birlikte çalışacağı sürdürülebilir tedarikçi firmasının seçimi sorununa literatürde önerilen çok kriterli karar verme yaklaşımları söz konusudur. Ayrıca, yüksek oranda doğruya yakın seçimler için değişkenler ve alternatifler arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi tespit edebilecek “soft computing” olarak ifade edilen “esnek hesaplama” yaklaşımları da söz konusudur.

Esnek hesaplama yaklaşımları sürekli ve kesin olmayan, olasılıksal veriler ile de çalışabilen bilişim sistemlerini temsil etmektedir. Esnek hesaplama yaklaşımları sezgisel yöntemler, yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritmalar, melez yaklaşımlar ve bazı uygulamaları içeren bir yöntem bilimidir. Daha kısa sürede sonuç elde edilebilen, düşük maliyetli, daha doğruya yakın sonuçlar için öğrenebilen, kolay işlenen, karar almada hızlı olmaları sebebiyle bu yöntemler tercih edilmektedir. Aynı zamanda, belirsizliklerin toleransından faydalanılan esnek hesaplama yöntemlerinde, daha etkin sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu sebeplerin varlığı nedeniyle, esnek hesaplama yöntemlerinden, insan beyninin çalışma stilinden esinlenerek geliştirilmiş Yapay Sinir Ağı ve hibrit-nöro bulanık sistemlerden olan, Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi yöntemleri ile bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Uygulamada, literatür taraması ve karar vericilerin değerlendirmeleriyle sürdürülebilirlik kriterleri belirlenmiştir. İşletmelerin, sürdürülebilir tedarik faaliyetlerini sağladığı sürdürülebilir tedarikçiler, işletmenin satın alma fonksiyonunda yer almakla birlikte, aynı zamanda toplam cirosunun da bir kısmını temsil eden, itici gücüdür. Bu nedenle, çalışmada firma performansları (çıktı değişkeni) ciro payları üzerinden değerlendirilecektir. Girdi (sürdürülebilirlik kriterleri) ve çıktı (ciro payları) değişkenlerinin belirlenmesinin ardından; sürdürülebilirlik kriterleri etkin ve verimli bir model geliştirmek amacıyla, ANFIS metodu ile indirgenmiştir. Sürdürülebilir tedarikçi

performans tahmini yapmak amacıyla, ANFIS modeli ve YSA modeli geliştirilmiştir. Performans değerlendirmesi için çoklu regresyon analizi modeli geliştirilmiştir. R^2 , MSE, RMSE, MAE, MAPE ve WIA performans parametreleri ile geliştirilen modeller karşılaştırılarak, en başarılı performans tahmini ANFIS modeli olarak analiz edilmiştir. Bu bakımdan uygulama üç bölümde gerçekleştirilmiştir. Birinci bölümde sürdürülebilirlik kavramı üç boyutu ile beraber incelenerek, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi (Sustainable Supply Chain Management- SSCM), sürdürülebilir tedarikçi seçim problemi ve çözüm yöntemlerine yer verilmiştir. Son olarak, ANFIS ve YSA metodlarını içeren, tedarikçi seçimi ile ilgili gerçekleştirilmiş literatür araştırması sonuçlarına yer verilmiştir.

İkinci bölümde, bulanık mantık yaklaşımıyla, yapay sinir ağlarının dezavantajlarını gideren sinirsel bulanık sistemler açıklanarak, hibrit-sinirsel bulanık sistemlerden olan ANFIS yöntemine değinilmiştir. Bu bağlamda, ilk olarak bulanık mantık kavramına ayrıntılı olarak yer verilmiştir. Bulanık mantık kavramı çerçevesinde, bulanık küme teorisi, üyelik fonksiyonları ve çeşitleri, bulanık sayı, bulanık çıkarım sistemi kavramları açıklanmıştır. İnsan beyninin öğrenme fonksiyonunu taklit eden yapay sinir ağı sistemine değinilmiştir. Yapay sinir ağını açıklamak adına insan sinir hücreleri, yapay sinir ağı yapısı, yapay sinir ağlarının sınıflandırılması ve yapay sinir ağı modelleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Sinirsel bulanık sistemlerden bahsedilerek, sinirsel bulanık sistemlerden olan ANFIS yöntemi incelenmiştir. Son olarak, sürdürülebilirlik performans tahminlerinin karşılaştırılması için belirlenen performans göstergelerine yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde öncelikle çalışmanın amacı ve çalışmanın yönteminden bahsedilmiştir. Verilerin elde edilmesi süreçlerine değinilmiş ve ANFIS modeli geliştirilerek girdi seçimi yapılmıştır. ANFIS modeli ve YSA modeli ile sürdürülebilir tedarikçi performans tahmini gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen modelleri karşılaştırmak amacıyla çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Belirlenen performans parametreleri değerleri ile geliştirilen modeller kıyaslanmıştır. Son olarak, en başarılı performansı gösteren ANFIS modeli ile sürdürülebilir tedarikçi seçimi yapılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

SÜRDÜRÜLEBİLİR TEDARİKÇİ SEÇİMİ

Bu bölümde, sürdürülebilirlik kavramı ekonomik, sosyal, çevresel sürdürülebilirlik boyutları ile açıklanarak; sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, sürdürülebilir tedarikçi seçim problemi ve çözüm yöntemlerine değinilmiştir. Son olarak, ANFIS ve YSA yöntemlerine yönelik tedarikçi seçimi ile ilintili literatür araştırmasına yer verilmiştir.

1.1 Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik, Çevresel Sürdürülebilirlik Endeksi raporunda, “sürdürmek” için zaman içinde kendilerini koruyan dinamik sistemlerin bir özelliği olarak anlaşılmakta olup, esas anlam itibariyle, “desteklemek, seyrini sürdürmek veya varlığını sürdürmek anlamına gelir. Bu kavram zamanla genişleyerek, “yiyecek ve içecek ya da yaşam ihtiyaçlarını sağlamak” anlamına gelmiştir (Pezzoli, 1990: 6). Başlangıçta, sürdürülebilirlik terimi ormancılık, balıkçılık ve yer altı sularının kullanımı gibi faaliyetlerde önem kazanmıştır. Bu bakımdan, sürdürülebilirliğin tarihçesi incelendiğinde; sürdürülebilirlik kavramı maksimum sürdürülebilir kesim, maksimum sürdürülebilir verim gibi miktarlar ile ilgilidir. Ormanların büyümesini engellemeden maksimum ne kadar ağaç kesebiliriz? Balıkların neslini koruyarak ne kadar balık yakalayabiliriz? Akifer tabakasını koruyarak ne kadar yer altı suyu kullanabiliriz? Tüm bu soruların cevabı, bize sürdürülebilirliğe dair ipuçları vermektedir (Rogers ve Jalal, 2017: 22). Sürdürülebilir hale getirilmeye çalışılan ormancılık, balıkçılık ve yer altı suyu kullanımı gibi faaliyetler zaman içerisinde değişmekte ve çeşitlenmektedir. Latin Amerika Üyeleri Ekonomik Komisyonu (ECLAC, The Economic Commission for Latin America)’nun iddia ettiği gibi “sürdürülebilir olan ya da sürdürülebilir hale getirilmesi gereken şey, insan durumunun ya da insanların ilgilendiği sosyo-ekolojik sistemin iyileştirilmesi sürecidir. Bu süreç, enerji ve malzeme tüketiminde belirsiz bir büyüme gerektirmeyen bir süreçtir (ECLAC, 2001: 4).

Sürdürülebilirlik kavramı esas itibariyle, 1960’lı yıllarda karşımıza çıkmış olsa da popülerliğini 1987 yılında Brundland raporu ile duyurmuştur. Raporda tam olarak “bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların da kendi gereksinimlerini karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin karşılamak” olarak ifade edilmiştir (Collin, 2004: 265). Rapora göre, insanlar temel gereksinimi olan ihtiyaçlarına güvenli ve en uygun yoldan karşılamalıdır. Gelişme mutlak olarak sınırsızdır, ancak gelişmeler sağlanırken çevre

kaynakları, mevcut teknoloji kaynaklarına ve toplumsal örgütlere baskı halindedir. Gelişme bu baskılar, teknoloji kaynakları ve toplumsal örgütlere bağlıdır. Gelişme sağlanırken çevre ile arasında bir uyum olmak zorundadır (Bozlağan, 2004: 2). Brundland raporunda, sürdürülebilirliğin teknik bir anlayış mı yoksa, düzenleyici bir fikir olarak mı yer aldığı tartışılmamıştır. Sonuç olarak sürdürülebilirlik anlayışı, Brundland raporunda, parçalanmış ve çoğunlukla tek boyutlu olarak çevre boyutu ile irdelenmiştir. Özellikle sosyal konuların ve diğer üç boyutun (çevre, ekonomik, sosyal) ilişkisinin daha fazla araştırılması ve entegre edilmesi gereklidir (Seuring ve Müller, 2008: 1706).

Birleşmiş Milletler örgütü tarafından 1987 yılında yayımlanmış olan “Ortak Geleceğimiz” isimli raporda, ekonomik kalkınma için çevre politikaları ile beraber bütünleşik bir çalışma dosyası önerilmiştir. Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED, The World Commission on Environment and Development)’nun yayınladığı raporda belirtilmiş olan çevrenin bozulma hızının artarak devam etmesi halinde ekonomik büyümenin devam etmeyeceği öngörülmüştür (WCED, 1987: 43). Rapora göre net milli gelir, kişi başı gelir hesaplanırken çevresel bozulmaların önüne geçmek amacıyla hesaplamalara, çevreyi bir sermaye gibi düşünerek, dikkate alınması gereken bir unsur olarak düşünülmelidir (Lipseş vd., 1990: 354). Bu sayede, gelecek nesillere yaşanabilecek bir çevre bırakılması sağlanabileceği hususu üzerinde durulmuştur. Sürdürülebilirlik sayesinde hem çevresel hem ekonomik hem de sosyal olarak denge içerisinde, bugünü ve geleceği göz önüne alarak, şimdiki kuşakların ve gelecek kuşakların toplumsal refah göz önünde bulundurulur (Kaya, 2010: 77).

Statik ve Rands sürdürülebilirlik kavramını “bir veya birden fazla varlığın, bireysel veya toplu olarak, uzun zaman dilimleri boyunca (değişmeden ve evrimleşmemiş terimlerle) var olma yeteneği, varlıkların diğer toplulukların (kolektivitelerin) varlığına ve gelişmesine ilgili seviyelerde ve ilgili sistemlerde izin verecek şekilde” olarak açıklamaktadır (Starik ve Rands, 1995: 909). Shrivastava ise sürdürülebilirlik kavramını, “kaynak tükenmesi, enerji maliyetindeki dalgalanmalar, ürün yükümlülükleri, kirlilik ve atık yönetimi ile ilgili uzun vadeli riskleri azaltma potansiyeli” olarak tanımlamaktadır (Shrivastava, 1995a; 955).

Elkington tarafından açıklanan birbiri ile yakından bağlantılı, “sürdürülebilirliğin yedi devrimi”, sürdürülebilirlik yaklaşımının etkilediği yedi devrimsel alanı ifade etmektedir. Elkington, “sürdürülebilirliğin yedi devrimi” ile sürdürülebilir kapitalizme geçişin, türümüzün müzakere etmek zorunda kalacağı en karmaşık geçişlerden biri

olacağını düşünmektedir. Hükümetlerden veya sivil toplum kuruluşlarından daha çok sayıda işletmelerin yer aldığı bir ortamda bu dönüşüm, oldukça zordur. Aşağıda Tablo 1’de sürdürülebilirlik yaklaşımının etkilediği alanlar yer almaktadır (Elkington, 2017: 3).

Tablo 1. Sürdürülebilirlik Yaklaşımının Etkilediği Yedi Alan

	Eski Paradigma	Yeni Paradigma
Pazar	Uyum	Rekabet
Değerler	Sert	Yumuşak
Şeffaflık	Kapalı	Açık
Yaşam Çevrimi Teknolojisi	Ürün	Amaç
Ortaklıklar	Yıkıcı	Ortak yaşam
Zaman	Geniş	Uzun
Kurumsal Yönetim	Özel	Kapsayıcı

Kaynak: Elkington, 2017 :3

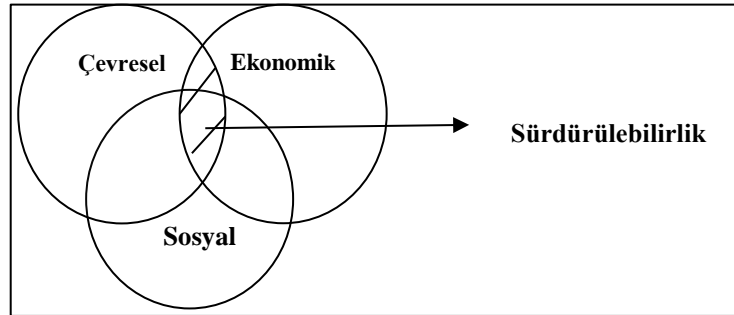
- 1) **Pazar:** Elkington, kumlu ve nemli bir toprak üzerine inşa edilmiş bir şehirde gerçekleşen deprem ile toprağın tiksotropik etki göstererek, tüm şehri yutabileceğini ifade etmiştir. Tiksotropik etki, maddelerin hareket etmeleri halinde sıvılaşma, jöleleşme eğilimi göstermelerini ifade etmektedir. Pazarların da tiksotropik hale gelebileceğini, adeta bir bataklık gibi, ekonomik depremlerle, endüstrileri ve şirketleri yutacağını ön görmüş ve bu çetin rekabet koşullarında hayatta kalmanın yolunu, Üçlü Performans Kavramı (TBL, Triple Bottom Line) yaklaşımı ile hareket etmek olduğunu belirtmiştir. Bu bağlamda, işletmelerin rekabet ortamında ekonomik, sosyal ve çevresel performanslarını arttırmanın yollarını bulmaları, gelecekte hayatta kalmalarının anahtarıdır.
- 2) **Değerler:** Dünyada yaşanacak değişimlerden biri insan ve toplum değerleridir. Bu değişimlere ayak uydurmanın önemi üzerine duran Elkington, değerlerin her kesimi etkileyen en güçlü oluşumun (programlamanın) ürünü olduğunu söylemektedir. Dünya üzerindeki değerlerin değişimine ayak uyduramayan işletmeler, toplumun tiksotropik hale gelmesiyle, yıkıma uğrayabilmektedirler.
- 3) **Şeffaflık:** Uluslararası şeffaflık giderek artarken, işletme dünyasında iş dünyası düşünceleri, işletmenin öncelikleri, taahhütleri ve işletme faaliyetleri de şeffaflık kazanacak ve toplum tarafından daha yoğun bir şekilde incelenecektir. Bu şeffaflık süreci, uydu televizyonundan internete, yeni değer sistemlerinin ve farklı bilgi teknolojilerinin bir araya gelmesiyle sağlanmaktadır. Birçok geleneksel otorite biçiminin çöküşüyle beraber paydaşlar, işletmenin bugüne dek ne yaptığı, gelecekte ne yapmayı planladığına dair daha fazla bilgi talep etmektedir. Giderek artan şekilde, bu bilgiler, rakip işletmelerin performanslarının karşılaştırılması için de

kullanılmaktadır. TBL temelleri üzerine inşa edilen Küresel Raporlama İnisyatifi (GRI, Global Reporting Initiative) bu eğilimin en güçlü sembollerindedir.

- 4) **Yaşam Çevrimi Teknolojisi:** Şirketler, tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerinin çevresel, sosyal ve ekonomik etkileri hakkında veya ürünlerin transit kullanımı sonucu, faydalı ömürleri sona erdikten sonra etkileri hakkında, toplum tarafından sorgulanmaktadırlar. Sürdürülebilirlik yaklaşımına odaklanmış işletmeler, hammaddenin, nihai ürün döngüsü ve sonrası, tüm süreçlerinde geri dönüşüme ve atık yönetimine önem göstermektedirler.
- 5) **Ortaklıklar:** Şirketler, kendi aralarında veya bazı önde gelen kampanya gruplarıyla beraber, yeni ortaklık biçimleri geliştireceklerdir. İşletmelerin birbiri ile yıkıcı etki gösteren ilişkileri, başarıyı elde edebilmek adına yeni ilişkiler geliştirerek, ortak yaşam gayesine dönüşecektir. Kampanya gruplarının, aynı endüstri hatta aynı şirketle/şirketlerle aynı anda meydan okuma ve çalışma şeklinde, yeni ilişkileri söz konusu olacaktır.
- 6) **Zaman** İşletmelere dair bilgilere ve son haberlere ulaşmak, artık dünyanın bir ucundan bir ucuna, saniyeler içerisinde gerçekleşmektedir. Giderek daha fazla bilgiyle beraber, şu anki zamanın giderek genişlemesi (artması), zaman boyutunun da genişlemesini ifade eder. Sürdürülebilirlikle beraber, zaman kavramı, daha “geniş” zaman yerine, daha “uzun” zamana doğru devinim göstermektedir. Yöneticilerin, işletme stratejilerini belirlerken, rekabet etmenin ölçüğü daha uzun zamanları kapsamaktadır. Zamana dayalı bu rekabetle beraber, tam zamanında gibi tekniklerle oluşturulan platformlarda rekabet eden işletmeler, iş düşüncelerini ve iş stratejilerini planlamada “uzun zaman” boyutunda gerçekleştirilmektedirler.
- 7) **Kurumsal Yönetim** Kurumsal yönetim sayesinde, sürdürülebilirliğin etkilediği diğer altı alan yönetilmektedir. İşletme yönetim kurulu ve yöneticiler sayesinde, sürdürülebilirlik anlayışının benimsenmesi ve diğer altı sürdürülebilirlik kriterinin yönetimi ile gelecekte şirketin konumunu iyileştirmek ve şirket açısından doğru ve isabetli kararlar almak mümkündür. Ekonomik, sosyal ve çevre perspektifleri açısından denge nasıl belirlenmeli? İşletme faaliyetlerinde hangi iş neden yapılmalı? Paydaşlar ve diğer kar ortakları arasındaki denge nasıl sağlanmalı? vb. soruların cevabı ile şirketin devamlılığını sağlayacak kritik kararların, sürdürülebilir bir kurumsal yönetim ile sağlanacaktır.

1.1.1 Üçlü Performans Kavramı

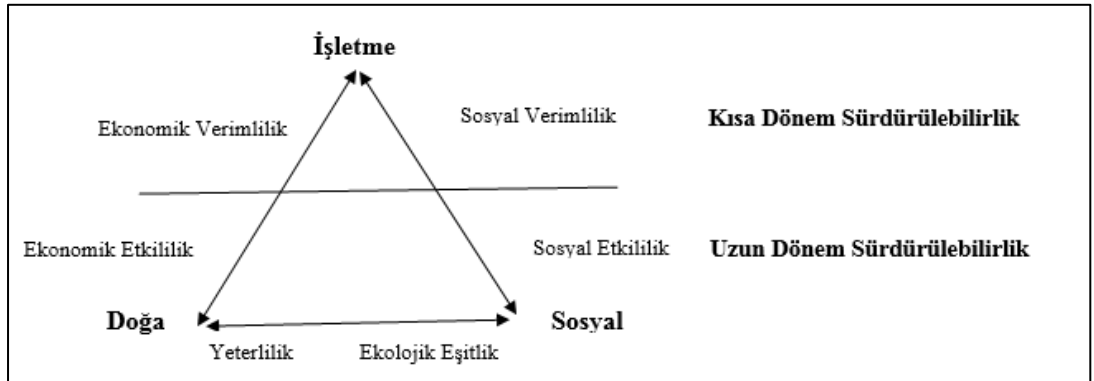
Üçlü performans kavramı John Elkington tarafından 1994 yılında ileri sürülmüştür. Triple Bottom Line olarak ifade edilen TBL kavramı, tam olarak işletmelerin sosyal, ekonomik ve çevresel kategorileri göz önünde bulundurularak, sürdürülebilir bir çevre düşüncesine dayanmaktadır. Örgütsel performansın ekonomik bakış açısı, çevresel kalite ve sosyal adalet olmak üzere, TBL kavramının üç çizgisini tanımlar (Elkington, 1997: 72). TBL'nin tam olarak açılımı üçlü alt çizgi anlamına gelmektedir. TBL kavramı ile işletmelerin karar alırken sadece kar maksimizasyonu (ekonomik) ile ilgili olmaması gerektiği aynı zamanda çevresel faktör ve sosyal faktörleri de dikkate alması gerektiği ile ilgili bir yaklaşımdır (Winkler vd., 2015: 484). TBL yaklaşımı daha fazla şeffaf ve daha geniş bir bakış açısı ile karar verme süreçlerine yardımcı bir çerçeve sağlar. TBL süreçlerine işletme içinde çalışanlar, işletme dışında dış paydaşlar gibi katılabildiklerinden, işletme hakkında bilgilenme ve diğer işletme paydaşları ile ilişkilerini de geliştirme şansına sahip olmaları söz konusudur (Roy ve Mitra, 2015: 34). Aşağıda Şekil 1'de John Elkington tarafından önerilen TBL yaklaşımı gösterilmiştir.



Şekil 1. TBL Yaklaşımının Gösterimi

TBL bakış açısına, Dyllick ve Hockerts tarafından farklı bir bakış açısı geliştirilerek; sürdürülebilirlik kavramı için üç durum ve altı kriter önermişlerdir. İşletme, doğa ve sosyal olmak üzere belirlenen üç durum TBL'yi yansıtırken, ekonomik verimlilik, ekonomik etkililik, sosyal verimlilik, sosyal etkililik, yeterlilik ve ekolojik eşitlik olarak belirlenen kriterler ise işletmeler uzun dönem ve kısa dönem olmak üzere stratejiler geliştirmek için kullanılabilir (Dyllick ve Hockerts, 2002: 136). İşletmeler açısından sürdürülebilir kalkınma, gerçek manasından çok uzaklaşmadan "kurumsal sürdürülebilirlik" kavramı ile açıklanmıştır. Dyllick ve Hockerts'e göre kurumsal sürdürülebilir işletmeler faaliyetlerini, gelecekteki var olma hallerini riske etmeden gerçekleştirmektedir. İşletmelerin çalışanları, ortakları, tedarikçi ilişkileri, müşterilerinin ihtiyaçları karşılanırken, işletmenin gelecek yıllarda faaliyet göstermesine

engel oluşturmayacak bir yapıda oluşturulmalıdır. (Dyllick ve Hockerts, 2002: 131). Bu bağlamda, sürdürülebilir kalkınma kavramının, işletme düzeyindeki hali, sürdürülebilirlik kavramı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2. Kurumsal Sürdürülebilirlik Gösterimi

Kaynak: Dyllick ve Hockerts, 2002: 141

Yukarıdaki çerçevede ekonomik verimlilik ve sosyal verimlilik kavramları, işletmenin değer yaratma, toplumsal ihtiyaçları karşılama, işletmenin yaşam kalitesini koruma ve iyileştirme, rekabetçi fiyatlı ürün ve hizmet sunma yeteneği ile ilişkilidir. Aynı zamanda sosyal verimlilik kavramı sayesinde, istihdam yaratma ve bağışlar gibi olumlu sosyal etkilerin en üst düzeye çıkarılması söz konusudur. İşletmenin mal ve hizmetleri sayesinde, olumsuz çevresel ve sosyal etkilerin azaltılması mümkündür. Bu bağlamda ekonomik verimlilik ve sosyal verimlilik kavramı, ekonomik sürdürülebilirliği arttırmak ile ilişkilidir (Dyllick ve Hockerts, 2002: 142). Üçlü alt çizgi kavramı ile hem karlılığı hem de hissedar değeri ile sosyal, insani ve çevresel sermayesi de dahil olmak üzere, şirketin değerlerinde artış gerçekleşmektedir. Sürdürülebilirlik, işletmelerin finansal tablolarına olumlu olarak yansır ancak anlamlı bir finansal tablo gibi rakamsal olarak ifadesi söz konusu değildir. Tüketici faydalarını veya topluluk faydalarını rakamsal olarak hesaplayabilmenin bir yolu henüz yoktur ve açıklaması güçtür (Weber ve Savitz, 2006: 8).

1.1.1.1 Ekonomik Sürdürülebilirlik

Ekonomik sürdürülebilirlik, işletmelerin sermayelerini koruyarak, ekonomik perspektifde kullanımı ile faaliyetlerini sürdürmesi olarak ifade edilmektedir (Nemli, 2004: 81). Kaynak temelli bakış açısına sahip firmalar, kaynaklarını etkin bir şekilde kullanarak, ekonomik sürdürülebilirliğe erişebilirler. Barney, işletmenin tüm varlıklar, yetenekler, organizasyonel süreçler, işletme nitelikleri, bilgi ve enformasyon gibi işletme kaynaklarının etkinliği ve verimliliği arttıracak şekilde, stratejilerin uygulanması halinde, işletmelerin ekonomik sürdürülebilirliğe erişebileceklerini düşünmektedir

(Barney, 1991: 101). Ekonomik olarak sürdürülebilirlik, devamlı mal ve hizmet üreten, sektörel tutarsızlıklardan uzak, üretim ve tüketim boyutu ile aşırılıklardan uzak, iç ve kamu borcu olarak borç yönetimini koruyabilen ve yönetebilen bir süreci gerektirir (Sarıkaya ve Kara, 2007: 224).

1.1.1.2 Sosyal Sürdürülebilirlik

Sosyal sürdürülebilirlik doğal kaynakların etkin ve verimli kullanılarak, boşa harcanmadan, gelecek kuşakların bugünün kaynaklarını kullanma hakkına sahip olduğu bilinci ile hareket etme düşüncesini benimsemektedir (Nemli, 2004: 26). Sosyal sürdürülebilirlik, şirketin sosyal amaçlarının, toplumun çıkarları ile uyumlu olmasını sağlayan sürdürülebilirliğin finansal olmayan bir boyutudur. Aynı zamanda, kurumsal sosyal sorumluluk öğelerini de içerir (Rezaee vd., 2019: 233-235). Sosyal açıdan ise hizmetlerin dağıtımlarında eşitlik, yeterlilik, cinsiyet eşitliği gibi kavramları göz önünde bulunduran bir sistem akla gelmelidir (Sarıkaya ve Kara, 2007: 224).

1.1.1.3 Çevresel Sürdürülebilirlik

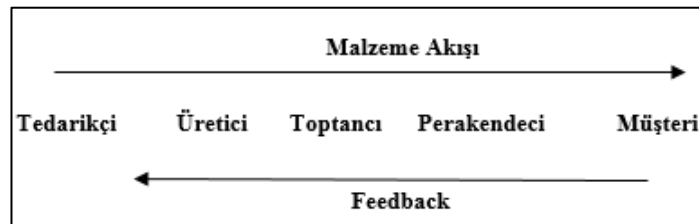
Çevresel sürdürülebilirlik, işletmelerin faaliyetlerini doğal kaynakları koruyarak, ekosistemlere zarar vermeden, tüm bu kaynakların kullanımında gereken özen ve hassasiyetin gözetilmesi bilinci ile hareket etme düşüncesini benimsemektedir (Nemli, 2004: 27). Çevresel açıdan, yenilenebilir kaynakların aşırı kullanımından uzak, yenilenemeyen kaynakların ise gerek kullanımlarının sınırlandırılması gerek ikamelerin yapılması ile kaynak israflarının önüne geçerek kaynakları koruyan bir sistem düşünülmelidir (Sarıkaya ve Kara, 2007: 224).

1.2 Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi

1900'lü yıllarda sanayileşme ile beraber Frederick Taylor'un Bilimsel Yönetim Kuramı (1911) ve Henry Gantt'ın Gantt çizelgesi (1910) gibi çalışmalar sayesinde, üretim yönetimi bir bilim haline gelmiştir. George Elton John Mayo (1924) Hawthorne Araştırmalarında, "insan ilişkileri" ifadesini kullanmıştır. Bu ifadenin otomotiv alanında kullanılmasıyla, montaj hattı araştırmalarına olan ilgi artmıştır. Henry Ford'un Ford fabrikalarına getirdiği kitle üretimi (fordist üretim) sayesinde de mükemmel ulaşımlardır (Elagöz, 2006: 44). 1960'lı yıllarda, lojistik faaliyetlerinin sağlayabileceği imkanların fark edilmesiyle beraber, tedarik zinciri sayesinde maliyetlerin nasıl azaltılabileceği ve bilişim araçlarının nasıl kullanılabilceği hususunda bir aydınlanma yaşanmıştır. 1970'li yıllara gelindiğinde Malzeme İhtiyaç Planlaması ile beraber işletmenin içinde bulunduğu tüm iç ve dış sistemlerin lojistik faaliyetlerini beraber

yürütmüşlerdir. 1980’li yıllarda, çevresel koşulların işletmeler için zorlaşması ile birlikte, küresel rekabet artmıştır. İşletmeler daha düşük maliyet ile daha kaliteli ürünler üretmek arayışındadırlar. Üretimde etkinlik ve verimliliği arttırmak üzere stratejik ortaklıkların da olduğu bir döneme girilmiştir. 1990’lı yıllara gelindiğinde, gerekli olan mal ve hizmetlerin tedarikçi işletmelerden alınmasının öneminin artması söz konusudur. İşletmeler ürünlerini doğru yer, doğru zamanda, nihai alıcısının istediği şekil ve miktarla ulaştırmanın öneminin farkına vardığı bu dönemde ve günümüzde tedarik zinciri yönetiminin önemi benimsemişlerdir (Handfield ve Nicholas, 1999: 42). Bu bakımdan, 1980’li yıllardan itibaren tedarik zincirinin yönetimine dair önemin artmış olduğu söylenebilir. Tedarik zincirinde yönetimin başarılı veya başarısız olduğu durumu, nihai tüketici belirlemektedir. Tüketicinin doğru ürünü, doğru zaman, doğru yerde ulaşabiliyor oluşu, başarının bir çeşit simgesidir (Christopher ve Towill, 2001: 234).

Tedarik zinciri yönetimi, işletmede hammadde temini ile başlayan satın alma işlemleri, üretim, üretilen ürünlerin dağıtımı, ürünlerin satışı, ürünlerin pazarlanması, müşteri hizmetleri ve tüm süreç boyunca var olan bilgi akışı gibi adımları ifade eder. Bu adımların, işletmeye fark yaratması (katma değer sağlaması) söz konusudur (Stock ve Boyer, 2009: 705). Bu bağlamda tedarik zinciri yönetimi, tedarik zincirindeki ilk üye olan tedarikçiden başlayan bu serüvenin son tüketiciye varana dek tüm ileri ve geri akışlarının kontrolü, denetimi ve yönetimi olarak ifade edilebilir. Aşağıda Şekil 3’de geleneksel bir tedarik zincirinin gösterimi mevcuttur.



Şekil 3. Geleneksel Tedarik Zinciri Yönetiminin Gösterimi
Kaynak: Chuang ve Shaw, 2000: 150

Başarılı bir tedarik zinciri yönetimi ile işletmeler, maliyetlerin azaltmak, karlılığı arttırmak, rekabet gücünü arttırmak, işletme değerini yükseltmek, pazar değişikliklerine olan duyarlılığı arttırmak, pazar payını arttırmak, müşteri hizmet verimliliğini arttırmak, talebe duyarlılığı arttırmak ve stok maliyetlerini azaltmak isterler. Aynı zamanda artan rekabet ile beraber, daha çok küreselleşen tedarik zincirlerinde üretim süreçleri dünya çapında globalleşmiştir. Bu bağlamda, tipik bir tedarik zincirinde yer alan şirket sayısında artışlar söz konusu olmaktadır. Üretilen ürünün değeri doğrultusunda,

üretimin farklı aşamalarında ortaya çıkan çevresel, sosyal ve ekonomik yükler artmaktadır (Seuring ve Müller, 2008: 1699). Bu sebeple işletmeler, etkin ve verimli tedarik zincirine, eskisine nazaran daha çok ihtiyaç duymaktadır.

Şirketlerin, tedarik zinciri yeteneklerini tanımlayan kararlar alabilecekleri beş alan vardır. Bu alanlar ürün, envanter (stok), lokasyon, ulaşım ve bilgidir. Etkili tedarik zinciri yönetimi için, öncelikle her bir bileşenin yönetimi ve bileşenlerin nasıl çalıştığının anlaşılmasını gerektirir. Tedarik zinciri yönetiminin her elemanı direkt olarak tedarik zinciri yönetimini etkileme ve belirli yetenekleri etkinleştirme becerisine sahiptir. Ürünün ne olduğu, nasıl ve ne zaman üretileceği gibi bilgiler, envanterin ne kadar yapılacağı ve ne kadar saklanacağı gibi bilgiler, ürünü ne zaman ve nasıl taşınacağına dair bilgiler, en iyi nasıl ve nereye ulaştırılacağına dair bilgiler, tedarik zinciri yönetiminin etkinliğini değiştirmektedir.

Tedarik zinciri yönetiminde alınabilecek olan kararlar, hiyerarşik olarak farklı seviyelerde yer almakla beraber bu mantalite çok seviyeli yaklaşım olarak ifade edilmektedir. Tedarik zinciri yönetimi, çok seviyeli yaklaşım bakımından ele alındığında stratejik kararlar, taktik kararlar ve operasyonel kararlar olarak incelenmektedir. Stratejik seviyede alınan kararlar, işletme için uzun vadeli getirisi olan kararlar olarak tanımlanmaktadır. İşletmenin depolama miktarları, depolama kapasiteleri, depolama yerleri, ürün akışı ile ilgili alınan kararlar, stratejik seviyede alınan kararlardandır. Taktik seviyede alınan kararlar ise ödeme, üretim, işletmenin envanter politikası, lojistik stratejileri gibi üç ay ile bir yıl arasında yeniden alınması gerekli kararları ifade etmektedir. Operasyonel kararlar ise işletmenin günlük olarak aldığı kararları tanımlamaktadır. Bunlara örnek olarak, işletmenin planlama, ürünlerin teslimatlarının zaman tahminleri, ürün yükleme ve ürün boşaltma, ürün rotalama gibi kararlar verilebilir (Karadelioğlu, 2006: 35). Rekabetin artışı ile beraber, tedarik zinciri yönetimi giderek güçleşmiştir. Günümüz rekabet dünyasında, işletmelerin tedarik zincirinde sosyal ve çevresel çerçeveyi ihmal etmesiyle beraber yaşanan kayıplar, işletmelerin hayatta kalmalarına risk teşkil etmektedir. İşletmelerin, tedarik zinciri boyunca aldıkları tüm kararlar, işletmelerin hayatta kalmalarına engel oluşturan seviyeye geldiğinde, yeni arayışlar söz konusu olmuştur. Bu bağlamda, tedarik zincirinde sadece ekonomik kaygıların dikkate alınmadığı, aynı zaman da sosyal ve çevresel kaygılara da yer verilen bir gelişim söz konusu olmuştur. Ekonomik, sosyal ve çevresel kaygıların dikkate alınarak gerçekleştirilen tedarik zinciri faaliyetleri, sürdürülebilir tedarik zinciri metodolojisinin temeli olmuştur.

İşletmelere rekabet avantajı kazandıran, sürdürülebilir tedarik zincirinin kavramsal metodolojisi hakkında en geniş çalışma Seuring ve Müller'ın 2008 yılında yapmış olduğu çalışmadır. Seuring ve Müller, sürdürülebilir tedarik zincirini "Tedarik zinciri boyunca şirketler arasındaki iş birliği, sürdürülebilir kalkınmanın üç boyutundan, yani ekonomik, çevresel ve sosyal, müşteri ve paydaş taleplerinden kaynaklanan hedefleri dikkate alarak, malzeme, bilgi ve sermaye akışlarının yönetimi" olarak tanımlamaktadır (Seuring ve Müller, 2008: 1700). Bu çalışmaya göre, sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi için, sürdürülebilir kalkınmanın üç boyutunu ihtiva eden ekonomik, çevresel ve sosyal hedefleri yerine getirirken, işletmeler aynı zamanda malzeme, sermaye ve bilgi akışını da yönetirler.

Tedarik zinciri içerisinde sürdürülebilirlik, işletmeler açısından büyük önem taşımaktadır. İşletmenin hayatta kalması ve başarısı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Teece vd.,1997: 527). Sosyal, ekonomik ve çevre faktörlerini göz önünde bulundurarak yapılan tedarik zinciri yönetimi ile en kötü ihtimal dahilinde bile kar elde ederken, sosyal veya doğal sistemlere net bir zarar vermez (Pagell ve Wu, 2009: 38). TUSIAD tarafından paylaşılan rapora göre, bir işletmenin tedarik zincirinde sürdürülebilirliğin sağlanması için gerekli yedi kıstas mevcuttur. Bu kıstaslar kararlılık gösterme, politika oluşturma, süreçleri tanımlama, tedarikçileri sınıflandırma, denetleme, iyileştirme, performans değerlendirme ve iletişim kurma olarak ifade edilebilir (Web, TUSIAD, 2020).

Kararlılık gösterme: İşletmelerin misyon, vizyon ve hedeflerini sürdürülebilir şekilde kararlaştırmasıdır. İşletmeler tüm bu süreçleri sürdürülebilir olacak şekilde revize etmelidir. Örgüt içinde veya dışında sürdürülebilirliğe karşı alınan revizelere direnç halinde, işletme yönetimi gereken özveri, çalışma ve istekliliği göstermelidir. İşletmenin çalışanları ve yöneticileri tarafından sürdürülebilirlik adına alınan kararlar sahiplenilmeli ve bu hususta kararlı olunmalıdır.

Politika oluşturma: Hedef ve stratejilere entegre edilmiş olan sürdürülebilirlik kararlarına yönelik işletme politikalarının varlığını ifade etmektedir.

Süreçleri tanımlama: Kararlılık gösteren ve sürdürülebilirlik kararlarına istinaden politikalar oluşturan işletmenin üçüncü adımı, süreçlerin düzenlenmesi ve tanımlanması olacaktır. Örneğin şirketin gerçekleştirdiği satın alma kararlarının sürdürülebilirlik açısından revizelere uğraması halidir. Şirket içinde iş bölümü ve görev tanımlamalarının düzenlenmesi ve değiştirilmesi de söz konusudur.

Tedarikçileri sınıflandırma: İşletmenin faaliyette bulunduğu tedarikçilerin kritik, risk gibi kıstaslar arasında sınıflandırılması halinde, işletme stratejik öneme sahip, çeşitli riskler anlamında düşük riskli tedarikçiler ile çalışmayı tercih etmektedir.

Denetleme: İşletme, denetleme sayesinde belirlemiş olduğu sürdürülebilir tedarik zinciri hedeflerine ulaşp ulaşmadığı hususunda bilgilere sahip olacaktır. İşletmenin çalıştığı tedarikçilerin performansları bu hususta önemlidir. Sürdürülebilirliğin gerektirdiği kriterler açısından bir denetleme söz konusudur.

İyileştirme: Denetim aşamasından sonra herhangi bir iyileştirme hali gerekli olabilmektedir. İşletmelerin, çalışılan tedarikçi açısından iyileştirme halinin gerekli olabileceği gerçeğinin bilincinde olmalıdır. Bu hususta işletmeler, tedarikçi iyileştirme programlarına direnç göstermemelidir.

Performans değerlendirme: Sürdürülebilir tedarik zinciri ölçütlerine uygunluğu ve performans değerlendirilmesi maksadıyla, tedarikçilerin performans değerlendirilmesi yapılmaktadır.

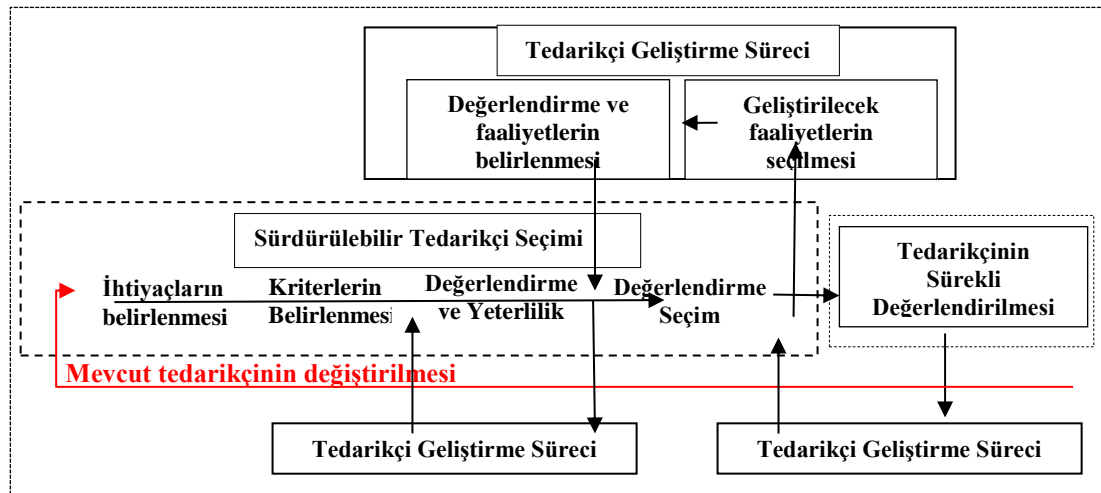
İletişim kurma: Tüm süreçler içerisinde yer alan iletişim kurma aşaması sayesinde, tüm süreçlerin etkinliği ve verimliliği artmaktadır. İletişim kaynaklarındaki eksiklik veya aksaklıkların giderilmesi, geliştirilmesi için gereken faaliyetlerin sürdürülmesi hususu önemlidir.

Sürdürülebilirliği sağlamak adına yedi kıstasın, işletme içinde etkin yönetimiyle birlikte, bu kıstaslara uygun tedarikçilerin belirlenmesi önemli bir husustur. Zimmer vd. tarafından önerilen sürdürülebilir tedarik zinciri çerçevesinde sürdürülebilir tedarikçi seçimi, tedarikçinin sürekli olarak değerlendirilmesi ve tedarikçi geliştirme süreci olmak üzere üç aşama söz konusudur (Zimmer vd., 2015: 3). Sürdürülebilir tedarikçiler seçildikten sonra, tedarikçilerin seçimden sonra izlenmesi ve değerlendirilmesi, tedarikçi seçim sürecinden sonra süregelen ve tedarikçi seçimi ile bağlantılı bir aşamadır. Sürdürülebilir tedarikçi, sürdürülebilirliğin üç boyutu dikkate alınarak, ihtiyaçlara uygunluğu ve performans iyileştirmesi için, sürekli değerlendirmeye tabi tutulmaktadır (Hervani vd., 2005: 331-334; Ragazzi vd., 2012: 420; Zimmer vd., 2015: 3).

Aşağıdaki Şekil 4'de görüldüğü üzere, tedarikçi geliştirme süreci, geliştirilecek tedarikçilerin belirlenmesi, değerlendirmesi ve gelişim faaliyetlerinin belirlenmesi adımlarını içeren bir süreçtir. Tedarikçi geliştirme programına ihtiyaç, üst yönetim tarafından belirlenmektedir. İşletmenin rekabetçi konumunu iyileştirmek ve rekabet zorluklarının üstesinden gelebilmek arzusu ile bu uygulamayı gerçekleştirmektedir.

İhtiyaç belirlendikten sonra kalite iyileştirme, maliyet azaltma, güvenilir teslimat gibi performans artırıcı bir dizi aktivite belirlenmektedir. Bu aktivitelere yönelik geliştirilen faaliyetler belirlendikten sonra uygulamaya konmaktadır (Hahn vd., 1990: 4). Tedarikçi geliştirme süreci, seçilme aşamasındaki tedarikçinin performansını değerlendirme aşamasında, seçilen tedarikçinin performansını değerlendirme aşamasında veya sürdürülebilir tedarik zincirinin performansını değerlendirme aşamasında yer almaktadır (Hahn vd., 1990: 5; Zimmer vd., 2015: 3).

Şekil 4. Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Gösterimi



Kaynak: Hahn vd., 1990: 5; De Boer vd., 2001: 79; Hervani vd., 2005: 331-334; Ragazzi vd., 2012: 420; Zimmer vd., 2015: 3

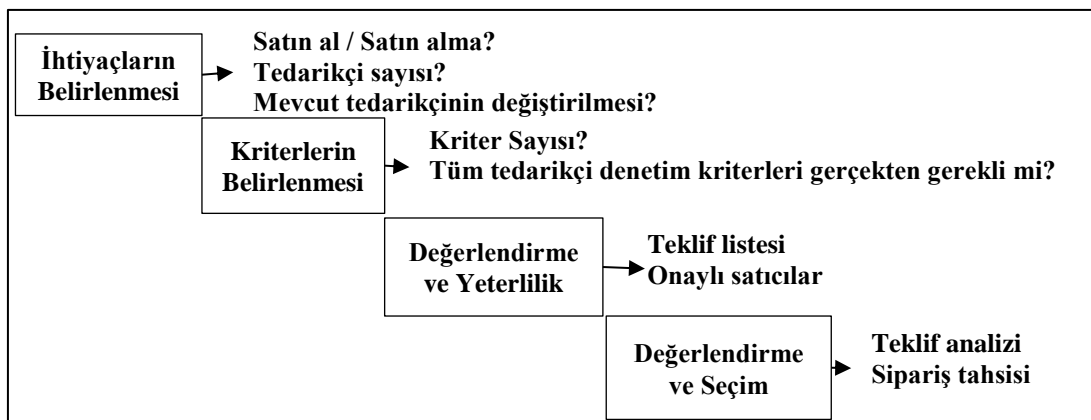
1.3 Sürdürülebilir Tedarikçi Seçim Problemi

Tedarikçi seçimi, satın alma işlevlerindeki en önemli faaliyetlerden biridir. İşletmede, satın alma kararını veren yöneticilerin en önemli endişelerinden biri, işletmenin misyon ve vizyonuna uygun, en doğru ve rekabetçi tedarikçileri aramak, onlarla etkili ilişkiler geliştirmektir. Günümüzde tedarikçi seçim süreci bir şirket için oldukça karmaşıklık gösterir ve bu seçim kararı işletme açısından oldukça önem taşımaktadır. Satın alma işlevinin artan önemi ile birlikte satın alma kararlarının da öneminin arttığı söylenmektedir. Dünya küreselleşirken ve endüstri pazarındaki rekabet hızlanırken, satın alma süreci sebebiyle, işletmeler tedarikçisine giderek daha fazla bağımlı hale gelmektedir. Müşteriler arasında tercihlerin hızla değişmesi sebebiyle, tedarikçilerin seçim süreci daha geniş kriterler bazında değerlendirilmeye tabi olmakla birlikte; işletmelerin daha hızlı bir seçim sürecine girmesini gerektirmektedir (De Boerr vd., 2001: 75). Tedarikçi seçiminin yanlış yapılması halinde doğrudan veya dolaylı

olarak ciddi sorunlarla karşı karşıya kalmak mümkündür. Bu haliyle, doğru sürdürülebilir tedarikçi seçimi bir işletmede satın alma işlevinin en mühim bileşenlerinden sadece bir tanesidir. Doğru tedarikçi seçimiyle, şirketin rekabet gücünü arttırarak, müşteri memnuniyeti gibi ulaşılmak istenen hedeflere ulaşmayı sağlayacaktır. Tedarikçi seçimi ile ulaşılmak istenen hedef ile tedarikçi uyumunun sağlandığı ve en düşük maliyetle, maksimum verim alınan bir ilişki optimal bir seçim olarak ifade edilecektir (Özbek, 2016: 65).

Etkin sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimini sağlamak için sürdürülebilir tedarikçi seçiminin önemi büyüktür. Tedarikçi seçimi yapılırken, performans değerlendirme kriterleri, sürdürülebilirlik perspektifinden faydalanılarak gerçekleştirilmektedir. Tedarikçi seçiminde sosyal, ekonomik ve çevre kriterleri dikkate alınarak gerçekleştirilen seçim, sürdürülebilir tedarikçi seçim problemi olarak ifade edilmektedir. TBL yaklaşımının sosyal, ekonomik ve çevre olmak üzere tüm çizgileri, birbiri ile uyumlu ve etkileşimlidirler, bu bağlamda aralarındaki dengenin sağlanması önemlidir (Nemli, 2004: 14).

Sürdürülebilir tedarikçi seçimi süreci, birtakım aşamalardan oluşmaktadır. Öncelikle işletmenin ihtiyaçlarının belirlenmesi gerekmektedir. İhtiyaçlara uygun kriterlerin belirlenmesinin ardından, geleneksel seçim sürecindeki değerlendirmenin yanı sıra, tedarikçi izleme ve geliştirme süreci gerçekleştirilmektedir. Tedarikçilere yönelik ön değerlendirme sonrasında, sürdürülebilir tedarikçi seçiminde dikkate alınan sürdürülebilirliğin alt boyutları açısından en iyi performansı gösteren tedarikçi seçimi yapılmaktadır (De Boer vd., 2001: 79).



Şekil 4. Tedarikçi Seçim Süreci
Kaynak: De Boer vd., 2001: 79

İşletmelerin tedarikçi seçimlerinde sürdürülebilirlik kavramını dikkate alarak seçim yapmaları hali ile seçim süreci daha fazla karmaşıklaşmaktadır. Yanlış tedarikçi

seçimi sebebiyle, işletmeye ürünlerin geri çağırılma, garanti maliyetlerin artması ve ilgili envanter ayarlamalarındaki tutarsızlıklar nedeniyle milyonlarca zarara neden olabilmektedir. İşletmenin itibarının zedelenmesi söz konusu olduğu gibi, bu sayede gelecekteki satış potansiyeli tüm bu durumlardan muhakkak etkilenecektir. Sürdürülebilir tedarikçi seçimi bu denli önemli bir karar problemi özelliği gösterirken, en doğru karar için literatürde tedarikçi seçiminde kullanılan pek çok model öngörülmüştür.

1.4 Sürdürülebilir Tedarikçi Seçim Problemi Çözüm Yöntemleri

Bu bölümde, sürdürülebilir tedarikçi seçim yöntemleri bahsedilmeden önce, temel alınan tedarikçi seçim yöntemlerine yer verilmiştir. Bu bağlamda, bölüm iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, tedarikçi seçiminde kullanılan yöntemler incelenmiştir. İkinci aşamada, sürdürülebilir tedarikçi seçiminde kullanılan yöntemlere yer verilmiştir.

1.4.1 Tedarikçi Seçim Yöntemleri

Tedarikçi seçiminde, doğruya yakın kararlar almanın bu denli mühim olması sebebiyle, daha doğru metodolojilere ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu bağlamda, yöntem çeşitliliği giderek artmaktadır. Literatürde tedarikçi seçiminde kullanılan yöntemler incelendiğinde, tedarikçi seçiminin önemli bir karar problemi olmasından ötürü, farklı sınıflandırmaların mevcudiyeti söz konusudur. Aşağıda bu sınıflandırmalardan bahsedilerek, yöntemler açıklanmaya çalışılmıştır.

De Boer vd., maliyet tabanlı, matematiksel programlama, istatistiksel, doğrusal ağırlıklandırma yöntemleri olmak üzere dört başlıkta tedarikçi seçiminde kullanılan yöntemleri sınıflandırmışlardır (De Boer vd., 2001: 81).

Sönmez tarafından gerçekleştirilen, tedarikçi seçiminde kullanılan model sınıflandırması, beş kategoride değerlendirilmiş olup, maliyet tabanlı yöntemler, matematiksel programlama metotları, istatistiksel metotlar ve çok kriterli karar verme metotlarına, yapay zekâ yöntemleri de eklenmiştir (Sönmez, 2006: 33).

Şen tarafından gerçekleştirilen, tedarikçi seçiminde kullanılan model sınıflandırması, çok kriterli karar verme yöntemleri, problem yapılandırma yöntemleri, matematiksel programlama yöntemleri ve veri işleme teknikleri olmak üzere dört kategoride değerlendirilmiştir (Şen, 2007: 43).

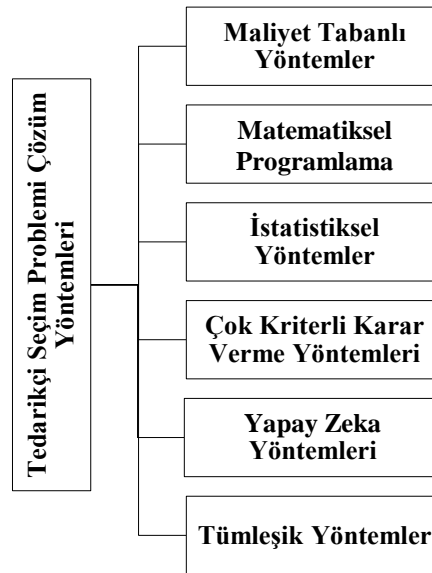
Özdemir tarafından gerçekleştirilen sınıflandırma ise maliyet tabanlı yöntemler, matematiksel programlama yöntemleri, istatistiksel yöntemler, yapay zekâ ve uzman

sistem yöntemleri, tümleşik yöntemler olmak üzere altı kategoride değerlendirilmiştir (Özdemir, 2010: 57).

Ofluoğlu ve Miran maliyeti dikkate alan yöntemler, matematiksel programlama yöntemleri, istatiki yöntemler, yapay zekâ yöntemleri ve çok kriterli karar verme yöntemleri olarak, beş grupta sınıflandırma yapmışlardır (Ofluoğlu ve Miran, 2014: 3).

Mukherjee vd. tarafından, tedarikçi seçim yöntemleri, tekli modeller ve entegre modeller olmak üzere iki kategoride değerlendirilmiştir. Tek modeller matematiksel, istatikselsel ve sinir ağları olarak sınıflandırılmıştır (Mukherjee vd., 2013: 163).

Bu çalışmada, yukarıda açıklanan sınıflandırmalar doğrultusunda, tüm yöntemlere yer verebilmek adına, tedarikçi seçiminde kullanılan yöntemler çok kriterli karar verme yöntemleri, maliyet tabanlı yöntemler, matematiksel programlama yöntemleri, istatikselsel yöntemler, yapay zekâ yöntemleri, tümleşik yöntemler olarak altı kategoride sınıflandırma yapılmıştır (Özdemir, 2007: 41).



Şekil 5. Tedarikçi Seçim Problemi Çözüm Yöntemleri

1.4.1.1 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Doğrusal ağırlıklandırma yöntemleri olarak da ifade edilen çok kriterli karar verme yöntemleri, en önemli kritere, en yüksek önem derecesine sahip olduğundan, en büyük ağırlık atanmaktadır. Tedarikçi değerlendirmesi yapılırken, her bir tedarikçi için, kriterler baz alınarak ağırlıklandırma yapılmaktadır. Kriter ağırlıkları ile kriter oranları çarpılarak, elde edilen sonuçlar rakamsal olarak sıralandıklarında, en yüksek değere sahip olan tedarikçi tüm kriterler bazında en yüksek skora sahip tedarikçi tercih edilmektedir (Özdemir, 2007: 42). Çok kriterli karar verme yöntemlerine MACBETH, AHP, ANP, TOPSIS, SWARA, EDAS gibi yöntemler örnek olarak verilebilir.

1.4.1.2 Maliyet Tabanlı Yöntemler

Maliyet tabanlı yöntemlerde işletmeler, maliyet odaklı bir bakış açısına sahip olarak, tedarikçi seçiminde, maliyet kıstasını dikkate almaktadırlar (Türkoğlu, 2016: 23). Maliyet tabanlı yöntemler, maliyet oranı yöntemi ve elde bulundurma toplam maliyeti olmak üzere, iki kategoriye ayrılmaktadırlar. Maliyet oranlama yönteminde, maliyet değeri, toplam satın alma maliyetine bölünerek, işletmenin belirlemiş olduğu fiyat ile çarpılması ile değerlendirilmektedir. Elde bulundurma toplam maliyeti yönteminde ise elde bulundurma maliyeti dikkate alınmaktadır. Elde bulundurma maliyeti, tedarik konusu ürünlerin demode olma riski, depolama maliyeti, vergi ve sigorta masrafları, bozulacak bir ürün ise bozulma maliyeti, kırılma ve çalınma durumları gibi bileşenleri içermektedir. Sonuç olarak her iki yöntemde de en düşük maliyete sahip tedarikçi tercih edilmektedir.

1.4.1.3 Matematiksel Programlama Yöntemleri

Tek ve çok amaçlı olmak üzere, iki kategoriye ayrılan matematiksel programlama yöntemleri, sübjektifliği ortadan kaldırıp, objektif karar vermek üzere geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu sebeple, nicel verilere sahip kriterler değerlendirilmektedir. Karar verici, bu yöntemde, probleme yönelik amaç fonksiyonu geliştirerek çözüm aramaktadır (Bayrak vd., 2007: 55). Amaç fonksiyonu, işletmenin faydasına ise maksimize ya da işletmenin maliyeti gibi bir unsur ise minimize olarak; tek amaçlı model veya çok amaçlı model şeklinde geliştirilebilir. Amaç fonksiyonunun tek amaçlı olması, amaç fonksiyonunun tek kriterli oluşunu, amaç fonksiyonunun çok amaçlı olması çok kriterli oluşunu ifade etmektedir (Lee vd., 2001: 307). Tek amaçlı modellere örnek olarak, doğrusal programlama ve karma tam sayılı programlama örnek verilebilirken; çok amaçlı modellere örnek olarak, çok amaçlı programlama, hedef programlama verilebilir.

1.4.1.4 İstatistiksel Yöntemler

İstatistiksel yöntemler, tedarikçilere yönelik verilerin eksik olduğu veya dilsel değişkenlerin varlığı durumunda kullanılan bir modeldir (Paksoy, 2010: 30; Türkoğlu, 2016: 23). Çok fazla tedarikçinin mevcut olduğu seçim problemlerinde, ön analiz sayesinde, seçim sürecinin kolaylaşmasını sağlayan istatistiksel yöntemler, gerçekleştirilen ön analiz sayesinde hem ucuz hem de hızlı karar alınmaktadır (Özdemir, 2007: 55).

1.4.1.5 Yapay Zekâ Yöntemleri

Tedarikçi seçim probleminin karmaşık oluşu söz konusuysen, sürdürülebilir tedarikçi seçimi problemi kriterleri ekonomik, sosyal ve çevresel perspektifte değerlendirmek, seçimin daha fazla karmaşıklaşmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda, doğru metodolojileri araştırmak ve uygulamak kaçınılmaz hale gelmiştir. Yapay zekâ yöntemleri ile gerçekleştirilen tedarikçi seçimi problemlerinde, problemi kolaylaştırması, hızlı olması, ucuz olması ve az bilgi ile doğruya yakın sonuçlar almak söz konusudur (Göztepe, 2010: 4).

1.4.1.6 Tümüleşik Yöntemler

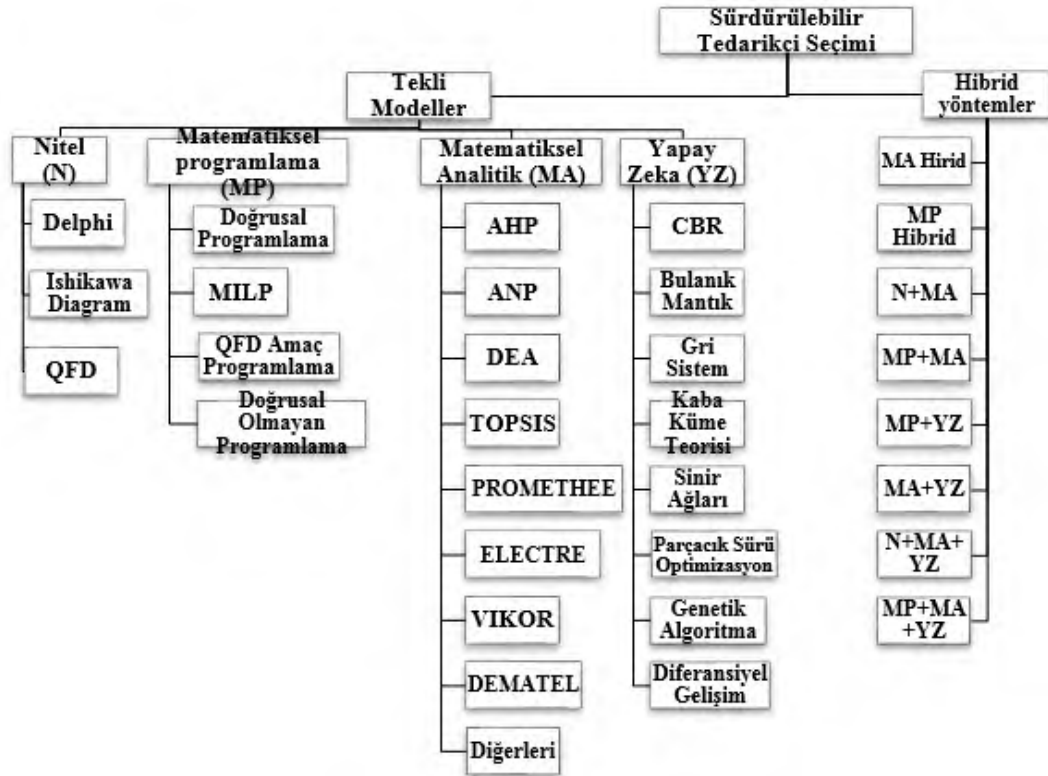
Tümüleşik yöntemler, birden çok yöntemin bir arada kullanılarak, yöntemlerin dezavantajlarını gidermek, avantaj elde etmek amacıyla geliştirilen metodolojilerdir (Özdemir, 2010: 59). Hibrit yöntemler olarak da ifade edilmektedir. ANFIS yöntemi tümleşik bir yöntemdir.

1.4.2 Sürdürülebilir Tedarikçi Seçim Yöntemleri

Günümüz dünyasında, başarının anahtarı ekonomik, sosyal ve çevresel perspektiflerden başarı sağlamak ile mümkündür. Küresel tedarik zincirlerini etkin bir şekilde yönetmenin güç olduğu günümüz rekabet dünyasında, işletmeler sürdürülebilir ve esnek bir tedarik zincirine sahip olarak, varlıklarını sürdürmek durumundadırlar. İşletmelerin, sürdürülebilirlik anlayışına sahip olması ve ekonomik, sosyal ve çevresel hususlarda da tedarikçileri ile iş birliğinin önemi oldukça büyüktür. İşletmeler açısından en doğru sürdürülebilir tedarikçi seçmek, başarıya ulaşmakta kritik bir karardır. Önemli bir kritik karar olan, sürdürülebilir tedarikçi seçim problemine çözüm aramak adına, pek çok yöntem geliştirilmiştir.

Literatür incelendiğinde, Chen tarafından sürdürülebilir tedarikçi seçiminde 2000-2008 yılları arasında kullanılan en popüler yöntemler incelenmiş; tekli ve çoklu (hibrit) modeller olmak üzere iki kategoride değerlendirilmiştir (Chen, 2011: 1653). İlk olarak, Chen tarafından düzenlenen sürdürülebilir tedarikçi seçim yöntemleri sınıflandırması, Kannan vd. (Kannan vd., 2013: 357) ve Brandenburg vd. (Brandenburg vd., 2014: 304) tarafından geliştirilmiştir.

Kaynak sağlama açısından ise, tek kaynak kullanımı ve çok kaynak kullanımı olmak üzere, iki tür seçim problemi söz konusudur. Tek kaynak kullanımı, bir tedarikçinin seçimi ile belirli bir ürün için tüm ihtiyaçların, tek bir tedarikçi ile karşılanması durumudur. Çoklu kaynak kullanımı ise, işletmenin birden fazla tedarikçi ile ihtiyaçlarını karşılaması durumudur (Ghosdypour ve O Brien, 1998: 198).



Şekil 6. Sürdürülebilir Tedarikçi Seçim Yöntemleri

Kaynak: Chen, 2011: 1653; Kannan vd., 2013: 357; Brandenburg vd., 2014: 304

1.5 Literatür Araştırması

Literatür araştırması iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde ANFIS metodu ile ilgili literatür araştırması sonuçlarına; ikinci bölümde ise YSA metodu ile ilgili literatür araştırması sonuçlarına yer verilmiştir.

1.5.1 Tedarikçi Seçiminde ANFIS Yöntemi

Literatür araştırmasının ANFIS yönteminden faydalanılarak, tedarikçi seçimi ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. İncelenen çalışmalar, kısaca açıklanacak, tablo halinde özetleri gösterilmiştir.

Güneri vd. (2011), çalışmalarında tedarikçi girdi seçimi ve tedarikçi seçimi problemi için ANFIS tabanlı bir yöntem önermişlerdir. Yöntem, bir tekstil firmasında gerçekleştirilmiş olup, öncelikle tedarikçi kriter seçimi ANFIS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, seçim sonuçları çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile test edilmiştir. ANFIS yönteminin, çoklu regresyon yönteminden daha iyi performans gösterdiği analiz edilmiştir.

Damdhani vd. (2013), çalışmalarında tedarikçi seçimi için ANFIS ve hedef programlamaya (FGP- Fuzzy Goal Programming) dayalı hibrit bir yaklaşım önermişlerdir. ANFIS yöntemi ile dört ana kriter arasındaki ilişkiler dikkate alınarak,

uzman deneyimlerine dayalı olarak tedarikçilerin faydalarını elde etmişlerdir. İkinci aşamada, hedeflere ve model kısıtlamalarına göre FGP modeli uygulanmıştır.

Asgari ve Abbasi (2014), çalışmalarında Delphi yöntemi ile en önemli kriterleri belirleyerek, ANFIS yöntemi ile seçilen 60 ürün arasından en iyi tedarikçiyi seçmişlerdir. Elde edilen sonuçlar yapay sinir ağı ile analiz edilmiştir. ANFIS yöntemi, YSA yöntemine göre, daha iyi performans göstermiştir.

Khezirimotlagh vd. (2014), çalışmalarında her bir tedarikçinin en iyi teknik verimlilik puanını hesaplamak için Kourosch ve Arash Modeli (KAM) uygulanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise ANFIS modeli uygulanacak en iyi tedarikçi performansı tahmin edilmiştir.

Aksoy vd. (2014), çalışmalarında stokastik talep ile stratejik tedarikçi seçimi için çok dönemli dinamik bir karar verme yaklaşımı sunmuşlardır. Uygulanılan yöntemde, ANFIS ile bulanık mantık tabanlı dinamik stratejik tedarikçi seçim sisteminin karar vericinin (alıcı) stratejik tedarikçiyi daha etkili ve basit bir şekilde seçmesine yardımcı olabileceğini göstermiştir.

Özkan ve İnal (2014), çalışmalarında bulanık çok kriterli karar verme için sinir ağları ve ANFIS modelleri, tedarikçi değerlendirme ve seçim problemi çözümünde çok kriterli karar verme için karşılaştırmıştır. Golmohammadi (2011) tarafından gerçekleştirilmiş çalışmanın deneysel verilerini kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, YSA ve AHP ile elde edilmiş, bulanık YSA modeli ile geliştirilen ANFIS modeli karşılaştırılmıştır. ANFIS modelinin daha düşük hata ile tedarikçi performansını tahmin ettiği analiz edilmiştir.

Tavana vd. (2016), çalışmalarında, yöneticilere tedarikçi değerlendirme süreçlerinde yardımcı olmak için hibrit bir ANFIS-YSA modeli önermiştir. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi ile veri kümesini topladıktan sonra, katkısı çok olan kriterleri belirlemek adına ANFIS yöntemi kullanılmıştır. Tedarikçi performanslarını değerlendirmek, tahmin etmek ve sıralamak için Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) kullanılmıştır.

Asgari vd. (2016), çalışmalarında, yöneticilere tedarikçi değerlendirme süreçlerinde yardımcı olmak için ANFIS ve FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) -FGP (Fuzzy Goal Programming) modeli önermişlerdir. Kriterlerin belirlenmesi için Bulanık Delphi (FDM- Fuzzy Delphi Method yönteminden yararlanmışlardır. Tedarikçilerin seçimi için ANFIS yöntemi ve FAHP ve FGP yöntemleri bütünleşik

olarak kullanılmıştır. Daha sonra, yöntemler karşılaştırılmıştır. ANFIS yönteminin, FAHP-FGP yöntemlerine göre, daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir.

Khaldi ve Chiheb (2017), çalışmaları, DEA (Data Envelopment Analysis – Veri Zarflama Analizi) ile birlikte ANFIS kullanmanın fizibilitesini araştırmak, tedarikçilerin performansını ölçmek ve tahmin etmek üzere bir çalışmadır. DEA' nın tedarikçi değerlendirme sürecinde yöneticilere yardımcı olmak ve tedarikçilerin sürekli bir kontrol sistemini sürdürmek için ANFIS yöntemini nasıl tamamlayabileceği konusuna değinilmiştir. Uygulanabilirliğini belirtmek için karar verme durumlarında, önerilen model sağlık tedarik zinciri içinde bir vaka çalışmasında uygulanmıştır. DEA, seçilen karar verme birimlerinin (Decision Making Units, DMU) verimlilik puanlarını değerlendirmek için kullanılmıştır. Bundan sonra, DEA sonuçlarına dayanarak, ANFIS tedarikçilerin verimlilik puanlarını tahmin eder. Sonunda, sırayla modelin doğruluğunu analiz ederek, önerilen DEA-ANFIS çerçevesinden elde edilen sonuçlar istatistiksel göstergeler kullanılarak değerlendirilmiştir. Daha sonra DEA-YSA modeli kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Khaldi vd. (2019), çalışmalarında tedarikçi performansını değerlendirmek ve tahmin etmek için ANFIS- PSO (Particle Swarm Optimization – Parçacık Sürü Optimizasyonu) ve ANFIS- GA (Genetic Algorithm- Genetik Algoritma) ile birlikte DEA kullanmanın fizibilitesini araştırmışlardır. Seçilen tedarikçilerin verimlilik puanlarını değerlendirmek için DEA-BCC uygulanmıştır. DEA kalıplarını öğrenmek ve görünmeyen tedarikçilerin performansını tahmin etmek için ANFIS- PSO ve ANFIS- GA uygulanmış ve karşılaştırılmıştır.

Okwu ve Tartibu (2020), çalışmalarında, sürdürülebilir tedarikçi seçimi için TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) ve ANFIS yöntemlerini bütünleşik olarak uygulanmıştır. Karar vericilerin tedarikçilerin sürdürülebilirlik kriterlerine göre kararları ve elde edilen bilgiler neticesinde TOPSIS yöntemi ile veriler elde edilip ANFIS yöntemi ile seçim yapılmıştır.

Tablo 2. ANFIS Yöntemi Literatür Araştırması

Yıl	Yazar(lar)	Çalışma Adı	Çalışma Yöntemi
2020	Okwu ve Tartibu	“Sustainable Supplier Selection in the Retail Industry: A TOPSIS- and ANFIS-Based Evaluating Methodology”	TOPSIS, ANFIS
2019	Khalidi vd.	“Performance Prediction of Pharmaceutical Suppliers: Comparative Study Between DEA-ANFIS-PSO and ANFIS-GA”	DEA, ANFIS, PSO, GA
2017	Khalidi ve Chiheb	“Prediction of Supplier Performance: A Novel Dea-Anfis Based Approach”	DEA, ANFIS
2016	Asgari vd.	“Comparison of ANFIS and FAHP-FGP Methods For Supplier Selection”	ANFIS, FAHP-FGP
2016	Tavana vd.	“A Hybrid Intelligent Fuzzy Predictive Model With Simulation For Supplier Evaluation and Selection”	YSA, ANFIS
2014	Özkan ve İnal	“Comparison of Neural Network Application For Fuzzy and ANFIS Approaches for Multi-Criteria Decision Making Problems”	ANFIS
2014	Aksoy vd.	“Dynamic Strategic Supplier Selection System With Fuzzy Logic”	ANFIS
2014	Khezirimotlagh vd.	“Supplier Selection Under Fuzzy Environment: A Hybrid Model Using KAM in DEA”	KAM, ANFIS
2014	Asgari ve Abbasi	“Supplier Selection Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Fuzzy Delphi”	ANN, ANFIS, BULANIK DELPHI
2013	Damdhani vd.	“A Two-Stage Approach Based on ANFIS and Fuzzy Goal Programming For Supplier Selection”	FGP, ANFIS

1.5.2 Tedarikçi Seçiminde YSA Yöntemi

Literatür araştırmasının ikinci bölümünde, YSA yönteminden yararlanılarak tedarikçi seçimi ile ilgili gerçekleştirilmiş çalışmalar incelenmiş, çalışmalar kısaca açıklanarak tablo halinde özetleri gösterilmiştir.

Lau vd. (2006) çalışmalarında, tedarikçi seçimi için, YSA ve genetik algoritma (GA) yöntemleri ile hibrit bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. YSA metodu ile tedarikçi performansları değerlendirilmiştir. GA metodu ile en doğru tedarikçi kombinasyonları tespit edilmiştir.

Çelebi ve Bayraktar (2008) çalışmalarında, tedarikçilere yönelik eksik veri sebebiyle, YSA ve veri zarflama analizi (VZA) metotlarını kullanarak hibrit bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Golmohammadi vd. (2009) çalışmalarında, tedarikçi seçimine dayalı bir YSA modeli geliştirmişlerdir. Nitel ve nicel kriterlere göre tedarikçilerin performans geçmişini değerlendirilmede dikkate alınarak, GA algoritması kullanılarak, başlangıç ağırlıkları belirlenmiş, ardından YSA modeli ile gelecekte de karar verici yargısına ihtiyaç duymadan, tedarikçi seçiminin yapılabileceği bir model geliştirilmiştir.

Türer vd. (2009) çalışmalarında, tedarikçi seçim süreci için nitel ve nicel kriterleri içeren, YSA modeli geliştirmişlerdir.

Luo vd. (2009) çalışmalarında, Radyal Tabanlı Fonksiyon (RTF) ve YSA metotları ile hibrit bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Geliştirdikleri model sayesinde hem nitel hem de nicel kriterlere karşı değerlendirilmiştir.

Wu (2009) çalışmasında, tedarikçi performansını tahmin etmek için veri zarflama analizi, karar ağaçları (Decision Tree -DT) ve YSA modelleri ile hibrit bir çalışma gerçekleştirilmiştir. İki aşamadan oluşan çalışmada, ilk aşamada VZA uygulanmıştır ve tedarikçiler elde edilen puanlara göre, verimli veya verimsiz kümeler olarak sınıflandırılmıştır. İkinci aşamada, DT ve YSA modelleri geliştirilmiştir.

Kuo vd. (2010) çalışmalarında, YSA, DEA, ANP yöntemleri tedarikçi seçimi gerçekleştirmişlerdir. Delphi yöntemi ile yeşil tedarikçi kriterleri tanımlanmış, ANP yöntemi ile ağırlıklar belirlenmiştir. Daha sonra ANN ve ANP yöntemi, DEA ile birlikte geliştirilerek, model oluşturulmuştur. Geliştirilen ANN-MADA, ANN-DEA, ANP-DEA modelleri, geliştirilen YSA modeli ile test edilmiştir. Sonuç olarak, ANN-MADA analizi daha etkili olarak bulunmuştur.

Gupta (2015) çalışmasında, otomobil sektöründe tedarikçi seçimi için YSA ve GA modellerinden oluşan hibrit bir yöntem geliştirmişlerdir.

Ishak ve Wijaya (2015) çalışmalarında, otomobil parçaları üreten bir imalat şirketinde, hammadde tedariki için, tedarikçileri çok katmanlı algılayıcı modeli ile sınıflandırmışlardır. YSA tedarikçi seçiminde kullanılan kriterler kalite, teslimat, fiyat, garanti ve şikâyet hizmetleri kriterleri olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen YSA modelinin sınıflandırma doğruluğu %85 olarak analiz edilmiştir.

Bahadori vd. (2017) çalışmalarında, YSA ve bulanık VIKOR metotlarını kullanarak en iyi tedarikçiyi seçmek için model geliştirmeyi amaçlamışlardır. Kriterlerin

ağırlıkları geliştirilen YSA modeli ile belirlenirken, bulanık VIKOR yöntemi ile tedarikçi seçim modeli geliştirmişlerdir.

Wang (2020) çalışmasında, tedarikçi değerlendirme ve seçim için geri yayımlı YSA modeli geliştirmiştir

Gegovska vd. (2020) çalışmalarında, çok kriterli karar verme yöntemleri ve YSA yöntemi ile hibrit bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, imalat firmasında, anket yöntemi ile elde edilen verilen çok kriterli karar verme yöntemleri, YSA yöntemi tedarikçi seçimi gerçekleştirilmiştir. FTOPSIS, FELECTRE, YSA yöntemleri aynı tedarikçiyi, en yüksek skora sahip tedarikçi olarak belirlerken, FAHP yöntemi ile aynı tedarikçi üçüncü sırada olarak analiz edilmiştir.

Tablo 3. YSA Literatür Araştırması

Yıl	Yazar(lar)	Çalışma Adı	Çalışma Yöntemi
2020	Wang	Supplier Evaluation and Selection Based on BP Neural Network	YSA
2020	Gegovska vd.	Green Supplier Selection Using Fuzzy Multiple-Criteria Decision-Making Methods and Artificial Neural Networks	FAHP, FTOPSIS, FELECTRE, YSA
2019	Ishak ve Wijaya	Rubber Spare Parts Supplier Selection Model Using Artificial Network: Multi-Layer Perceptron	YSA
2017	Bahadori vd.	A Supplier Selection Model for Hospitals Using a Combination of Artificial Neural Network and Fuzzy VIKOR	BULANIK VIKOR, YSA
2015	Gupta	Supplier Selection Using Artificial Neural Network and Genetic Algorithm	YSA, GA
2008	Çelebi ve Bayraktar	An Integrated Neural Network and Data Envelopment Analysis for Supplier Evaluation Under Incomplete Information	YSA, VZA
2009	Golmohammadi vd.	Supplier Selection Based on a Neural Network Model Using Genetic Algorithm	YSA, GA
2009	Türer vd.	Tedarikçi Değerlendirme Süreci İçin Bir Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı: Gıda Sektöründe Bir Uygulama	YSA
2009	Luo vd.	Supplier selection in agile supply chains: An information-processing model and an illustration	YSA, RTF
2009	Wu	A hybrid model using DEA, decision tree and neural network	YSA, VZA
2010	Kuo vd.	Integration of Artificial Neural Network and MADA Methods for Green Supplier Selection	YSA, VZA, ANP
2006	Lau vd.	A Performance Benchmarking System to Support Supplier Selection	YSA, GA

İKİNCİ BÖLÜM

ADAPTİF AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS)

Bu bölümde, Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) metodu ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu bağlamda, ANFIS yöntemi, yapay sinir ağının dezavantajlarını, bulanık mantık sistemi ile gidermeyi amaçlayan hibrit-sinirsel bulanık sistem olması sebebiyle, öncelikle bulanık mantık kavramı açıklanarak bulanık küme teorisi, üyelik fonksiyonları, bulanık sayı ve bulanık çıkarım sistemine değinilmiştir. Daha sonra, insan beyninin öğrenme fonksiyonunu taklit eden yapay sinir ağı sistemine değinilmiştir. Yapay sinir ağı yapısı ayrıntılı olarak incelenerek, yapay sinir ağı modellerinden bahsedilmiştir. Son olarak, hibrit-sinirsel bulanık sistemlerden olan ANFIS yöntemi açıklanmıştır. Bölüm sonunda, uygulamada kullanılacak performans göstergelerine yer verilmiştir.

2.1 Bulanık Mantık

1920 yılında, Polonyalı mantıkçi filozof Lukasiewicz tarafından üçüncü bir ek doğruluk değeri geliştirmek amaçlanmıştır. Lukasiewicz, “mümkün” değeri için üçüncü, ek bir doğruluk değeri kullanmak ve bu şekilde “şu gerekli” ve “bu mümkün modalitelerini modellemek üzerine çalışmıştır. Modal mantığa yönelik amaçlanan uygulama gerçekleşmese bile, araştırmalar sonucu Lukasiewicz sistemleri ve bu sistemlerle ilgili bir dizi teorik sonuçlara ulaşılmıştır. 1921 yılında Lukasiewicz’in yaklaşımına paralel, Emil L. Post tarafından ek doğruluk derecelerinin temel fikri ortaya atılmıştır. Kısaca bahsetmek gerekirse, P_a değeri için $a \geq 2$, W_a doğruluk derecesi setine sahiptir. Lukasiewicz önermenin üçüncü değerine belirsizliği (mümkünü) almıştır (Gottwald, 2005: 12). Post mantık olarak tanımlanan bu devrimden sonra, Lukasiewicz ve Alfred Tarski beraber Lukasiewicz – Tarski olarak tanımlanan bir notasyon (yazım tarzı) çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Bu notasyonda işlemler, parantez kullanmadan yazılabilir. LT notasyonu olarak ifade edilen bu yazım şekli, önermeler uluslararası kabul görmüş birer sembol ile ifade edilebilirler (Nidditch, 1960: 35). 1932 yılında Gödel, sezgiselci mantığı birçok hakikat derecesi açısından anlamaya çalışmıştır. Sezgiselci mantığın, sadece çok sayıda doğruluk derecesine sahip karakteristik bir mantıksal matrise sahip olmadığını ortaya çıkarmıştır. 1936 yılında Jaskowski, sezgisel mantık için sonsuz değerli karakteristik bir matris inşa etmiştir. Gödel ve Jaskowski’nin çalışmaları sezgisel ve çok değerli mantığın karşılıklı ilişkilerini açıklayan, mantıksal olarak geçerli formüller kümesi ve mantıksal olarak geçerli sezgisel mantık formülleri

ile çakışan tek bir önermeli çok değerli sistemin mevcut olmadığını kanıtlamıştır (Gottwald, 2005: 9). Lukasiewicz önermenin üçüncü değeri olarak belirsizliği alırken; Bocvar, üçüncü değeri “anlamsız” olarak belirlemiştir (Haack, 1980: 207). Kleen ise bu değeri “tanımlanmamış” olarak belirlemiştir. Lukasiewicz’ yaptığı dört değerli ve beş değerli mantık araştırmalarına göre, sonsuz değerli mantığın türetilmesi mümkündür (Bai ve Wang, 2001: 62). 1900’lü yıllarda başlayan iki değerli Aristo mantığının, üç değerli mantığa evrilmesiyle yaşanan bu süreçleri takiben, 1900’lü yılların sonunda, Lütfi Rahim Oğlu Askerzade tarafından, insan düşünüş sisteminin, sayısal değerlerin kullanılarak insan ifadesinin yetersiz oluşu düşüncesiyle, mantık kavramına puslu bir boyut getirilmiştir.

Bulanık mantık, 1965 yılında Berkeley’deki California Üniversitesi’nde bilgisayar bilimleri profesörü olan Lotfi A. Zadeh tarafından geliştirilmiştir. Zadeh tarafından bulanık mantık, kesin olmayan verilerin kullanılması gereken ya da dağınık kategorilerin kullanılarak, genel bir şekilde formüle edilmiş kuralların kullanılması gereken problemlerin çözümü için geliştirilmiştir (Rojas, 1996: 289).

Bulanık mantık, doğası gereği, kesin olarak tanımlanmamış verilere modelleme imkânı yaratmaktadır. Yaklaşık akıl yürütme biçimindeki bulanık teknikler, güçlü akıl yürütme yeteneklerine sahip karar desteği ve uzman sistemler sağlamaktadır. İnsan düşünce sürecindeki bulanıklığın izin verilebilirliği, düşünce işleminin ardındaki mantığın çoğunun geleneksel iki değerli mantık veya hatta çok değerli mantık değil, bulanık gerçekler, bulanık bağlantı ve bulanık çıkarım kuralları ile mantık olduğunu ifade etmektedir (Bai ve Wang, 2001: 62).

Zadeh, insanların düşüncelerinin büyük kesiminin bulanık olduğunu ifade etmiştir (Zadeh, 2008: 2752). Bulanık olarak ifade edilen söylem, insan bilgisi ile olayın tam olarak kavranmasının mümkün olmayışı ile ilgilidir (Şen, 2004: 7). Klasik mantık sistemleri, iki değerli mantığa (Boolean) dayanır. Herhangi bir önerme doğru veya yanlış olabilir. Ancak zayıf, uzun, kısa gibi kesin olmayan ifadelerin analizlerinin yapılması dezavantajlıdır. Bu sebeple, insan düşünüş sistemini, iki değerli Boolean mantık ile yeterli açıklanamamaktadır. Bu durumu, Epimenides paradoksu ile açıklamak mümkündür. Giritli bir filozoftur. Yalancı paradoksu veya Giritli paradoksu olarak anılan bu paradoks “Tüm Giritliler yalancıdır.” şeklindedir. Eğer bu önerme doğru ise, kendisi Giritli olan Epimenides’in yalancı olması gereklidir. Eğer Epimenides yalancı ise, önerme doğru olmaktadır. Önermenin hem doğru hem de yanlış olması söz konusu değildir. Üçüncü bir doğruluk değerine ihtiyaç söz konusudur. Kaçınılmaz olan

belirsizlik ve kesinlik durumlarında kullanılabilecek başka yöntemler mevcuttur (Baykal ve Beyan, 2004: 102). Belirsizlik ortamı genelde, gerçekleşecek durumların olasılıklarının kesin olarak bilinmediği durumlarda ortaya çıkmaktadır. Karar verici olayları ve olayların asıl sonuçlarını ön göremez ve bilinmezse, oluşabilecek sonuçların olasılık değeri atanmayacaktır.

Belirsizlik pek çok şekilde ortaya çıkabilmektedir. Bulanık kümelerin kesin olmayan sınırlarından dolayı yaşanan, uygun alternatif kümelerin boyutlarıyla ilgili olan hatalar, çeşitli alternatifler arasındaki çatışmaları ifade eden anlaşmazlıklar belirsizliğin doğasında vardır (Klir ve Wierman, 1998: 43). Belirsizlik rastgelelik ve bulanıklık olmak üzere ikiye ayrılır. Rastgelelik, olayın oluşundaki kesin olmayışlığı ifade eder. Hangi dereceye kadar olduğuyorsa bulanıklıktır. Karar verme süreçlerinde, niteliksel ve niceliksel olmak üzere iki çeşit bilgi bulunmaktadır. Niceliksel bilgiler, matematiksel yöntemlerle çözümlenebilirken; niteliksel bilgilerin (uzman bilgisi, teknik bilgi vb.) matematiksel problemlerle çözümlenmesi olanaksızdır (Mendel, 2001: 2-3). Bulanık mantık sayesinde, belirsizlik durumlarında, eksik veri ile işlem yapılabilir. Günlük hayatın akışına uygun, belirsiz, değişken, karmaşık, net tanımlanmamış sistemlerin kontrolüne basit çözümler getirir. Uzman görüşleri ve uzman tecrübeleri de modele dahil edebilmek mümkündür. Sayısal olmayan, düşünsel verilerle de işlem yapılabilir (Yılmaz ve Arslan, 2005: 514).

2.1.1 Bulanık Küme Teorisi

Bulanık mantık, klasik küme teorisini de kapsayan bulanık küme teorisine dayanır (Dernoncourt, 2013: 5). Bulanık mantık, klasik mantığın genelleştirilmiş halidir, denebilir. Klasik küme teorisinde bir eleman, o kümeye ya aittir ya da ait değildir. Aitlik, “üyelik” olarak ifade edilirken, klasik kümelerde kısmi üyelik olmaz. Klasik kümelerde, bir öge eğer bir kümeye ait ise, aitliği simgeleyen üyelik derecesi 1’dir. Eğer bir öge, bir kümeye ait değil ise, üyelik derecesi 0’dır. Bulanık küme teorisinde kısmi üyelik söz konusudur. Bir öge her iki kümeye de ait olacağından ötürü üyelik fonksiyonu 0 ve 1 arasında değişecektir (Kasabov, 1996: 166). Aşağıdaki Şekil 7’de görüldüğü üzere klasik küme teorisinin, bulanık küme teorisinin alt kümesi olduğunun gösterimi mevcuttur. Bulanık kümeler, klasik kümeleri kapsamaktadır.

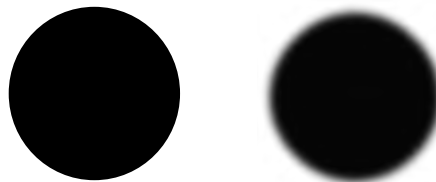


Şekil 7. Klasik Küme ve Bulanık Küme

Bulanık küme, kümede farklı derecelerde üyeliğe sahip öğeleri içeren bir kümedir. Bu fikir, klasik (net) kümelerle tezat oluşturur, çünkü klasik bir kümenin üyeleri, üyelikleri bu kümede tam olarak yer almadıkça veya tamamen olmadıkça üye olmaz (yani, üyeliklerine bir değer atanır). Bulanık kümedeki öğeler, üyeliklerinin tamamlanmasına gerek olmadığı için, aynı evrendeki diğer bulanık kümelerin üyeleri de olabilir. Bulanık kümenin elemanları, bir fonksiyon-teorik form kullanılarak bir üyelik değerleri evrenine eşleştirilir (Ross, 2010 :34).

Bulanık küme teorisinde ise kümedeki her eleman, klasik küme teorisinde olduğu gibi “elemanı” ya da “elemanı değil” olarak değil, “bir dereceye kadar elemanıdır” şeklinde üyeliği ifade edilmektedir. Bulanık küme, bulanık üyelik derecesinde öğeleri olan bir topluluktur. Bulanık kümeler, kümedeki elemanlarının üyelik derecesine göre sıralaması ya da üyelik fonksiyonları tanımlamak suretiyle gösterilirler (Baykal ve Beyan, 2004: 104-105).

Bulanık kümede üyelik dereceleri geçişleri keskin olmayan, sürekli şekilde gerçekleşmektedir. Öğeler bulanık kümeye kısmi derecede aittir. Klasik kümelerde fonksiyon, $\mu(X): E \rightarrow \{0,1\}$ şeklinde ifade edilir (Mendel, 2001: 25). Bulanık kümelerde ise $\mu(X): E \rightarrow [0,1]$ olarak tanımlanır (Kasabov, 1996: 167). Aşağıda Şekil 8’de görüldüğü üzere, bulanık kümelerin geçişlerinin keskin olmayan, puslu ifadesi ve bunun aksine klasik kümelerin geçişlerinin keskin, belirli olduğunun gösterimine yer verilmiştir.



Şekil 8. Klasik Küme ve Bulanık Küme Gösterimi

Üyelik fonksiyonu, bulanık kümelerin çok önemli bir bileşenidir. Bulanık kümelerdeki işlemler, üyelik fonksiyonları ile tanımlanmaktadır. Aşağıda bulanık kümelerdeki işlemlerden bahsedilmiştir (Jantzen, 1998: 8). A ve B bulanık kümeleri,

karşılıklı evrenler olduğunu varsayalım. A ve B bulanık kümelerinin kesişim kümeleri, min işlemi; birleşimleri ise max işlemi ile hesaplanmaktadır. “min” işlemi A ve B bulanık kümelerinde karşılık gelen öğeler arasındaki minimum karşılaştırılmasıdır. “max” işlemi, A ve B bulanık kümelerinde karşılık gelen öğeler arasındaki maksimum karşılaştırılmasıdır. A bulanık kümesinin tanımlayıcı ise, a değerinin her üyelik fonksiyonu değeri 1 değerinin çıkarılmasıyla hesaplanmaktadır.

A ve B bulanık kümesinin kesişimi, $A \cap B = a \min b$

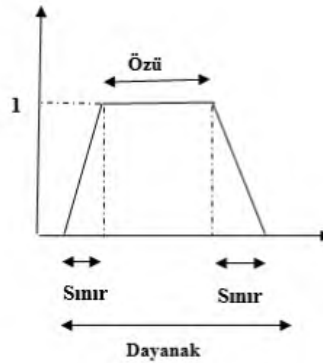
A ve B bulanık kümesinin birleşimi, $A \cup B = a \max b$

A bulanık kümesinin tamamlayıcı kümesi, $A = 1 - a$

2.1.2 Üyelik Fonksiyonları

Üyelik fonksiyonu özü, dayanağı ve desteği olmak üzere üç kısımdan oluşur. Üyelik derecesi “1” olan parametreler, kümenin özünü ifade eder (Starczewski, 2012: 2). Üyelik derecesi sıfırdan büyük olan parametreler kümenin desteğini (dayanağını) ifade ederler. En yüksek üyelik derecesine tanımlı parametreler ise üyelik fonksiyonunun yüksekliğini tanımlamaktadır (Çelikyılmaz ve Türksen, 2009: 14).

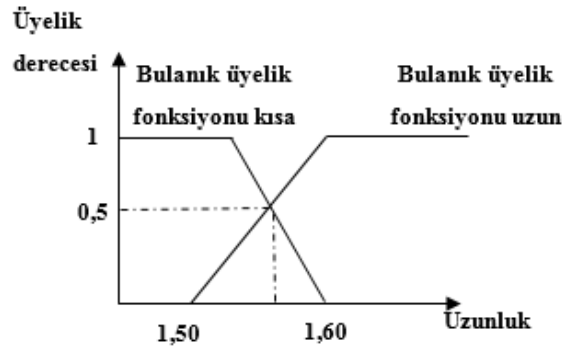
Aşağıda Şekil 9’da dayanak (\tilde{A}) = { $x \in E \mu_{\tilde{A}}(x) > 0$ } olmak üzere, bir üyelik fonksiyonunun özü, dayanağı ve sınırı olmak üzere, kısımları gösterilmiştir. "x" eksenini ile üyeler ifade edilirken, "y" eksenini ise üyelik derecelerini ifade etmektedir.



Şekil 9. Üyelik Fonksiyonu Bölümleri

Eğer bir bulanık kümenin desteği (dayanağı), tek bir nokta ise $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ olmak üzere, bulanık teklik olarak adlandırılmaktadır. Bulanık kümenin özü, boş küme değilse, bulanık küme normal bulanık kümedir (Mendel, 2001: 170). Bulanık kümeler, normal olmalıdır. Bulanık kümenin yüksekliği, üyelik derecesinin en büyük olduğu değeri ifade etmektedir. Normal bir bulanık kümenin yüksekliği, 1'e eşittir. Bir bulanık kümenin geçiş noktası, üyelik

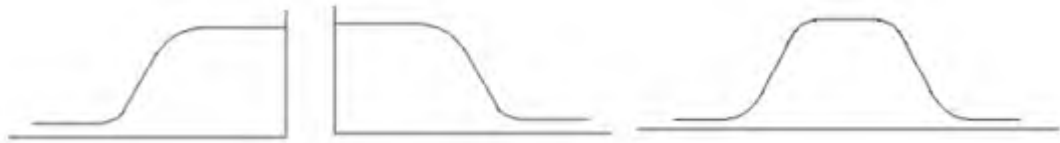
derecesinin 0,5'e eşit olduğu elemanların oluşturduğu kümedir (Ross, 2010: 92). Aşağıda Şekil 10'da örnek olarak bir üyelik fonksiyonu görseline yer verilmiştir.



Şekil 10. Dilsel Değişkenlerin Grafikselleştirilmesi

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere 1,60 cm'nin altındaki uzunluklar kısa boy olarak tanımlanmıştır. 1,60 cm üzeri uzunluklar ise uzun boy olarak ifade edilmiştir. 1,50 cm'nin altındaki boy açıkça kısa olarak ifade edilirken, 1,70 cm'nin üzerindeki boy ise açıkça uzundur. 1,60 boyundaki bir kimse ise yarı uzun ve yarı kısa olarak kabul edilmektedir. 1,50 cm ve 1,60 cm arasındaki boya sahip bir kişinin boy tanımlaması için, uzunluk ekseninden, bulanık üyelik fonksiyonu uzun fonksiyonuna doğru takip edilerek, denk gelen üyelik derecesi değeri bulmak gereklidir. Aynı şekilde, uzunluk ekseninden, bulanık üyelik fonksiyonu kısa fonksiyonuna doğru takip edilerek denk gelen üyelik derecesi değeri ise, ne derecede kısa olduğunu gösterecektir.

Literatürde üçgensel, gaussian, çan eğrisi, yamuksal, sigmodial, π , s gibi farklı üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Bu üyelik fonksiyonları arasında uygulamalarda hesaplama kolaylığı açısından üçgensel, yamuksal, gaussian ve çan eğrisi üyelik fonksiyonlarına sıkça rastlanmaktadır (Zhao ve Bose, 2002: 228). Üyelik fonksiyonun şekilleri ise S fonksiyonu, Pi fonksiyonu ve Z fonksiyonu olarak adlandırılmaktadır. İlgili üç üyelik fonksiyonu şekillerinden ötürü isimlendirilen Z, S ve Pi eğrileridir. Z fonksiyonu sola açılan polinom eğrisidir. S fonksiyonu sağa açılan ayna görüntüsü fonksiyonudur. Pi fonksiyonu ise ortada artış yaparak, her iki uçta da sıfır değerini almaktadır. Aşağıda Şekil 11'de S, Z ve Pi fonksiyonlarının grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 11. S, Z ve Pi Fonksiyon Grafikleri

2.1.2.1 Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonu değerleri a_1, a_2, a_3 olmak üzere, aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır. Fonksiyonda görülmekte olan " a_1 " ve " a_3 " değerleri kümenin destek sınırlarını ifade ederken, " a_2 " değeri ise kümenin özünü ifade etmektedir. Üçgen üyelik fonksiyonu aşağıdaki eşitlik şeklinde gösterilmektedir (Şen, 2004: 57).

$$\mu_a(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2, & \frac{(x - a_1)}{(a_2 - a_1)} \\ a_2 \leq x \leq a_3, & \frac{(x_3 - x)}{(a_3 - a_2)} \\ x > a_3 \text{ veya } x < a_1, & 0 \end{cases}$$

2.1.2.2 Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonu değerleri a_1, a_2, a_3, a_4 olmak üzere, üçgen üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır. Fonksiyonda görülmekte olan $[a_1, a_4]$ değerleri kümenin desteğini ifade ederken, $[a_2, a_3]$ değeri ise kümenin özünü ifade etmektedir. Yamuk üyelik fonksiyonu aşağıdaki eşitlik şeklinde gösterilmektedir (Bojadzviev ve Bojadzviev, 2007: 24).

$$\mu_a(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2, & \frac{(x - a_1)}{(a_2 - a_1)} \\ a_2 \leq x \leq a_3, & 1 \\ a_3 \leq x \leq a_4, & \frac{(a_4 - x)}{(a_4 - a_3)} \\ x > a_4 \text{ veya } x < a_1, & 0 \end{cases}$$

2.1.2.3 Gaussian Üyelik Fonksiyonu

Gaussian üyelik fonksiyonu " m, σ " değerleri ile ifade edilmektedir. Gaussian üyelik fonksiyonunda " m " değeri fonksiyonun merkezini, " σ " değeri ile genişliği ifade eder. Gaussian üyelik fonksiyonu aşağıdaki eşitlik şeklinde ifade gösterilmektedir (Yen ve Langari, 1998: 62).

$$\mu_a(x; m; \sigma) = \exp(-(x - m)^2 / \sigma^2)$$

2.1.2.4 Sigmondial Üyelik Fonksiyonu

Sigmondial üyelik fonksiyonu a_1 ve a_2 değerleri ile ifade edilmektedir. Üyelik derecesinin 0,5 olduğu nokta kırılım noktası olarak ifade edilmektedir. Sigmondial üyelik fonksiyonu aşağıdaki eşitlik şeklinde ifade gösterilmektedir (Yen ve Langari, 1998: 64).

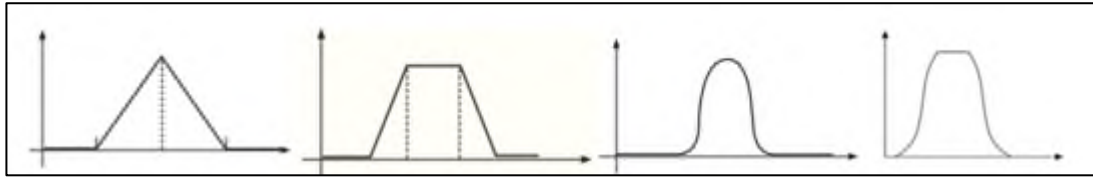
$$\mu_a(x; a_1, a_2) = \left\{ \frac{1}{1 + e^{-a_1(x-a_2)}} \right\}$$

2.1.2.5 Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu

Çan eğrisi üyelik fonksiyonunda a_1, a_2, a_3 olmak üzere üç parametre tanımlıdır. Çan eğrisi üyelik fonksiyonu aşağıdaki eşitlik şeklinde ifade gösterilmektedir (Bojadzviev ve Bojadzviev, 2007: 25).

$$\mu_a(x; a_1, a_2, a_3) = \left\{ \frac{1}{1 + \left| \frac{x - a_3}{a_1} \right|^2} \right\}$$

Üyelik fonksiyonlarının özet gösterimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 12. Üçgen, Yamuk, Gaussian, Sigmondial, Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonları
Kaynak: Cristea M.N. vd., 2002: 116

2.1.3 Bulanık Sayı

Dubois D. ve Prade H.'ye göre bulanık sayı herhangi bir bulanık alt küme, $M = \{(x, \mu_M(x))\}$, $x \in R$ ve $\mu_M(x) \in [0,1]$. Üyelik fonksiyonu, M'nin belirli bir x' sayısını aldığı doğruluk derecesini tanımlar. İki bulanık sayı, ancak aynı üyelik fonksiyonuna sahipse eşittir (Dubois ve Prade, 1978: 613-614). Herhangi bir a sayısını, bulanık sayıya dönüştürmek üyelik fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilir. Bir a sayısının, üyelik fonksiyonundan bulanık bir sayıya dönüşümünün cebirsel ifadesi (x_1, x_2, x_3) olarak temsil edilmektedir (Rojas, 1996: 302).

Bulanık bir kümeyi, bulanık sayı olarak nitelendirmek için, bu kümenin bazı koşulları sağlaması gerekir. Aşağıda bu koşullar verilmektedir (Zadeh, 1965: 348, Klir ve Yuan, 1995: 97; Şen, 2004: 102):

1. Bulanık sayılar, dış bükey normalize bulanık kümelerdir.
2. α kesimleri, kapalı gerçel sayı kümeleridir.
3. Bulanık sayının dayanağı sınırlıdır.
4. Bulanık sayılar, konveks bulanık kümelerdir.

Subjektif (öznel karşıtı) olarak “yaklaşık x” dediğimizde, merkezi x değeri olan bulanık bir sayı (kavram) nitelendirilmektedir. Üyelik fonksiyonunun merkezinde x sayısının olduğu ve x'de 1 üyelik derecesini alması ve x'in her iki tarafında bulunan sayılara yakınlığı ölçüsünde üyelik derecesi atanmaktadır. Merkez x değerinin her iki

yanından üyelik derecesi 1'den 0'a doğru azalacaktır. Bu sayılar, bulanık sayı olarak isimlendirilmektedir. Ele alınan konuya göre değişik bulanık sayılar kullanmak mümkündür (Baykal ve Beyan, 2004: 234).

$A \leq b \leq c$ olmak üzere, üçgen bulanık sayının alt ve üst dayanağını sırasıyla a ve c değerleri temsil etmektedir. Eğer, $a = b = c$ olursa, sayı sıradan bir sayıdır, bulanık değildir olarak ifade edilebilir. A sayısı (a, b, c) üçgen bulanık sayısı olarak gösterilmektedir. Bulanık sayılarda toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemleri yapmak mümkündür. Aşağıda üçgen bulanık sayılarda $A = (a, b, c)$ ve $B = (x, y, z)$ olmak üzere, yapılan işlemler gösterilmektedir (Veerabathiran ve Srinath, 2012: 3742).

Tablo 4. Toplama, Çıkarma, Çarpma ve Bölme İşlem Formülleri

	Formül
Toplama İşlemi	$(a, b, c) + (x, y, z) = (a + x, b + y, c + z)$
Çıkarma İşlemi	$(a, b, c) - (x, y, z) = (a - z, b - y, c - x)$
Çarpma İşlemi	$(a, b, c) \times (x, y, z) = (a \times x, b * y, c \times z)$
Bölme İşlemi	$(a, b, c) \div (x, y, z) = (a \div z, b \div y, c \div x)$

Bulanık aralık, bulanık bir kümenin bir elemanının değeri kesin olmayan fakat sınırlandırılmış bir şekilde, bulanık iki aralığın uç noktası a_1 ve a_2 ise, bulanık aralığı $[a_1, a_2]$ olarak gösterilir (Baykal ve Beyan, 2004: 115).

$\forall a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2 \in R$ olmak üzere; $A = [a_1, a_2]$, $B = [b_1, b_2]$, $C = [c_1, c_2]$ aralıkları olarak tanımlanan aralıklarda toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemlerinin tamamı fonksiyondur (Baykal ve Beyan, 2004: 114).

Tablo 5. Toplama ve Çıkarma İşlem Formülleri

		Formül
Toplama İşlemi	$\tilde{A} + \tilde{B}$	$[a_1, a_2] + [b_1, b_2] = [a_1 + b_1, a_2 + b_2]$
Çıkarma İşlemi	$\tilde{A} - \tilde{B}$	$[a_1, a_2] - [b_1, b_2] = [a_1 - b_1, a_2 - b_2]$

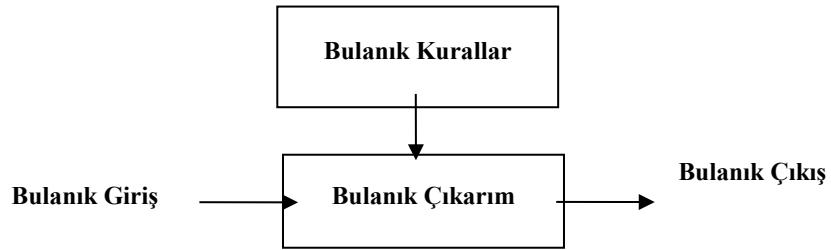
Tablo 6. Çarpma ve Bölme İşlem Formülleri

	Formül
Çarpma İşlemi	$[\text{MİN}(a_1 \times b_1), (a_1 \times b_2), (a_2 \times b_1), (a_2 \times b_2), \text{MAX}(a_1 \times b_1), (a_1 \times b_2), (a_2 \times b_1), (a_2 \times b_2)]$ $A, B \in R^+$ ise $\tilde{A} \times \tilde{B} = [a_1 \times b_1, a_2 \times b_2]$
Bölme İşlemi	$[\text{MİN}(a_1 \div b_1), (a_1 \div b_2), (a_2 \div b_1), (a_2 \div b_2), \text{MAX}(a_1 \div b_1), (a_1 \div b_2), (a_2 \div b_1), (a_2 \div b_2)]$ $A, B \in R^+$ ise $\tilde{A} \div \tilde{B} = [a_1 \div b_1, a_2 \div b_2]$

2.1.4 Bulanık Çıkarım Sistemi

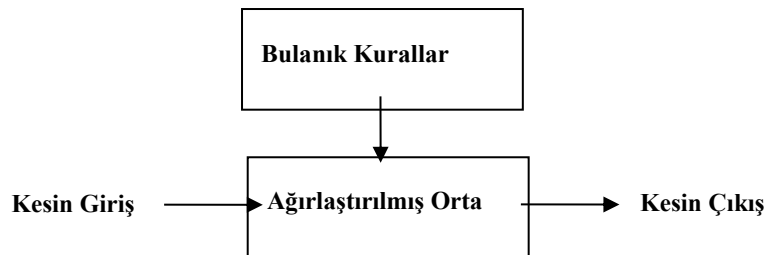
Bulanık çıkarım sistemi (FIS, Fuzzy Inference System), bulanık küme teorisiyle beraber, bulanık mantık ile alakalı kavramlara ve işlemlere sahip bir kural tabanlı giriş alanını, çıkışa eşitleyen, depolanmış bilgiye dayalı, belirli girdiler ve çıktılar oluşturan bir yapıdır (Khanmohammadi ve Jassbi, 2012: 44).

Literatür incelendiğinde, yaygın olarak kullanılan pure sistemler, bulanıklaştırıcı ve durulaştırıcı sistemler, Takagi- Sugeno- Kang (TSK) bulanık sistemler olmak üzere üç tip bulanık sistemden söz edilmektedir. Wang, bu sistemleri pure bulanık sistemler, Takagi-Sugeno-Kang bulanık sistemleri, bulanıklaştırıcı ve durulaştırıcı bulanık sistemler olarak belirlemiştir. Aşağıda görülmekte olan pure sistemde, bulanık kurallar, IF THEN kurallarını temsil etmektedir. Temiz bulanık sistemlerde giriş ve çıkış değeri dilsel olarak kullanılması dezavantaj olarak değerlendirilmektedir, çünkü gerçek sistemlerde bu değerler bulanık değil, kesindir (Wang, 1997: 4-5).



Şekil 13. Pure Sistem Gösterimi

Pure sistemde, dilsel değişken kullanmanın dezavantajını önlemek adına Takagi, Sugeno ve Kang girdi ve çıktı değerleri kesin değerli değişkenler olan başka bir bulanık sistem önermişlerdir. Takagi-Sugeno-Kang modeli olarak geçen bu bulanık sistemin basit gösterimine aşağıda yer verilmiştir (Wang, 1997: 6).



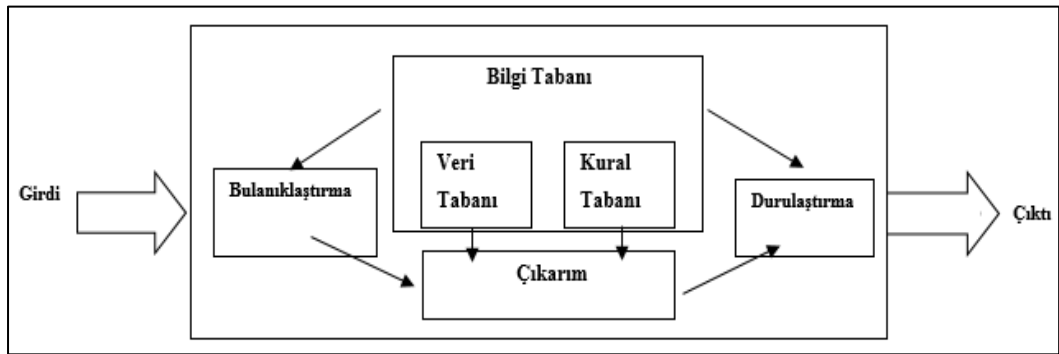
Şekil 14. Takagi-Sugeno-Kang Modeli Gösterimi

Tipik bir TSK (Takagi-Sugeno-Kang) modelinde, IF-THEN kuralı gösterimi aşağıdaki gibi olmaktadır. Görüldüğü üzere, THEN kuralının cebirsel ifadesi, dilsel değişkenleri ve insanın düşünüş biçimini yansıtmaması zordur. Haliyle, bulanık sistem çok

yönlü olarak insan düşünüş sistemini temsil edemediği gibi, çeşitli ilkeleri de uygulamada güçlükler neden olmaktadır. Bu sebeplerle, durulaştırıcı ve bulanıklaştırıcı ilave edilen bulanık sistem, bu dezavantajı ortadan kaldıracaktır (Wang, 1997: 7). Bulanıklaştırıcı (fuzzitier), girişteki gerçek değeri, bulanık değere dönüştürme işlemini gerçekleştirirken, durulaştırıcı (defuzzitier) çıkıştaki bulanık değeri, gerçek değere dönüştürme işlemini gerçekleştirir (Kasabov, 1996: 192).

IF Aracın x hızı yüksek, THEN Gaz pedalına giden kuvvet $y = cx$

Tipik bir bulanık sistemin, bulanıklaştırma modülü (fuzzifier), bilgi tabanı (knowledge base), kural tabanı (rule base), çıkarım motoru (inference engine), defuzzification modülü (durulaştırma, defuzzifier) olmak üzere beş temel ögesi vardır (Cirstea vd., 2002:118).



Şekil 15. Tipik Bulanık Sistem Gösterimi

Kaynak: Cirstea M.N. vd., 2002: 119

2.1.4.1 Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma, bulanık olmayan dilsel değişkenlerin bulanıklaştırılmasını ifade eder (Altaş, 1999: 3). Üyelik derecelerinin tayini ile değişkenlerin kümelere olan üyelikleri belirlenir. Bulanıklaştırılan dilsel değişkenlerin, girdi olarak hazırlanması bulanıklaştırma olarak ifade edilmektedir (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003: 64). Dilsel değişkenlerin bulanıklaştırılması sayesinde kural tabanındaki bulanık küme gösterimi ile uyumlu olurlar (Cirstea vd., 2002: 119).

2.1.4.2 Çıkarım

Çıkarım, literatürde karar verme ünitesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı zamanda bulanık çıkarım motoru, bulanık ilişkisel hafıza, bulanık sistem, bulanık kural tabanlı sistem gibi ifadeler bulanık çıkarım sistemini açıklamak adına kullanılmıştır (Jang vd., 1997: 73). Çıkarım, bulanıklaştırma aşamasından gelen, bulanık verilerin kural tabanı ve veri tabanı sayesinde işleminden geçmesi ve proses sonucu bulanık bir çıktının elde edildiği aşamadır.

Veri tabanı ve kural tabanı, genel olarak bilgi tabanı olarak ifade edilmektedir. Bilgi tabanı, tesisin veritabanından oluşur. Üyelik fonksiyonları, giriş-çıkış değişkenlerinin bulanık küme gösterimi ve fiziksel ve bulanık alan arasındaki haritalama fonksiyonları gibi bulanıklaştırma işlemi için gerekli tüm tanımları sağlar (Cirstea vd., 2002: 119). Abraham Kandel, 1991 yılında “Fuzzy Expert Systems” adlı kitabında bilgi tabanını, “probleme dair bilgi içeren veri yapısı haliyle, probleme dair çerçeveler, anlamsal ağlar ve üretim kurallarını kapsar” şeklinde açıklamıştır. Bu haliyle sadece veri tabanı değil, kural tabanından oluşan kompleks bir sistem olduğu aşıkardır.

Veri tabanının görevi, bulanıklaştırma kural tabanı olarak görev almak ve durulaştırma işlemlerinin doğru işlemlerini sağlamaktır. Kural tabanı, kontrol işlemlerini gerçekleştiren, bulanık kontrol kurallarını içerir. Bulanık kurallar, uzman tecrübesi, sürecin bulanık modeli, öğrenme, operatörün kontrol hareketlerinin modellenmesi gibi yöntemlerle oluşturulur (Tay ve Lim, 2006: 1051). Kural tabanı, sistemin kontrol stratejisidir. Genellikle uzman bilgisinden ve buluşsal yöntemlerden elde edilmiş bir dizi IF-THEN kuralı olarak tanımlanabilir. Kurallar, bulanık çıkarım kavramına dayanır; öncüler ve sonuçlar dilsel değişkenlerle ilişkilidir (Cirstea vd., 2002: 119).

2.1.4.3 Durulaştırma

Durulaştırma, bulanık çıktı değerlerini klasik (kesin) değerlere çevirmek olarak tanımlanmaktadır (Baykal ve Beyan, 2004: 196). Durulama yöntemini belirlerken belirli adımlar yoktur. Sürecin özelliklerine uygun bir yöntemin belirlenmesi ve seçilmesi gerekir (Baykal ve Beyan, 2004: 221). Uygun yöntem seçilirken, elde edilen verilerin (sonuç/sonuçlar) belirli ve makul olması gereklidir. Seçilen yöntemin ise hesaplanması kolay olmalıdır. Sonucun makul olmasından kasıt, belirli bir alanın yaklaşık ortasında tanımlanması olarak ifade edilir. Sonucun belirli olması ise, tek bir değeri ifade ediyor olmasıdır (Sharma vd., 2005: 995). Kısaca bulanık olan girdi ve çıktılar, bulanık mantık kurallarından yararlanılarak, anlaşılır ve yararlı değişkenler olmaları için çıkarım yapılması olarak ifade edilmektedir (Şen, 2004: 8).

Literatüre bakıldığında elliden fazla durulaştırma yöntemi mevcuttur. 2020 yılında ise ERD, WAERD, WAERD2 olmak üzere üç tane en yeni yöntem mevcuttur (Erdun, 2020: 3). Hellendoorn ve Thomas’ın 1993 yılında “Defuzzification of Conttrollers” isimli çalışmalarında toplamların merkezi yöntemi, en büyük üyelik prensibi, en büyük alanın merkezi metodu, ilk maksimum metodu, en büyük üyeliğin ortası metodu, toplamların merkezi metodu olarak altı durulaştırma yöntemi belirlenmiştir. Ross T.J., 1995 yılında çıkartmış olduğu “Fuzzy Logic With Engineering

Application” isimli kitabında ise, Hellendoorn ve Thomas’ın çalışmasından istifade ederek; en büyük üyelik yöntemi, sentroid yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi, en büyük üyeliğin ortası olmak üzere dört yönteme değinmiştir. Aşağıda, literatürde karşılaşılan en yaygın durulaştırma metotları açıklanmaya çalışılmıştır.

1) En Büyük Üyelik Metodu: Yükseklik prensibi olarak bilinir. En yüksek değerli üyelik derecesini alan bir elemanın olması gerekir (Ross, 2004: 100). Yöntem cebirsel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\mu x(z^*) \geq \mu x(z), z \in Z$$

2) Sentroid Kuralı: Durulaştırma yöntemlerinden en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Literatürde alanların ortası, alan merkezi, ağırlık merkezi olarak da bilinmektedir (Morim vd., 2013: 3). Yöntem cebirsel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir

$$z^* = \frac{\int \mu x(z) \cdot z \, dz}{\int \mu x(z) \, dz}$$

3) Ağırlıklı Ortalama Yöntemi: Simetrik üyelik fonksiyonuna sahip bulanık kümeler için uygulanabilir. Yöntemin tek dezavantajlı yönü simetrik işlevi ile sınırlı olmasıdır. En sık kullanılan yöntemlerden biridir. En büyük üyelik derecesine sahip elemanla çarpılarak ağırlıklı ortalamaları alınır (Ross, 2004: 101). Yöntem cebirsel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$z^* = \frac{\sum \mu x(\bar{z}) \bar{z}}{\sum \mu x(\bar{z})}$$

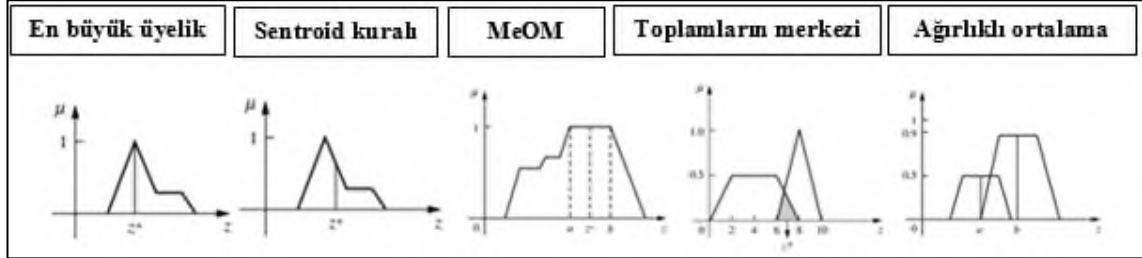
4) En Büyük Üyeliklerin Ortalaması Yöntemi: En büyük üyelik metoduna benzese de burada en büyük üyeliği alan değer birden fazladır. Toplamlarının ortalaması alınır (Ross, 2004: 104). Literatürde bu yöntem mean of maksima (MeOM), middle of maxima (MOM), center of mean (COM), mean max membership, composite maximum gibi isimleri de vardır. Yöntem cebirsel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$z^* = \frac{a + b}{2}$$

5) Toplamların Merkezi Yöntemi: En hızlı sonuç veren yöntemdir. Durulaştırma, her bir bulanık çıkış kümesindeki elemanların üyelik derecelerinin cebirsel toplamı üzerine kuruludur. Fakat bu yöntemin dezavantajı, bulanık çıktı kümesindeki kesişen alanların iki defa toplama katılmasıdır. Avantajı ise simetrik üyelik işlevleri ile sınırlı olmamasıdır (Ross, 2004: 108). Yöntem cebirsel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$z^* = \frac{\int_z^{\bar{z}} \sum_{k=1}^n \mu c_k(z) dz}{\int_z \sum_{k=1}^n \mu c_k(z) dz}$$

Aşağıdaki Şekil 16’da en büyük üyelik, sentroid, MeOM (mean of maksima, en büyük üyeliklerin ortalaması), toplamların merkezi ve ağırlıklı ortalama yöntemlerinin grafiksel olarak gösterimine yer verilmiştir.



Şekil 16. Durulaştırma Yöntemleri Gösterimi
Kaynak: Ross, 2004: 100; Morim vd., 2013: 3

2.2 Yapay Sinir Ağı

Yapay Sinir Ağı (YSA), bir doğa olayından esinlenerek sorunlara çözüm aramak amacıyla geliştirilmiş bilgi ve insan beyninin öğrenme fonksiyonunu taklit eden bir bilgisayar sistemidir (Zaharia vd., 2014: 6). İnsan beyninde nöron adı verilen hücreler bulunmaktadır. Bu hücrelerin bilgi alışverişi sayesinde sinir hücreleri arasında iletişim söz konusudur. YSA sistemini, sinir hücrelerinin arasında var olan iletişimin matematiksel bir ifadesi olarak tanımlanabileceği gibi (Karaali ve Ülengin, 2008: 19); insan sinir sistemlerinin, bilgi işleme yeteneklerini modellemeye yönelik bir yöntem olarak ifade edilebilmektedir (Rojas, 1996: 4).

Yapay sinir ağı bilgiyi depolar, depoladığı bilgiyi kullanarak problemleri çözer ve deneyim yoluyla yeni bilgiler edinir. YSA tarafından, bu süreci tam olarak ifade edebilmek için temsil, öğrenme ve akıl yürütme olmak üzere üç fonksiyon yerine getirilir. Temsil olarak ifade edilen fonksiyon, YSA’nın probleme yönelik bilgileri ve bu problemin çözümü için gerekli olan bilgileri, sembolleştirilmiş bir dil yapısının kullanılması olarak ifade edilmektedir. Sembolik olan yapay zekâ, nettir ve sürecin sembolikleşmesi, insan-makine iletişimine yardımcı bir olgudur. Akıl yürütme fonksiyonu en basit formuyla, problem çözme yeteneği olarak açıklanabilir (Haykin, 1998: 57). Problem çözme yeteneği, belirli koşulların varlığı ile gerçekleşmektedir. Bu koşullar aşağıdaki gibi açıklanmıştır (Fischer ve Firschein, 1987: 110-111; Haykin, 1998: 57).

- Sistem problemi, problemin kısıtlarını; kısaca probleme ve problem tipine dair tüm bilgileri ifade edebilir ve çözebilir olmalıdır.

- Sistem, insan-makine iletişimi sayesinde, insan tarafından bilinebilecek bilgileri ve insan tarafından bilinemeyecek gizli bilgileri bilebilir olmalıdır.
- Sistem, problem hakkında çalışmanın ne zaman sonlandırılmasına gerek olduğuna ve hangi işlemlerin uygulanması gerektiğine dair bir kontrol mekanizmasına sahip olmalıdır. Problem çözümlendiğinde kontrol mekanizması devreye girmektedir.

Öğrenme fonksiyonu çevre, öğrenme, kural tabanı ve performans ögelerini içermektedir. Öğrenme, çevre tarafından sağlanan bilgi ile bilgi üzerinde iyileştirme ve geliştirme yapılarak, çıkarım yapılması sürecidir. Makine, çevre tarafından sağlanan bilgi kusurlu ise eksik olan ayrıntıların nasıl tamamlanacağını veya önemsiz bilgileri nasıl görmezden geleceğini bilemez. Bu durumda makine, tahminleme yapar ve performans ögesinden destek alarak çalışır (Haykin, 1998: 57).

YSA tahmin, modelleme, kümeleme, araç rotalama, sınıflandırma gibi pek çok problemin çözümü için uygulanabilir. YSA, karmaşık verileri rahatça modelleme imkânı sunar. YSA ile geçmiş veriler sayesinde problemi tanımlama, gelecekteki durum hakkında tahminleme yapılabilir (Hu, 2002: 75). YSA sisteminin birtakım özellikleri söz konusudur. YSA sisteminde yapılan işlemler, birbirine paralel düğümler arasında bilgi akışıyla yapılmaktadır (Paralellik). Ağ eğitildiğinde daha sonra başka durumlar için de kullanılabilir (Genelleme yeteneği). Eğitilen ağ sayesinde, değişen koşullar söz konusu olduğunda, ağ tekrar eğitilebilir ve farklı sorunlara çözümler bulunabilir (Uyarlanabilirlik). Hata toleransı düşük olduğu için, nöronlar arasında bilgi kaybı halinde, yapısı etkilense dahi hata tolere edilebilir (Hata toleransı). Eksik veri ile modellemenin zor olduğu çözümlerde, YSA diğer yöntemlere nazaran daha gerçekçi neticeler sunmaktadır. Diğer yöntemlere nazaran da hızlıdır (Kuykendall vd, 1992: 4). Teorik olmayan (ateorik) bir model olduğundan denklem içermediği için kafa karışıklığına neden olmaz. Bu özelliği sebebiyle, akıllı kara kutu olarak ifade edilmektedir (Çelik, 2008: 27). Sisteme giriş bilgileri girildiğinde, ateorik bir model olarak kendi sistemi içerisinde ilişkilerini tasarlar ve oluşturur. Modelin içeriğinin ne olduğu tam anlamıyla analiz edilemez. Bu haliyle, hangi değişkenin sistem içinde daha etkili olduğunu belirlemek zordur (Tu, 1996: 1229).

Aşağıda belirtilmiş olan özellikler doğrusal olmayan sistemlerin kontrolü ve modellenmesi için gerekli uygulamalar hususunda YSA'ları çekici kılmaktadır (Hunter vd., 1992: 1084).

Evrensel yaklaşım yetenekleri: Bir veya daha fazla gizli katmana sahip olabilen bir sinir ağı, yeterli gizli katmana sahip olması şartıyla, kompakt bir küme üzerinde keyfi olarak sürekli doğrusal olmayan fonksiyona yaklaşabilir. YSA'nın yapı taşı olarak kabul edilen hücresi, doğrusal özellik göstermemektedir. Bu sebebiyle YSA'nın da doğrusal özellik göstermediği ifade edilmektedir. Ağa yayılmış olan doğrusal olmama özelliği sayesinde doğrusal olmayan sistemlerin kontrolü, modellenmesi hususunda önemli bir buluştur.

Paralel dağıtılmış işlemci: Sinir ağı, oldukça paralel dağıtılmış işlemci yapısına sahip bir modeldir. Böyle bir uygulamada, klasik yöntemlerden daha yüksek derecede hata toleransı beklenebilir. Uygulama açısından oldukça basit unsurlardan meydana gelmektedir.

Öğrenme ve adaptasyon: Sinir ağı, çalışılan sistemden gelen geçmiş veri kayıtları kullanarak eğitilir. Sinir ağı uygun şekilde eğitilirse, eğitim verilerinde görünmeyen girdiler dahi genelleme yeteneğine sahiptir.

Donanım uygulaması: Yapay sinir ağı paralel yapısı gereği belirli görevleri hesaplamada hızlıdır (Hunt vd., 1992: 1084). VLSI (verry-large-scale-integrated) donanım uygulamaları kullanılarak ilave hızın yanında uygulanabilecek ağların ölçeğini arttırmaktadır. VLSI, son derece karmaşık biçimdeki kompleks davranışlara anlam sağlar (Mead, 1989: 103).

Veri Füzyonu: YSA, aynı anda nitel ve nicel verilerle çalışabilmektedir. Nicel verileri işleme açısından geleneksel mühendislik sistemleri ile nitel verileri işleme açısından yapay zekâ alanında işleme tekniklerini kullanıyor olması söz konusudur.

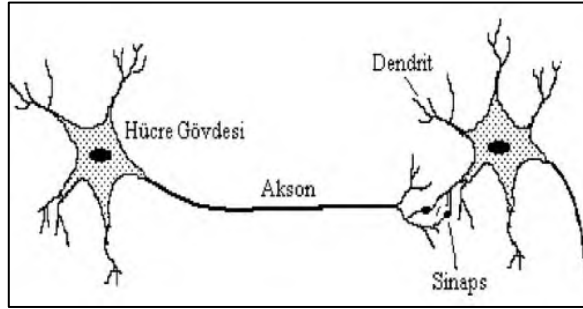
Çok Değişkenli Sistemler: YSA, birden fazla girdi ve çıktı verisine sahip çok değişkenli sistemlere rahatça uygulanabilmektedir.

2.2.1 Biyolojik Sinir Hücresi

Bilgi işlem bütünlüğü olarak ifade edilebilen sinir sisteminde, çevreden alınan, duyuşal girdi olan sinyaller, uygun olan tepkiyi vermek adına kodlanır ve işlenir (Rojas, 1996: 4). Bu işlemler, sinir sistemini oluşturan en küçük temel yapı olan, sinir hücreleri arasındaki iletişim sayesinde gerçekleştirilir. Tıp literatüründe sinir hücreleri, nöron olarak ifade edilmektedir.

Sinir hücreleri, dışarıdan gelen uyarıları dendrit olarak isimlendirilen kılcal yollar ile toplayarak, bilgiyi akson isim verilen dallar sayesinde beyne iletirler. Her bir aksonun sinaps adı verilen bir düğüm noktası mevcuttur. Sinapslar aksonlardan gelen bilgiyi, beyine ulaştırırlar. Bu sayede, öğrenme gerçekleşmektedir (Stergiou ve Siganos,

2010: 5). Aşağıda Şekil 17’de görüldüğü üzere, biyolojik sinir hücresi gösterimi mevcuttur.



Şekil 17. Sinir Hücresi Gösterimi

Kaynak: <https://slideplayer.biz.tr/slide/14718043/>

Bir sinir hücresinden, diğer sinir hücresine gelen veriler, sinapslar (düğüm noktaları) sayesinde dendritlerine alırlar. Uyarım etkisi eşik değerini aşabilirse, aksonlara iletilir ve aksonlar sayesinde bilgi beyine ulaştırılır (Suparta ve Alhasa, 2016: 2). Sinir ağı ve geleneksel bilgisayar sistemleri arasındaki temel fark, bireysel hesaplama birimlerinin güvenilmezliği ile başa çıkmak adına kullandıkları devasa paralellik yapısı ve yedeklemedir (Rojas, 1996: 4).

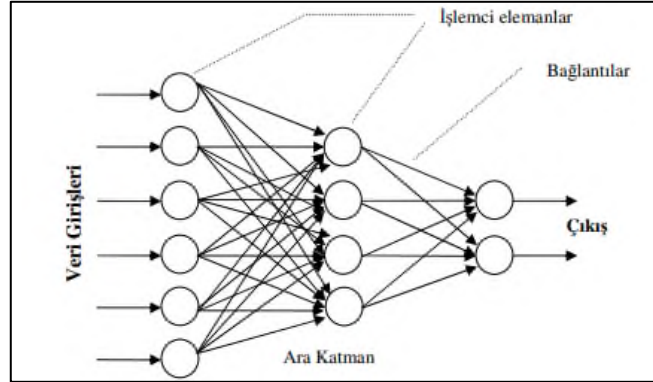
2.2.2 Yapay Sinir Ağının Yapısı

1943 yılında, Warren S. McCulloch ve Walter Pitts tarafından elektrik devreleri ve insan beyninden esinlenerek, yapay sinir ağı modeli önerilmiştir. (McCulloch ve Pitts, 1943:115) Biyolojik nöronlarda meydana gelen sürece benzer olarak, bilgi aktarım ve alma sürecinin özelliklerine sahip olan bu modelde, YSA'nın en temel birimi olan yapay sinir hücresi, biyolojik sinir sisteminin en temel yapı taşı olan nöronlara benzetilmiştir. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbiriyle bağlantılar aracılığıyla yan yana gelmeleri ile oluşur. Bu sebeple, bir araya gelen bağlantı modelleri olarak da isimlendirilmiştir (Sapena ve Botti, 2003: 665). McCulloch ve Pitts tarafından, aşağıda görüldüğü üzere, birtakım varsayımlar önerilmiştir (Rodaj, 1994: 32; Freeman ve Skapura, 1991: 12).

- Nöron aktiviteleri “ya hep ya hiç” prensibi ile işlemektedir.
- Sinaptik gecikme haricinde bir gecikme söz konusu değildir.
- İnhibitör, nöronların uyarılmasını engellemektedir.
- Ağ yapısında, zaman içerisinde değişme yaşanmaz.

YSA genel itibarıyla girdi, ara katman ve çıktı olmak üzere üç katmandan oluşur. Bazı yapay sinir hücreleri, sadece veriyi almak için, bazı yapay sinir hücreleri ise sadece çıktıyı iletmek için dış çevre ile etkileşim halindedir. Geri kalan nöronlar ara

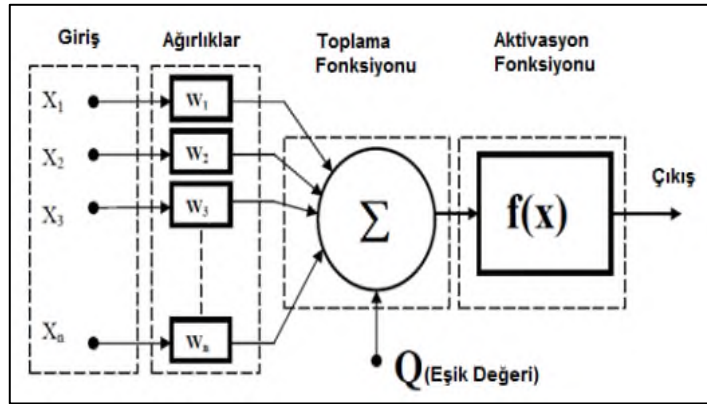
katmanı tanımlar. Bu katmanlar, dış çevre ile etkileşim halinde olmadığından gizli katman olarak ifade edilmektedirler (Anderson ve Mcneill, 1992: 8). Aşağıda feed forward yapay sinir ağı katmanları gösterilmiştir.



Şekil 18. Yapay Sinir Ağı Gösterimi
Kaynak: Öztemel, 2006: 30

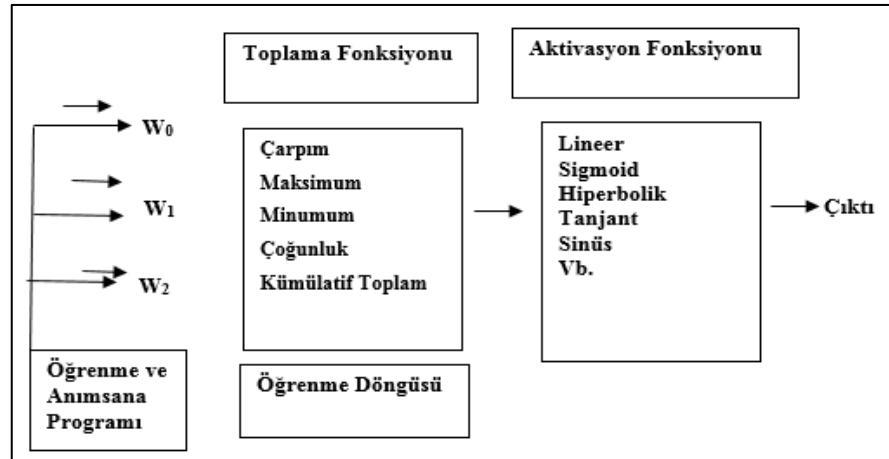
YSA bağımsız bir değişkenin, bağımlı değişken üzerindeki etkisine yönelik bir sürecin ifadesidir. Yukarıda görülmekte olan veri girişlerinin olduğu ve ara (gizli katman) ile etkileşimde olan nöronlardan oluşan katman giriş katmanı olarak tanımlanmaktadır. Girdi katmanından gelen verilerin işlendiği ve bir sonraki adıma gönderilen katman ara katman olarak tanımlanır. Ara katman birden çok sayıda olabilir (Karymshakov ve Abdykaporov, 2012: 234-235). Bir yapay sinir ağında ara katmanın olmaması mümkündür ancak elde edilecek başarı ancak ayırma analizi yöntemi ile elde edilen başarıya denk bir başarı söz konusudur. Ara katman olmaması halinde, doğrusal modellerle daha çok başarı sağlanabilecek bir yapı elde edilmiş olur. Ara katman sayesinde, yapay sinir ağı istatistiksel olarak eğitilir ve karmaşık sorunlarda çözüm daha kolay sağlanır (Ataseven, 2013: 103). Ara katman (gizli katman) girdi ve çıktı katmanları arasındaki katmandır. Girdi ve çıktı katmanları ile etkileşimdedir (Hristev, 1998: 5). Çıktı katmanı, ara katmandan gelen bilgilerin işlenip, anlamlı bir nihai çıktıya dönüştüğü aşamadır (Yakut vd., 2014: 141). Ağın basit bir yapıda olması, katman sayısının az olmasını ifade eder. Katman sayısı arttıkça, ağ karmaşık bir yapıdadır, denebilir (Yıldız, 2001: 55). YSA'nın performansının kontrolü için ise mutlak hata ortalaması veya kareler ortalaması kullanılmaktadır. Aynı zamanda hatanın en düşük olduğu değer de ara katman sayısını vermektedir (Küçükkocaoğlu vd., 2005: 10).

Yapay sinir ağının matematiksel olarak giriş, ağırlık, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış olmak üzere beş fonksiyonu vardır. Aşağıda YSA'nın yaygın olarak kullanılan modeline yer verilmiştir (Suparta ve Alhasa K.M., 2016: 6).



Şekil 19. Yapay Sinir Ağının Fonksiyonları Gösterimi
Kaynak: Yüksek, 2001:19

Girdi değişkenlerinden olan $x_i, i = 1, 2, \dots, n$ ifadesi $w_j, j = 1, 2, \dots, n$ ağırlıkları ile çarpılarak, ağırlık toplamları hesaplanmaktadır (Bishop, 1994: 1804). Yukarıdaki gösterimde n tane x_i giriş sinyallerinin ağırlıklı toplamı, belirli bir eşik üzerinde ise, bir çıktı üretir. Eşik değerinin üzerine çıkmazsa, sonuç sıfır çıktı olacaktır (Jain vd., 1996: 34). Aşağıda YSA'nın matematiksel olarak giriş, ağırlık, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu olmak üzere genel bir gösterimine yer verilmiştir.



Şekil 20. Yapay Sinir Ağı Genel Gösterimi
Kaynak: Anderson ve Mcneill, 2006: 6

2.2.2.1 Giriş

Veri girişlerinin olduğu kısım girdi katmanı olarak ifade edilmiştir. Dışarıdan gelen uyarımlar yapay sinir ağına, girdi katmanı aşamasında alınırlar. Bu katmandaki veriler, bağımsız değişkenler olarak ifade edilmektedir. Daha genel bir bakış açısı ile düşünülürse, nöronların kullanmış olduğu bağımsız değişkenden elde edilen çıktıları

veri olarak kullanılmaktadırlar (Küçükkoçaoğlu vd., 2005: 10). Hücrenin çevresinden veya başka bir nörondan aldığı veriyi, yapay sinir hücresinden içeri alan katmandır (Öztemel, 2006:48). Giriş işlemi genelde “x” ile ifade edilmektedir (Elmas, 2003: 32).

2.2.2.2 Ağırlık

Her giriş ($x_i, i = 1, 2, \dots, n$) değeri kendine özel bir ağırlığa ($w_j, j = 1, 2, \dots, n$) sahiptir. Ağırlığın oranında işleme yarattığı etki doğrusal olarak değişmektedir. Ağırlık, girdi değerinin etkisini belirleyen bir değerdir. Yapay sinir hücresine giriş yapmış verinin etkisini temsil eder. Yapay sinir hücresine olan bağlanma gücünü gösterir (Anderson ve McNeill, 1992: 21). Ağırlık değerinin pozitif değerli ya da negatif değerli olması mümkündür. Ağırlık değerinin pozitif veya negatif olması, etkinin durumunu göstermektedir. Sıfır etkiye sahip bir veri ise etkin değildir anlamına gelir. Önemli olan ağırlık değerinin mutlak değerce etkisinin ne derece büyük olduğudur. Mutlak değerce büyük bir ağırlığa sahip veri, önemi daha fazladır olarak ifade edilir. Mutlak değerce küçük bir ağırlığa sahip veri, önemi daha azdır olarak ifade edilir (Gallant, 1993: 3).

2.2.2.3 Toplama Fonksiyonu

Birleştirme fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Ağırlıkları ile çarpılmış olan girişler, değiştirilmiş girişler olarak tanımlanır. Değiştirilmiş girişler, birleştirme fonksiyonu aşamasına geçer. Bu fonksiyon için literatürde çarpım, maksimum, minimum, çoğunluk ve kümülatif toplam gibi yöntemler işlenmiştir. Genelde kümülatif toplamları alınmaktadır. Bu sebeple, toplama fonksiyonu olarak tanımlanmıştır (Anderson ve McNeill, 1992: 6). Aşağıda Tablo 7’de, literatürde yer alan toplama fonksiyonları ve cebirsel ifadelerine yer verilmiştir.

Tablo 7. Toplama Fonksiyonları ve Formülleri

Net Giriş	Formül
Çarpım	$\prod w_i x_i$
Maksimum	$max = (w_i, x_i)$
Minimum	$min = (w_i, x_i)$
Çoğunluk	$\sum_i^n sg(w_i x_i)$
Kümülatif Toplam	$net (eski) + \sum w_i x_i$

Kaynak: Öztemel, 2006: 50

2.2.2.4 Aktivasyon Fonksiyonu

Toplama fonksiyonunun çıktısı, aktivasyon fonksiyonuna gönderilir. Aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonundan gelen veriyi bazı algoritmaları kullanarak işler ve gerçek çıktıya dönüştürür. Aktivasyon fonksiyonu uygulanmayan veri, doğrusal bir fonksiyon olacaktır. Bu haliyle, sınırlı bir öğrenme gerçekleşmiştir. Birden fazla dereceye sahip fonksiyonlar sayesinde, öğrenme kapasitesi artan YSA, sorunun çözümü için daha faydalıdır. Hangi fonksiyonun seçileceği ise yapay sinir ağına ve ne öğrenilmek istendiğine göre değişmektedir. Seçilen aktivasyon fonksiyonu sayesinde çıktı, belirli değer aralıklarında seçilir. Genelde, -1 ile 1 aralığında olduğu belirtilmiştir (Anderson ve McNeill, 1992: 6). Literatürde basamak, doğrusal, sigmoid, gaussian, sızıntı (ReLU), softmax, kendinden geçitli (Swish) gibi fonksiyonlar vardır. (Anderson ve McNeill, 1992: 6; Jain vd., 1996: 35).

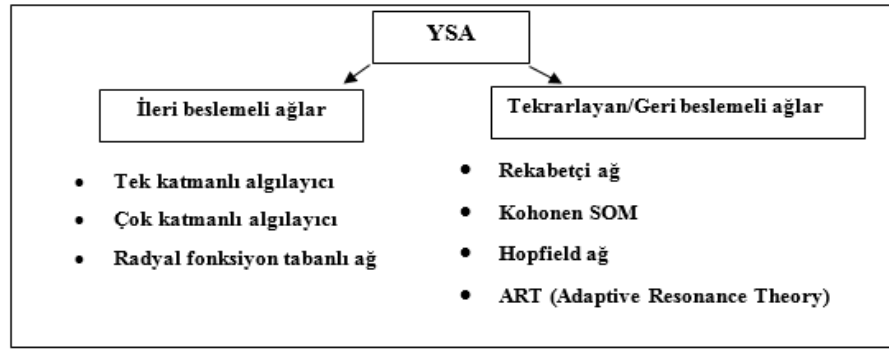
2.2.2.5 Çıktı

Yapay sinir hücresi, öncelikle girdi değeri ve ona atanmış olan ağırlık değerlerini alarak, toplama fonksiyonu sayesinde net girdi değerini oluşturur. Aktivasyon fonksiyonu ile de belirli bir aralıkta çıktı üretir (Toraman, 2008: 48). A_i = girdi değeri, W_i = girdi ağırlıkları, e = eşik değeri, F = transfer fonksiyonu, Y = çıktı değeri olmak üzere, aşağıda YSA modelinin formülizasyonu verilmiştir (Krenker vd., 2011: 5).

$$Y = F \left(\sum_{i=1}^n A_i W_i + e \right)$$

2.2.3 Yapay Sinir Ağı Modelleri

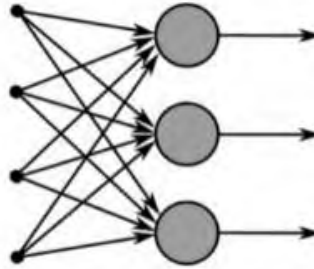
Literatürde yapay sinir ağlarının pek çok şekilde sınıflandırılması söz konusudur. YSA, mimari yapısına göre ileri beslemeli ağlar (feed-forward networks) ve tekrarlayan/ geri beslemeli ağlar (recurrent/ feedback networks) olmak üzere ikiye ayrılmıştır. İleri beslemeli ağlar, tek katmanlı algılayıcı, çok katmanlı algılayıcı, radyal fonksiyon tabanlı ağ olmak üzere üçe ayrılırken; tekrarlayan/geri beslemeli ağlar rekabetçi ağı, Kohonen SOM ağı, Hopfield ağı, ART (Adaptive Resonance Theory) ağı olmak üzere dörde ayrılmaktadır. Aşağıdaki görsel ile ileri beslemeli ve tekrarlayan geri beslemeli ağ örnekleri verilmiştir (Jain vd., 1996: 5). Ardından, yapay sinir ağı modelleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır.



Şekil 21. İleri Beslemeli ve Tekrarlayan Geri Beslemeli Ağ Türleri
Kaynak: McNeill, 1992: 6; Jain vd., 1996: 5; Suparta ve Alhasa, 2016: 8

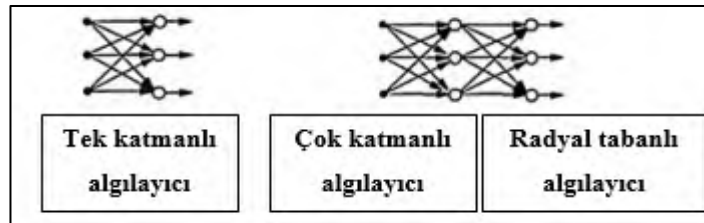
2.2.3.1 İleri Beslemeli Ağlar

İleri beslemeli yapay sinir ağı mimarisi, geri besleme (feedback) bağlantısı olmayan bir yapay sinir ağı modelidir (Hristev, 1998: 153). Gelen veri veya sinyaller yalnızca bir yönde hareket ederek, yani her katman çıktısı, önceki bir katmana etki etmeyerek, çıktı elde edilmesi söz konusudur. Genellikle girdi, çıktı ve ara katmandan oluşan ağların, tek katmanlı olmaları söz konusudur. Ancak katman sayısının artıyor oluşu, hesaplama gücünü arttıran bir olgudur. İleri beslemeli ağlar tek katmanlı algılayıcı, çok katmanlı algılayıcı ve radyal fonksiyon tabanlı ağ olmak üzere üç türde inceleneceklerdir (Suparta ve Alhasa, 2016: 8). Aşağıda Şekil 22’de görüldüğü üzere, ileri beslemeli ağ yapısına örnek verilmiştir.



Şekil 22. İleri Beslemeli Ağ
Kaynak: Hristev, 1998: 154

Aşağıda ileri beslemeli ağların, görsel olarak özet gösterimi mevcuttur.

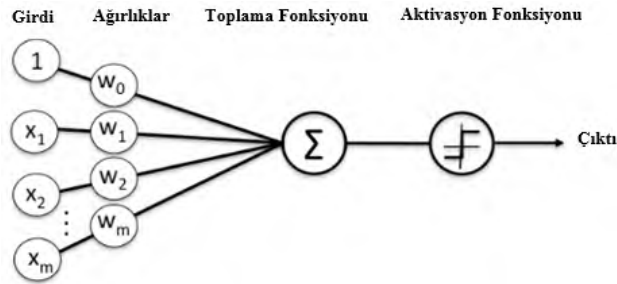


Şekil 23. İleri Beslemeli Ağ Modellerinin Gösterimi
Kaynak: McNeill, 1992: 6; Jain vd., 1996: 5; Suparta ve Alhasa, 2016: 8

2.3.3.1.1 Tek Katmanlı Algılayıcı

Tek katmanlı algılayıcı modeli, doğrusal problemlerin çözümünde etkin olarak kullanılmaktadır (Haykin, 1998: 139). Tek katmanlı algılayıcı modelinde, çıktı doğrusal bir fonksiyondur (Öztemel, 2012: 60). Girdi ve üç çıktısı olan, tek katmanlı algılayıcı modelinde gizli katman yoktur ve girdilerin kendi aralarında veri alışverişi söz konusu değildir. Literatürde tek katmanlı algılayıcılara örnek olarak, başlıca Perceptron modeli, Adaline modeli ve Madaline modelinden söz etmek mümkündür.

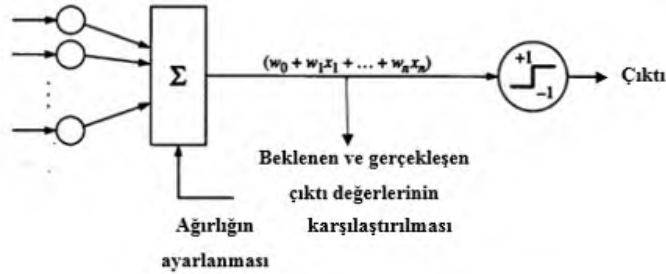
Perceptron modeli İlk YSA olarak bilinen en basit sinir ağı yapısıdır. Tek katmanlı algılayıcı (single-layer perceptron), diğer adı ile basit algılayıcı modeli, Frank Rosenbatt tarafından ileri sürülmüştür (Graupe, 2017: 17). Aşağıda görüldüğü üzere, perceptron modelinde, nöron tarafından, birden fazla girdi veya sinyali alarak, tek bir çıktı elde edilmesi söz konusudur. Ağ, ağırlık değerlerinin ayarlanması ile eğitilir. Net girdi değeri ile eşik girdi değeri kıyaslandığında, büyük veya küçük olma durumuna göre çıktı, sıfır veya bir değerini alacaktır (Öztemel, 2006: 63). Aşağıda Şekil 24'de görüldüğü üzere, perceptron ağ yapısına örnek verilmiştir.



Şekil 24. Perceptron Modeli Yapısı

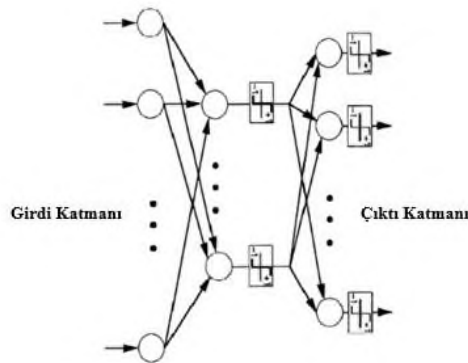
ADALINE Modeli “Adaptive Linear Element” kelimelerinin kısaltması olarak ifade edilmiş olup, anlamca adaptif doğrusal eleman anlamına gelmektedir. ADALINE modeli, 1959 yılında, Bernard Widrow ve Marcian Hoff tarafından geliştirilmiş bir modeldir (Anderson ve McNeill, 1992: 17). ADALINE modeli, Perceptron modelinden farklı olarak, farklı öğrenme algoritması ile çalışmaktadır. ADALINE modelinin kullandığı algoritma, en küçük kareler metodudur. Aynı zamanda, öğrenme algoritması, literatürde Widrow Hoff kuralı olarak geçen delta kuralı olarak ifade edilmektedir (Anderson ve McNeill, 1992 :17; Haykin, 1999: 118; Öztemel, 2006: 69). Aşağıda görüldüğü üzere, aktivasyon fonksiyonu +1 ve -1 olarak, iki uçludur (Fausett, 1993: 83). Beklenen ve gerçekleşen değere göre çıktı değerlerinin karşılaştırılması ile hata değeri hesaplanır ve hesaplanan hata değerini azaltmak amacıyla, ağırlıklar ayarlanmalıdır.

Hata değerinin minimum olduğu ağırlıklar ile hesaplamalar yapılacaktır (Widrow ve Lehr, 1990: 1417-1418; Öztemel, 2006: 70). Aşağıda Şekil 25’de görüldüğü üzere, ADALINE modeline yer verilmiştir.



Şekil 25. ADALINE Modeli

MADALINE Modeli Many ADALINE olarak ifade edilen model, birden çok ADALINE ağını ifade eden bir ağdır. 1959 yılında, Bernard Widrow ve Marcian Hoff tarafından geliştirilmiş bir model olan MADALINE modelinde (Anderson ve McNeill, 1992: 17), birden çok ADALINE ağının varlığı söz konusudur. MADALINE modeli, “AND” ve “OR” sonlandırıcıları ile çalışır (Widrow ve Lehr, 1990: 1421; Öztemel, 2006: 73). MADALINE modeli, “AND” sonlandırıcısı ile çalışması durumunda, çıktı bir değerini alırken; “OR” sonlandırıcısı ile sıfır değerini alacaktır (Rojas,1996:62, Öztemel,2006:73). MADALINE modeli, ilk gerçek dünya problemlerine uygulanan sinir ağı olma özelliği taşımaktadır. Hala yaygın olarak kullanılan MADALINE modeli, telefon hatlarındaki yankıları ortadan kaldırmak üzere uyarlanabilir bir filtre olarak kullanılmıştır (Anderson ve McNeill, 1992: 18). Aşağıda Şekil 26’da görüldüğü üzere, MADALINE modeline yer verilmiştir.



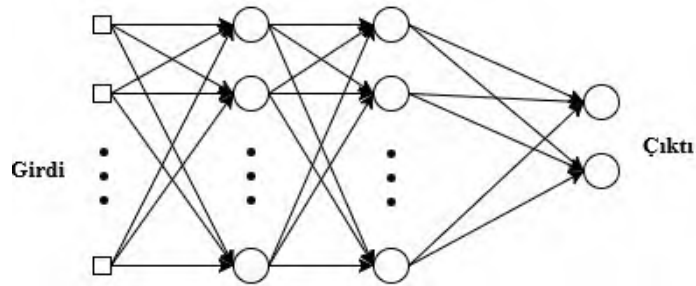
Şekil 26. MADALINE Modeli

2.3.3.1.1 Çok Katmanlı Algılayıcı

Doğrusal olmayan problemlerin çözümünde yetersiz kalan tek katmanlı algılayıcı modellerinin eksikliklerini gidermek, problemlere daha gerçekçi çözümler

geliştirmek adına gereklidir (Öztemel, 2006: 75). Bu sebeple, basit perceptron modelinden farklı olarak, geri yayılım (backpropagation) öğrenme algoritmasını kullanan çok katmanlı algılayıcı modeli (MLP, Multi-Layered Perceptron) ile doğrusal olmayan problemlere, basit perceptron modelinden hızlı olarak çözümler geliştirmek mümkündür (Arı ve Berberler, 2017: 59).

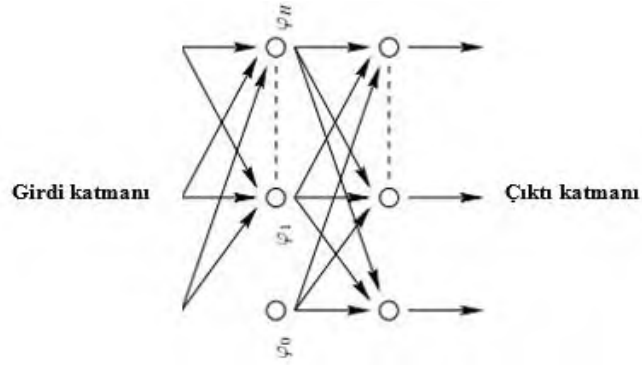
MLP modeli için geri yayılım öğrenme algoritması ilk kez Werbos tarafından önerilse de 1986 yılında Rumelhart vd. tarafından geliştirilmiştir (Jain, 1996: 33). MLP modeli olarak ifade edilen çok katmanlı algılayıcı modeli, genelde iki durumlu sigmoid işleme elemanlarından (aktivasyon fonksiyonu) veya ağırlıklandırılmış bağlantılar kullanarak işleme giren nöronlardan oluşur (Pal vd., 1992: 684). Aşağıda Şekil 26'da görüldüğü üzere, çok katmanlı algılayıcı modeli yer almaktadır.



Şekil 27. Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli
Kaynak: Hristev, 1998: 157

2.3.3.1.2 Radyal Tabanlı Ağ

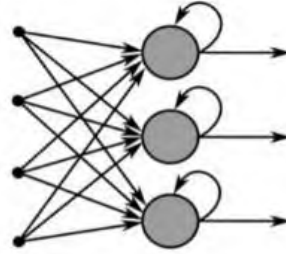
Radyal tabanlı ağ, çok boyutlu uzay sisteminde, eğri uydurma yaklaşımı (matematiksel fonksiyonu oluşturma işlemi) olarak ifade edilebilir. Girdi, ara ve çıktı olmak üzere üç katmandan oluşan Radyal tabanlı ağ, ağ modeli olarak, basit perceptron modeline benzemektedir. Farklı olarak ise, gauss aktivasyon fonksiyonunu kullanır (Jang ve Sun, 1993: 156). Radyal tabanlı ağın gizli katmanında, her bir nöronun radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonu mevcuttur (Hristev, 1998: 175). Aşağıda Şekil 28'de görüldüğü üzere, gizli katmanda radyal tabanlı fonksiyona sahip nöronlar ve girdi katmanı ve çıktı katmanı görülmektedir. Aşağıda Şekil 28'de görüldüğü üzere, radyal tabanlı ağ yapısına yer verilmiştir.



Şekil 28. Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı
Kaynak: Hristev R.M., 1998: 175

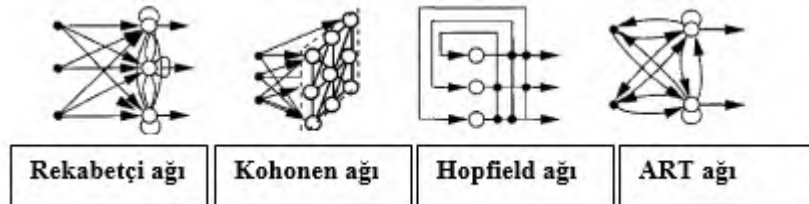
2.2.3.2 Geri Beslemeli Ağlar

Literatürde, geri beslemeli ağlar/ tekrarlayan (yinelemeli) ağlar olarak da ifade edilen yapay sinir ağlarında her katmanın çıktısı, önceki katmanlara girdi olabilir, etkileşim halindedir. Geri beslemeli ağlar, dinamik sistemler olarak tanımlanmaktadır (Suparta ve Alhasa,2016: 8-9). Yeni bir giriş işlemi gerçekleştiğinde, nöron çıktıları hesaplanacaktır. Ancak, geri besleme ile girişler kendinden önceki katmanları etkileyeceği için, ağ tekrar değişecek ve yeni bir öğrenme gerçekleşecektir. Bu sayede hem ileri akış hem de geri akış söz konusu olacaktır (Jain, 1996: 34). Aşağıda Şekil 29'da görüldüğü üzere, geri besleme bağlantısı olan ağ görseline yer verilmiştir.



Şekil 29. Geri Beslemeli Ağ
Kaynak: Hristev, 1998: 10

Aşağıda geri beslemeli ağ modellerinin görsel olarak, özet gösterimi mevcuttur.



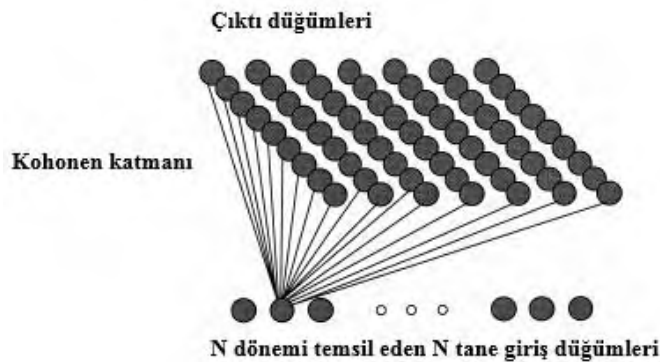
Şekil 30. Geri Beslemeli Ağ Modelleri Gösterimi
Kaynak: McNeill, 1992: 6; Jain vd., 1996: 5; Suparta ve Alhasa, 2016: 8

2.3.3.2.1 Rekabetçi Ağ

Rekabetçi ağlar, geri beslemeli ağlar sınıfında, rekabetçi öğrenme algoritmasına dayanmaktadır. Rekabetçi öğrenmede, bir sinir ağının çıkış nöronları aktif olmak için kendi aralarında rekabet eder. Sonuç olarak, sadece bir çıktı birimi etkindir. Rekabetçi öğrenme algoritması temelli bu ağ, girdileri kümeler veya kategorize eder. Benzer desenler gruplandırılarak, tek bir birim tarafından temsil edilmektedir. Gruplandırma, veri korelasyonuna uygun olarak, otomatik yapılmaktadır (Jain, 1996: 35).

2.3.3.2.2 Kohonen SOM Ağı

Kohonen tarafından, “Self Organizing Maps” isimli çalışma ile geliştirilmiş olan Kohonen SOM ağı, “Özörgütlemeli Özellik Haritası” olarak ifade edilmektedir (Kohonen, 1990: 1465). SOM ağı girdi ve çıktı olmak üzere iki katmandan oluşmaktadır (Jain, 1996: 40; Öztemel, 2006: 181). Çıktı katmanı bir düzlem olarak tanımlanmış olup, düzlem üzerinde çıktı düğümleri dağılmış haldedir. Çıktı nöronlarının (düğümlerinin) dağılımı genelde dikdörtgenseldir ancak; altıgen, doğrusal ve küp gibi şekillere de sahip olmaları mümkündür (Bircan vd., 2006: 222). Aşağıda Şekil 31’de görüldüğü üzere, SOM ağı topolojisi yer almaktadır.



Şekil 31. SOM Ağı Topolojisi

Kaynak: Roussinov, 1999:70

SOM ağları, genel olarak sınıflandırma problemlerinin çözümünde etkin olarak kullanılmaktadır (Öztemel, 2006: 181). Aynı zamanda kümeleme problemleri ve boyut azaltma sorunları için de etkin olarak kullanıldığı gibi (Roussinov, 1999: 70); görüntü işleme, konuşma tanıma uygulamaları, robotik süreç kontrolü alanlarında da başarılı bir yapay sinir ağıdır (Jain, 1996: 40).

2.3.3.2.3 Hopfield Ağı

Hopfield ağları, klasik yöntemlerle modellenmesi zor olan en iyileme problemlerinin çözümünde etkin olarak kullanılmaktadır (Jain, 1996: 41). Kesikli Hopfield ağı ve Sürekli Hopfield ağı olmak üzere, iki tür Hopfield ağı vardır. Discrete

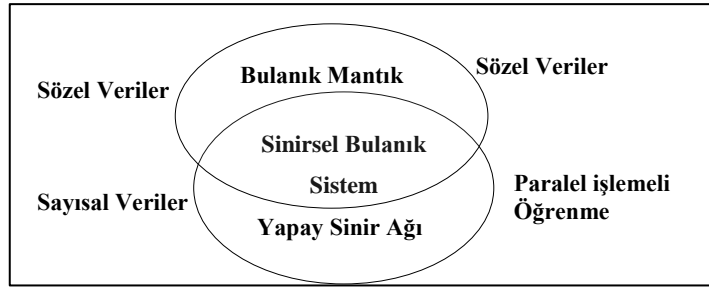
olarak ifade edilen Kesikli Hopfield ağı, erişimli bellek olarak kullanılmaları söz konusudur. Continuous olarak ifade edilen, Sürekli Hopfield ağı ise kombinatoryal optimizasyon problemlerinde (karar değişkenlerinin kesikli değere sahip olduğu optimizasyon problemlerinde) etkindirler (Öztemel, 2006: 175).

2.3.3.2.4 Adaptive-Resonance Theory (ART) Ağ

Uyarlamalı Rezonans Teori veya Adaptif Rezonans Teori olarak ifade edilen ART ağı, doğru veriler kısa dönemli veya uzun dönemli hafızaya alınarak, problem hakkında yorumlama yapabilmesi esasına dayanan bir sistemdir (Öztemel, 2006: 137). Biyolojik sinir ağına, işlevsel olarak en çok benzeyen bu model, öğrenme sonucunda hafızasındaki verileri de işleme potansiyeline sahiptir (Graupe, 2007: 180).

2.3 Sinirsel Bulanık Sistemler

Yapay sinir ağlarının avantajlarından, paralellik özelliği ile doğrusal olmayan nümerik bilgilerden haritalama yapabilmesi söz konusudur. Yapay sinir ağlarında var olan veri ağırlıklarının sisteme dağılmış olması ise dezavantaj olarak görülmektedir. Ağırlıkların özelliklerini dilsel olarak açıklamak zordur. Dilsel değişkenlerin doğası gereği, belirsizlik unsuruna sahiptirler (Cheng vd., 1999: 423). Bulanık sistemlerde ise, dilsel değişkenler ile sistem bilgisi açıklanabilirken, bulanık sistem öğrenme algoritmasına sahip değildir. YSA, var olan verilerden öğrenebilir, ancak bilginin ifadesi ve anlaşılması çok mümkün değildir. Bulanık mantık yaklaşımında kullanılan dilsel değişkenler, insan gibi karar alma, uzman deneyim ve görüşlerinden faydalanma özellikleri ile YSA'nın öğrenme kabiliyeti birleşmesinin ifadesi Sinirsel Bulanık Mantık Yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır (Rojas, 1996: 290). Sinirsel bulanık sistemlerde YSA sayesinde, bulanık sistemlerden, öğrenmenin karakteristik hesaplamalarını, sistem temsilinin yorumu ve netliğini alarak sisteme tanıtır. Bu yaklaşım sayesinde, YSA ve bulanık sistemin dezavantajları giderilmiş olacaktır (Vieira vd., 2004: 2). Sinirsel bulanık sistemler, sayısal ve sözel verilerden anlamsal bir ilişki çıkarılmasına olanak sağlarlar. Ayrıca, sayısal verilerden de bulanık verinin elde edilmesi mümkündür. Aşağıda Şekil 32'de görüldüğü üzere, sinirsel bulanık sistemlerin bulanık mantık ve yapay sinir ağı yöntemlerinden oluşumunun gösterimi yer almaktadır. Bulanık mantık, sözel veriler ile işlenirken, yapay sinir ağı sayısal veriler ve paralel işlemeli öğrenme ile geliştirilmektedir. Bu bağlamda, sinirsel bulanık bir sistem bulanık mantık ve yapay sinir ağı yöntemlerinin avantajlarına sahiptir.



Şekil 32. Sinirsel-Bulanık Sistem Gösterimi

YSA, karar destek sistemi olarak kullanılan bulanık mantık sisteminin üyelik işlevlerini kodlamak adına kullanılır. Bulanık mantık dilsel değişkenler sayesinde uzman bilgisi, teknik bilgi vs. faydalanarak kodlayabilse de dilsel değişkenlerin üyelik fonksiyonlarını belirlemek, bulanık hale getirmek fazlasıyla zaman almaktadır. Sinirsel ağ öğrenme teknikleri sayesinde, süreç otomatikleştirilirken, aynı zamanda, sürecin tamamlanma süresi kısalmaktadır. Bu sayede süreçten alınan performans artarken, süreci geliştirme süresi azalacak, maliyetler de önemli ölçüde azalacaktır (Fuller, 1995: 5).

YSA ve Bulanık Mantığa dayalı yöntemlerin kombinasyonları nöro-bulanık sistemler olarak da ifade edilmektedir. Sinirsel bulanık sistemler, sinirsel-bulanık sonuçlandırma sistemleri ve bulanık sinir ağı olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir (Cirstea vd., 2002: 56).

Sinirsel bulanık sistemde, öğrenme YSA içerisindeki ağırlık ve fonksiyona uygun yöntemle sağlanmaktadır. Öğrenme tamamlandıktan sonra, YSA olmadan da sistem işler haldedir. YSA eğitim aşamasında, karar verme aşamasında da bulanık mantığı, sistem etkin bir şekilde kullanılmaktadır. YSA ve BM'nin kullanım sırası durumuna göre işbirlikli sistemler, eş zamanlı sistemler ve hibrit nöro-bulanık sistemler olmak üzere farklı yöntemler mevcuttur (Vieira vd., 2004: 2).

İşbirlikli Sistemler YSA, sadece başlangıç aşamasında kullanılıyorsa, bu tür sistemler, "işbirlikli sinirsel bulanık sistem" (Cooperative Neuro-Fuzzy System) olarak ifade edilmektedir. YSA tarafından, bulanık mantık sistemindeki bulanık kümeler veya bulanık kurallardan öğrenme mekanizmasının alt blokları belirlenir, buna ön işleme aşaması da denilmektedir. Bulanık alt blokların hesaplanmasından sonra, sistem öğrenme işlemini tamamlamıştır. YSA çalışmaya devam eder (Vieira vd., 2004: 3). Kısaca işbirlikli yaklaşımlar, bulanık sistemin belirli parametrelerini optimize etmek veya verileri önceden işlemek ve bulanık (kontrol) çıkarmak için YSA'yı kullanır (Fuller, 1995: 208).

Eş zamanlı sistemler YSA ve BM (Bulanık Mantık)'ın beraber çalıştığı sistemleri tanımlar. YSA, bulanık sistemle beraber çalıştığı için, tam anlamıyla bir nöro-bulanık sistem değildir. Eş zamanlı sistemlerde girdi (input) önceden işlenerek bulanık sisteme girer. Daha sonra YSA tarafından, eş zamanlı sistemin çıktıları (output) veya girdileri (input) işlenir.

Hibrit nöro-bulanık sistemler öğrenmeyi deşradelere (geçişli) dayalı bir şekilde öğrenme algoritması kullanarak, girdi ve çıktı yoluyla, bulanık kümeler ve bulanık kurallar olan parametrelerini belirlemek maksadıyla sinir ağıları teorisini kullanır. Melez sistem, net bir aktarım fonksiyonu, ağırlık ve net sinyallere sahiptir (Fuller, 1995: 7-8).

Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neural-Fuzzy Inference System) olmak üzere pek çok hibrit sistem mevcuttur. Aşağıda Tablo 8'de görüldüğü üzere, literatürde yer alan hibrit nöro-bulanık sistemlerden birçoğu tablo olarak gösterilmiştir.

Tablo 8. Hibrit Nöro-Bulanık Sistemler

Yöntemin Adı	Yöntemin İngilizce Adı	Yöntemin Kısaltması	Yazar/lar	Kaynak:
Bulanık Uyarlanabilir Öğrenme Kontrol Ağı	Fuzzy Adaptive Learning Control Network	FALCON	Lin	Lin ve Lee, 1991: 1
Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi	Adaptive-Neural-Fuzzy Inference System	ANFIS	Jang	Kasabov ve Song, 1999: 1
Zeki Kontrol Tabanlı Genelleştirilmiş Yakınsama Çıkarımı	Generalized Approximate Reasoning based Intelligence Control	GARIC	Berenji ve Khedkar	Berenji ve Khedkar, 1992: 727
Bulanık Ağ	Fuzzy Net	FUN	Sulzberger vd.	Sulzberger vd., 1993: 312-313
Bulanık Çıkarım Yazılımda Bulanık Çıkarım ve Sinir Ağı	Fuzzy Inference and Neural Network in Fuzzy Inference Software	FINEST	Tano vd.	Tano vd., 1996: 153
Sinirsel Bulanık Denetleyici	Neuro Fuzzy Controller	NEFCON	Nauck ve Kurse	Nauck ve Kurse, 1997: 263
Kendi Kendine Oluşturan Sinirsel Bulanık Çıkarım Ağı	Self Constructing Neural Fuzzy Inference Network	SONFIN	Juang ve Lin	Juang ve Lin, 1998: 14-15
Bulanık Sinir Ağları	Fuzzy Neural Network	FNN	Fgueiredo ve Gomide	Fgueiredo ve Gomide, 1999: 817-818
Dinamik Hesaplamalı Sinirsel Bulanık Ağ	Dynamic Evolving Fuzzy Neural Network	EFuNN and dmEFuNN	Kasabov ve Song	Kasabov ve Song, 1999: 1

2.4 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım sistemi, 1993 yılında Jyh-Shing Roger Jang tarafından önerilmiştir. ANFIS, sayısal girdileri bir çıktıya eşlemek için ağırlıklandırılmış, birbirine bağlı sinir ağı işleme elemanları ve bilgi bağlantıları yoluyla verilen girdileri istenen bir çıktıya dönüştürmek için bulanık mantık kullanan bir veri öğrenme tekniğidir (Al-Hmouz vd., 2012: 229). ANFIS, iki esnek hesaplama metodu olan, yapay sinir ağı ve bulanık mantık metotlarının kombinasyonu olarak tanımlamak mümkündür (Suparta ve Alhasa, 2016: 10).

Literatür incelendiğinde, ANFIS metodu, Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi, Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi, Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi, Sinirsel Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi gibi isimlerle de ifade edilmiştir.

Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), bulanık mantık ve YSA olmak üzere iki yöntemin birleşiminden meydana gelen bir yapıdır. Bulanık mantığın insan bilgisinin nitel yönleri ve nicel analiz sürecine ilişkin iç görüleri değiştirmeye sahip oluşuyla YSA'nın ortama uygun öğrenme süreci yeteneğinin birleşimidir. Bu sayede bulanık mantığın insanın düşünüş biçimini kural tabanlı bir sistem ile bulanık çıkarım sistemine dönüştürmesinde bir rehber yönetime sahip olmayışı ve üyelik fonksiyonlarının nasıl belirlendiğine dair karmaşıklığı yaşanan hata oranını artırır (Jang, 1993: 666). YSA ile üyelik derecelerini otomatik ayarlamak ve bulanık mantık kurallarının belirlenmesinde hata oranını azaltmak mümkündür (Suparta ve Alhasa, 2016: 10).

ANFIS, işlevsel olarak bir Takagi Sugeno tipi çıkarım modeli ile aynı olan bir sinir ağıdır. ANFIS, YSA'nın iyi kurulmuş öğrenme yasalarını ve bulanık mantık teorisinin dilsel şeffaflığını adaptif ağlar çerçevesinde birleştiren çekici, güçlü bir modelleme tekniği haline gelmiştir. Jang' a göre adaptif bir ağ, düğümlerin birbirine bağlandığı düğümlerden ve yön bağlantılarından oluşan bir ağ yapısıdır. Düğümler bir işlemi gösterirken, düğümler arası bağlantılar da düğümler arası ilişkiyi temsil eder. Düğümlerin, bir kısmı veya tamamı uyarlanabilir olabilir. Düğümlerin uyarlanabilir oluşu, her bir çıktısının bu düğümle ilgili parametrelere bağlı olduğu anlamına gelir. Öğrenme sayesinde, parametrelerde öngörülen hata ölçüsünü en aza indirmek için parametreler güncellenmektedir (Jang, 1993: 666).

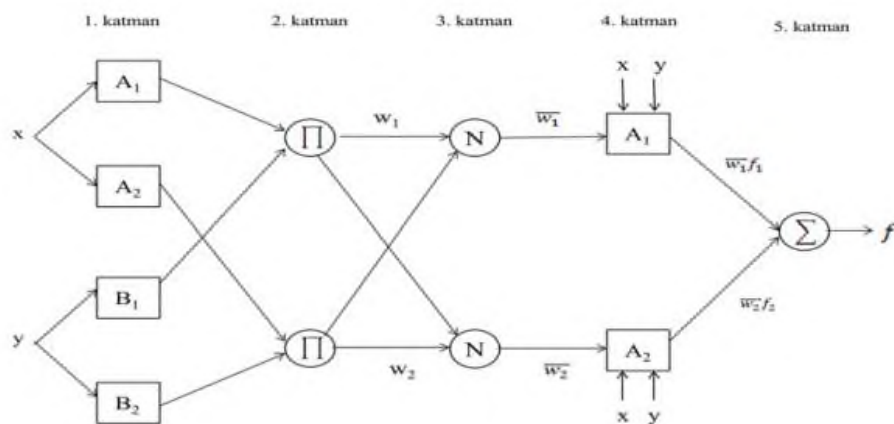
2.4.1 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi'nin Yapısı

Jang'a göre, ANFIS, işlevsel olarak bir Takagi Sugeno tipi çıkarım modeli ile aynı olan bir sinir ağıdır. Aynı zamanda öğrenme algoritmasında denetimli öğrenmeyi kullanan uyarlamalı bir ağıdır. Takagi-Sugeno modeli için, iki tane IF-THEN kuralı kullanılmıştır. "x" ve "y" gibi iki girdili, "f" gibi tek çıkışlı bir model öngörürsek, aşağıdaki gibi iki tane IF-THEN kuralı mümkün olacaktır. A_1, A_2, B_1, B_2 ifadeleri, x ve y girdileri için üyelik fonksiyonudur. $p_1, p_2, q_1, q_2, r_1, r_2$ ifadeleri, Takagi-Sugeno modeline göre doğrusal parametrelerdir. Literatürde sonuç parametreleri olarak da geçer. (Sparta ve Alhasa, 2016: 12).

$$\text{Kural 1} = \text{IF } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \text{ THEN } f_1 = p_1x + q_1y + r_1$$

$$\text{Kural 2} = \text{IF } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2 \text{ THEN } f_2 = p_2x + q_2y + r_2$$

Aşağıda gösterilmiş olan ANFIS yapısında, karelerle gösterilen uyarlanabilir düğümler, bu düğümlerde ayarlanabilen parametre kümelerini temsil eder. Tersine, daireler ile gösterilen sabit düğümler, modelde sabit olan parametre kümelerini temsil eder (Şen, 2004: 130). Aşağıdaki ANFIS modelinde, x ve y değerleri girdi değerlerini temsil ederken, A_i ve B_i değerleri dilsel değişkenleri temsil eder. F değeri ise çıktı değerini ifade etmektedir. Modelde, kullanılacak birçok üyelik fonksiyonu türü vardır. Genellikle maksimum ve minimum 1 ve 0'a eşit olan Gauss şekilli bir fonksiyon kabul edilir (Jang, 1993: 670). Aşağıdaki ANFIS modeli katmanlarının açıklaması, Jyh-Shing Roger Jang'ın 1993 yılındaki "ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System" isimli çalışmasından yararlanarak açıklanmıştır.



Şekil 33. ANFIS Modeli

Kaynak: Jang, 1993: 668

Yukarıdaki modelde, x ve y değerleri dilsel değişkenlerdir. A_1 ve A_2 değerleri, x ifadesinin, B_1 ve B_2 değerleri ise y ifadesinin dilsel değerlerini temsil eder. Örneğin,

x 'in hava sıcaklığını temsil ettiği bir durumda A_1 ve A_2 sıcak ve soğuk olması muhtemeldir. Aynı şekilde y ifadesi boy uzunluğunu temsil ediyorsa, B_1 ve B_2 değerleri, kısa ve uzun olarak ifade edilebilir.

Katman 1 (Bulanıklaştırma): Bu katmandaki parametreler öncül parametreleri olarak tanımlanır. Her bir düğüm, üyelik fonksiyonu düğümüdür. Aktivasyon fonksiyonları, üyelik fonksiyonlarıdır. Giriş katmanı olarak da ifade edilen bu katmanda, girişleri üyelik işlevleri aracılığıyla bulanık bir kümeye dönüştürülür. Bulanık olarak tanımlanan düğüm işlevlerine sahip uyarlanabilir düğümler içerir. Aşağıdaki cebirsel ifadede " x " değeri, " i " düğümüne girdi, giriş olarak tanımlanmaktadır. " O_i^1 " değeri, " A_i " ifadesinin üyelik fonksiyonunu temsil etmektedir. " O_i^1 " üyelik fonksiyonu, " x " girdisinin dilsel değişken olan (niceleyici) " A_i " değerini ne derecede karşıladığını gösterir.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x)$$

Katman 2 (Bulanık Kural Düğümü): Katman 2'de, her kuralın ateşleme gücü hesaplanır. Bu katmandaki her düğüm, bir daire ile işaretlenmiş ve Π ile etiketlenmiş sabit bir düğümdür ve düğüm işlevi, çıkış sinyali olarak hizmet etmek için giriş sinyalleriyle çarpılır. Çıkış sinyali w_i kuralın ateşleme gücünü temsil eder. Bu katmanda t-norm operatörleri de kullanılabilir.

$$O_i^2 = w_i = \mu_{A_i}(x) * \mu_{B_i}(y), i = 1,2$$

Katman 3 (Normalizasyon): Katman 3'de her kuralın hesaplanmış ateşleme gücünün normalizasyon işlemi yapılmaktadır. Normalizasyon katmanı olarak da ifade edilir. Katmandaki her düğüm sabit bir düğüm olarak kabul edilir. N düğümü ile normalize edilir. Çıktı, \bar{w} normalize ateşleme gücü olarak tanımlanır.

$$O_i^3 = \bar{w} = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i=1,2$$

Katman 4 (Bulanık Çıkarım): Her kuralın çıktısının tahmin edildiği bu katman, durulaştırma katmanı olarak ifade edilir. Bu katmandaki her düğüm ayarlanabilir bir düğümdür. Aşağıdaki cebirsel ifadede, p_i, q_i, r_i değerleri sonuç parametreleridir.

$$O_i^4 = \bar{W}_i \cdot f_i = \bar{W}_i \cdot (p_i x + q_i x + r_i)$$

Katman 5 (Durulaştırma): Çıktıların toplamının hesaplandığı bu katman, toplam katmanı olarak ifade edilmiştir. Bu katmandaki her düğüm sabit bir düğüm olarak kabul edilir. Aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

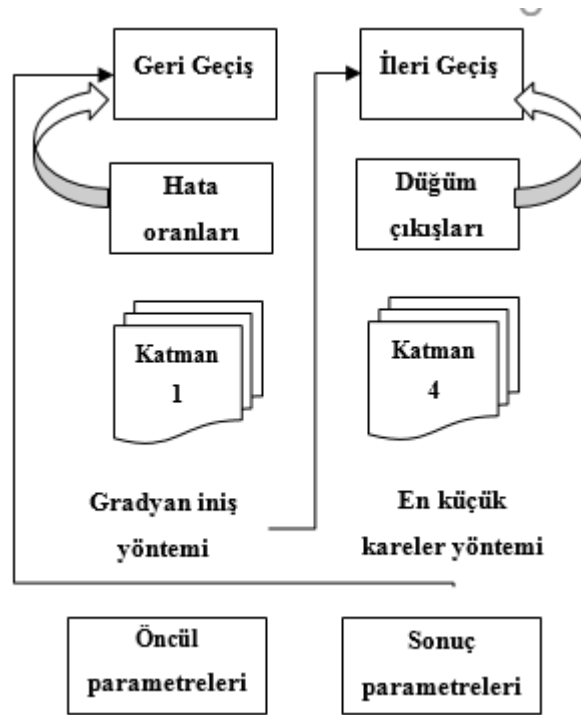
$$O_i^5 = \sum w_i f_i = \frac{\sum w_i f_i}{w_i} = f_{çıkıtı} = \text{Toplam Çıktı}$$

2.4.2 ANFIS Öğrenme Algoritması

ANFIS metodunun öğrenme algoritması, benzersiz bir giriş sinyali ve karşılık gelen istenen yanıtın oluşması için nöral sinaptik ağırlıkların değiştirilmesini içerir (Haykin, 1999: 25). ANFIS yönteminde bir dizi girdi ve çıktı değerleri verildiğinde, veri davranışının modellendiği bir dizi kuralı çıkartmaktadır (Jang vd., 1997: 27). Kısaca, ANFIS parametreleri verilen bir dizi girdi ve çıktı değerleri ile öğrenme algoritmasını kullanarak optimize eder, denebilir. Öğrenme kavramı, FIS ve bir dizi girdi ve çıktı değerlerine dayalı geri yayılım algoritmasını kullanmak ile ilgilidir (Jang vd., 1997: 2). Adaptif ağlardan meydana gelen melez yapıdaki yapay zekâ yöntemlerinden biri olan ANFIS'in öğrenme algoritması, çoklu katmanlı ileri beslemeli sinir ağlarında kullanılan geri yayılım öğrenme algoritması ile tamamen aynıdır.

Basit bir adaptif ağ öğrenirken, gradyan iniş, geri yayılım veya zincir kuralı algoritmalarını kullanır (Werbos, 1988: 340-341). Günümüzde gradyan iniş ve geri yayılımı bir ağda öğrenme algoritması olarak hala kullanılabilirken, ağların karar alırken kapasitesinin ve doğruluğunun azalması sorunu ile karşılaşabilmektedir (Wayan ve Alhasa, 2016: 11). Aynı zamanda yavaşlığı ile bilinen gradyan iniş algoritması ile yerel minimada sıkışma söz konusu olmaktadır (Jang, 1993: 666). Bu gibi sebeplerle, Jang tarafından, gradyan inişi ve en küçük kareler yöntemini birleştiren melez bir algoritma sunulmuştur (Jang, 1996: 1485). Doğrusal olan parametreler için en küçük kareler yöntemini, doğrusal olmayan parametreler için ise geri yayımlı (backpropagation) gradyan inişini (gradian descent) uygulamaktadır (Jang ve Gulley, 1997: 10).

ANFIS öğrenme prosesinde, ileri geçiş ve geri geçiş olmak üzere iki geçiş söz konusudur (Tortum vd., 2009: 6201). Öğrenme algoritmasının ileri geçişinde, sonuç parametreleri en küçük kareler yöntemi ile tanımlanır. Geriye doğru geçişte, her düğüm çıkışına göre kare hatanın türevleri olan hata sinyalleri, çıkış katmanından giriş katmanına geriye doğru yayılır. Bu geriye doğru geçişte, öncül parametreleri gradyan iniş algoritması tarafından güncellenir. Aşağıdaki işlem, ANFIS modelinin hata eşiğine ulaşana dek ya da kullanıcı tarafından girilen çevrim sayısına ulaşana kadar tekrarlanır (Haykin, 1999: 772-73).



Şekil 34. ANFIS Öğrenme Prosesi Gösterimi
Kaynak: Tortum A. vd., 2009: 6201

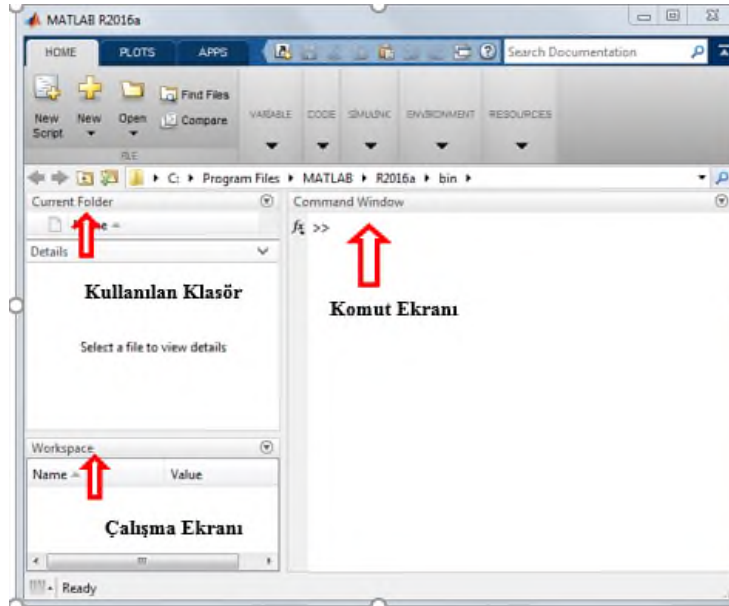
ANFIS, giriş değişkenlerinden oluşan n boyutlu giriş alanını, belirli bölgelere bölerek, bölünen her alandaki çıkarımın sonucunu hesaplayarak, bir bulanık çıkarım işlemi gerçekleştirmektedir. ANFIS, n boyutlu bir uzayı bölmek için, bulanık bölümlene yöntemlerinden, grid partitioning ve scatter partitioning metodlarını kullanmaktadır. Scatter partitioning, sub. clustering (subtractive clustering -SC) ve fuzzy C-means (FCM) clustering ve context-based fuzzy C-means (CFCM) clustering yöntemlerini kapsamaktadır. Grid partitioning yöntemi, kümeleme olmadan, eşit bölümleri oluşturmak adına, tüm giriş değişkenleri için benzer ve simetrik üyelik fonksiyonu (MFs, membership function) kullanmaktadır. Sub. clustering metodu ise, verileri alt kümelere (gruplara) ayırarak, gerekli minimum kural sayısına sahip FIS oluşturur. Sub. clustering metodunda, veri noktası küme merkezleri için aday olarak kabul edilir. Hesaplama, veri noktalarının sayısı ile orantılı olarak, söz konusu problemin boyutundan ise bağımsızdır. Her iki yöntem de ANFIS öğrenmesinde yukarıda bahsedilmiş olan, tüm parametreler için geri yayılma (back-propagation, BP), giriş üyelik fonksiyonları ile ilişkili parametreler için hibrit yöntem ve çıktı üyelik işlevleri ile ilişkili parametreler için en küçük kareler yöntemini kullanır (Shahri, 2008: 752) C-means clustering, literatürde K-means clustering olarak da bilinir. Radyal tabanlı fonksiyon ağlarını ve heterojen sinir ağı yapılarında görev ayrıştırmasını kullanan sistem modellemesi için, görüntü ve konuşma verisi sıkıştırma verilerinin ön

işlenmesini uygulayan bir yöntemdir. Fuzzy C-means, literatürde fuzzy ISODATA olarak bilinir. Her veri noktasının, üyelik derecesi ile belirlenen, bir dereceye kadar bir kümeye ait olduğu veri kümeleme algoritması olarak tanımlanabilir (Dunn, 2013: 33).

2.4.3 MATLAB ANFIS Modellemesi

MATLAB (Matrix Laboratory) R2016a versiyonu kullanılarak, ANFIS hibrit nöro-bulanık sisteminin yapısına dair bilgiler verilecektir. Bu bilgiler, The MathWork web sitesinden indirilmiş olan, Fuzzy Logic Toolbox for Use with MATLAB User's Verson 2'den faydalanarak açıklanmıştır.

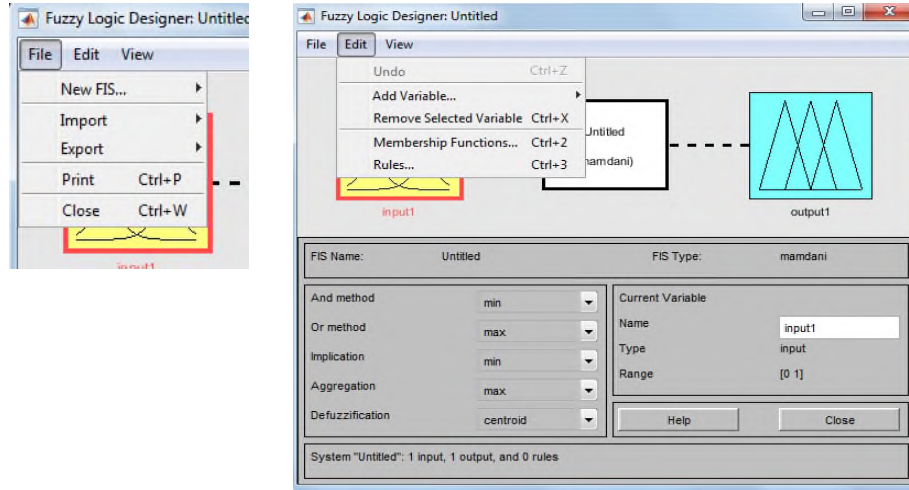
Aşağıdaki görsel, MATLAB R2016a versiyonunun açılış ekranıdır. Ekranda görülen, “current folder”, “command window”, “workspace” alanları sırasıyla “kullanılan klasör”, “komut ekranı” ve “çalışma alanı” bölümlerini ifade etmektedir. MATLAB uygulamasının farklı versiyonlarında karşılaşılabilecek olan komut geçmişini “command history alanı, MATLAB uygulamasında daha önce yazılmış olan komutların görüldüğü bir bölümdür. Kullanılan klasör, çalışmanın kaydedildiği veya kaydedilmiş olan çalışmaların görülebildiği bölümdür. Komut ekranı, MATLAB uygulamasına girilen komutların yazıldığı bölümdür. Çalışma alanı, uygulamadaki parametrelerin görülebildiği bir alandır. Bu alanda, parametrelerin isim, boyut gibi bilgileri mevcuttur.



Şekil 35. MATLAB R2016a Ekranı

MATLAB R2016a komut ekranına, “fuzzy” komutu yazılarak FIS Editör’e ulaşılmaktadır. Aşağıdaki görsel FIS Editör’e aittir. Görselde, “edit” menüsünde görülmekte olan “add variable”, “remove selected variable”, “membership functions”, “rules” seçenekleri mevcuttur. Bu seçenekler ile sırasıyla yeni değişkenler eklenebilir,

seçilmiş değişkenler kaldırılabilir, üyelik fonksiyonları düzenlenebilir, kurallar eklemek ve düzenlemek mümkündür. “File” seçeneği tıklandığında ise “new FIS”, “import”, “export” gibi seçenekler mevcuttur. “New FIS” seçeneği ile “Mamdani” veya “Sugeno” tipi yeni FIS editör açmak mümkündür. “Import” veya “export” seçenekleri ile çalışma alanından ya da dosyadan veriler getirilebilir.

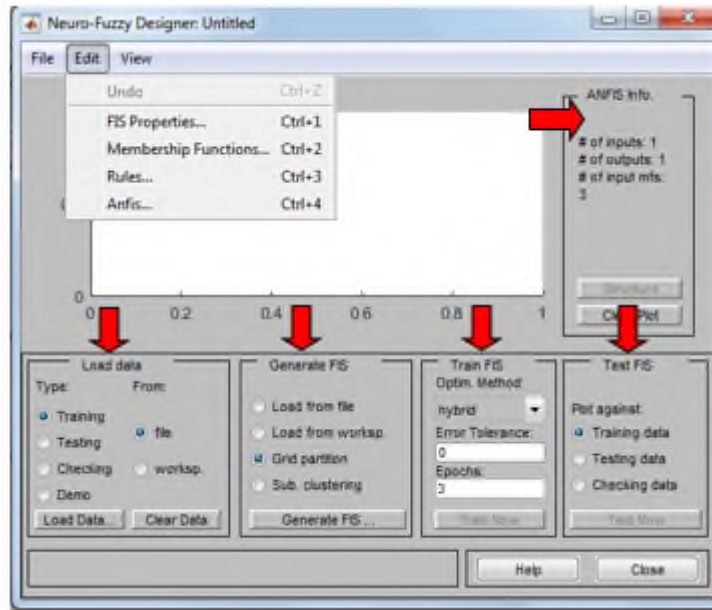


Şekil 36. FIS Editör Ekranı

MATLAB R2016a komut ekranına, “anfisedit” komutu girildiğinde, aşağıdaki ANFIS Editör ekranı arayüzüne ulaşılabilecektir. Arayüz ekranı aynı zamanda, GUI ekranı olarak ifade edilir. GUI kelimesi, “graphical user interface” kelimelerinin baş harflerini temsil eder ve “grafiksel kullanıcı ara yüzü” anlamına gelmektedir. GUI ekranında yer alan “File” seçeneği, FIS Editör ile aynı sistematığe sahip olduğundan tekrar açıklanmamıştır. “Edit” menüsünde yer alan “FIS properties”, “membership function”, “rules” seçenekleri mevcuttur. Bu seçenekler sayesinde sırasıyla ile FIS özellikleri değiştirilebilir, üyelik fonksiyonları düzenlenebilir ve kurallar görüntülenebilir.

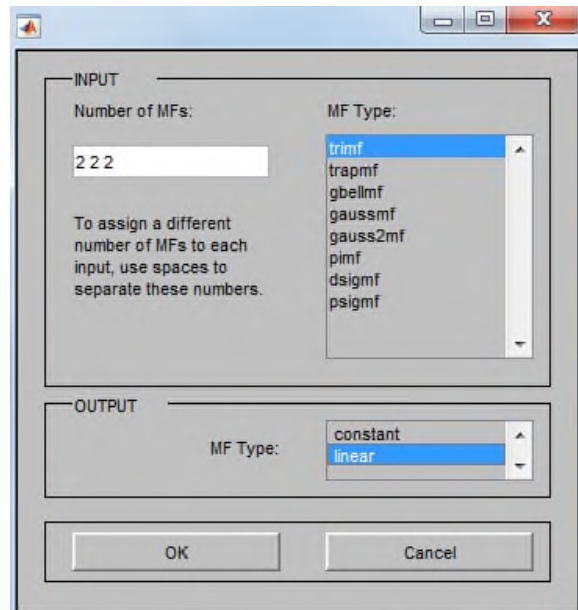
Aşağıdaki görselde, kırmızı oklarla gösterilmiş olan, “ANFIS info”, “load data”, “generate FIS”, “train FIS”, “test FIS” bölümleri mevcuttur. “ANFIS info” bölümünde, uygulamada kaç tane girdi, çıktı ve üyelik fonksiyonuna dair bilgiler yer almaktadır. “Load data” bölümünde eğitim, test, kontrol verilerinin dosyadan ya da çalışma alanından yüklenmesi mümkündür. “Generate FIS” bölümünde, modeli hangi yöntem ile oluşturacağımızı seçtiğimiz bir alandır. Dosyadan ya da çalışma alanından model aktarılabileceği gibi, ızgara bölümlene yöntemi (grid partition) ya da alt kümeleme (sub-clustering) yöntemi ile de oluşturulabilir. “Train FIS” bölümünde, “error tolerance” ve “epoch” seçenekleri sırasıyla “hata toleransı” ve “iterasyon sayısı” olarak ifade edilmektedir. Hata toleransı, modelde katlanılabilecek maksimum hata oranını

ifade ederken, iterasyon sayısı ile modelin kaç devir çevrileceğini belirtmektedir. “Test FIS” bölümünde, “eğitim datası”, “test datası”, “kontrol datası” gibi verileri test edilmektedir.

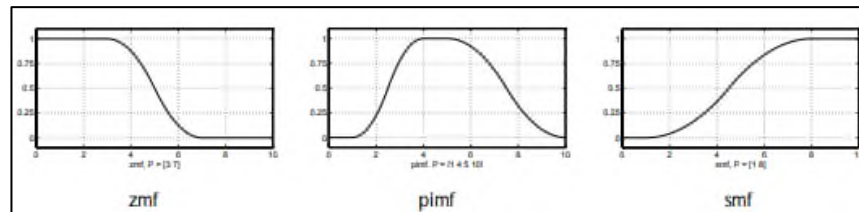


Şekil 37. ANFIS Editör Ekranı

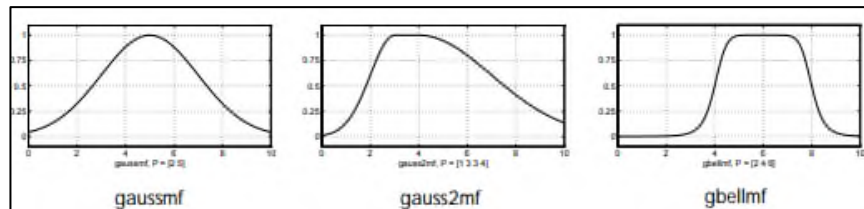
Test ve eğitim verileri yüklendikten sonra, grid partition veya sub-clustering seçeneklerinden, grid partion yöntemi seçili olduğunda, “Generate FIS” bölümünde çıkan ekran, aşağıdaki gibidir. Bu pencerede, input üyelik fonksiyonu sayısı belirlendikten sonra, görselde var olan üyelik fonksiyonu türleri tek tek denenerek, hata toleransının en küçük olduğu üyelik fonksiyonu türü seçilmelidir. Output türü ise, constant “sabit” ve linear “doğrusal” olarak seçilebilmektedir. Zero-order Sugeno bulanık modeli kullanıldığında “constant”, first-order Sugeno modeli kullanıldığında ise, “linear” ifadesi işaretlenmelidir. Aşağıda Şekil 38’de görüldüğü üzere, ANFIS Editör “Generate FIS” arayüzü ve Şekil 39, Şekil 40, Şekil 41, Şekil 42’de bu arayüzde yer alan üyelik fonksiyonlarının grafiklerine yer verilmiştir. (Jang vd., 1997:11)



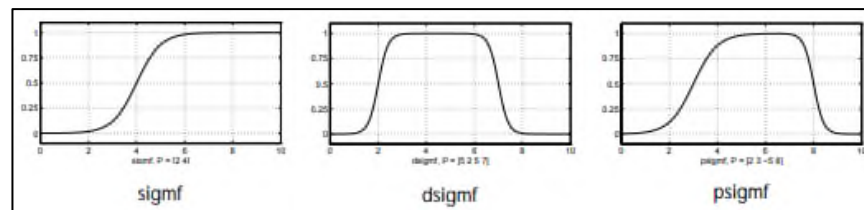
Şekil 38. ANFIS Editör “Generate FIS” Arayüzü



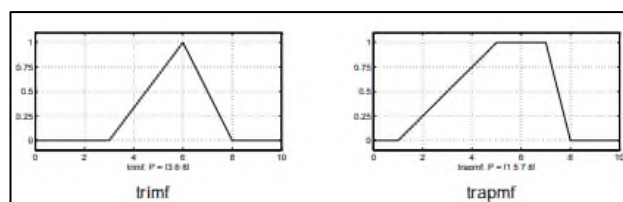
Şekil 39. zmf, pimf ve smf Fonksiyonları



Şekil 40. gaussmf, gauss2mf ve gbellmf Fonksiyonları

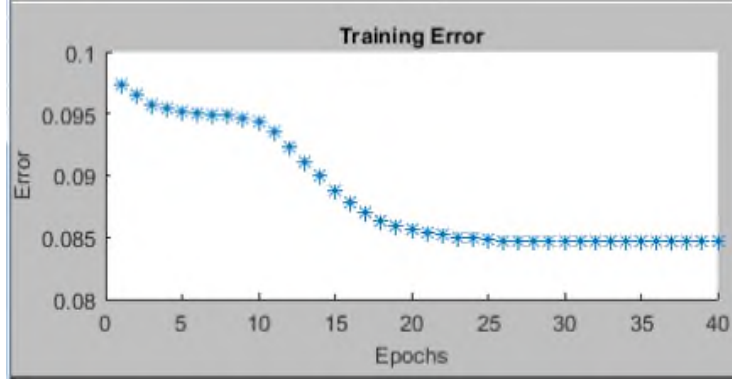


Şekil 41. sigmf, dsigmf ve psigmf Fonksiyonları



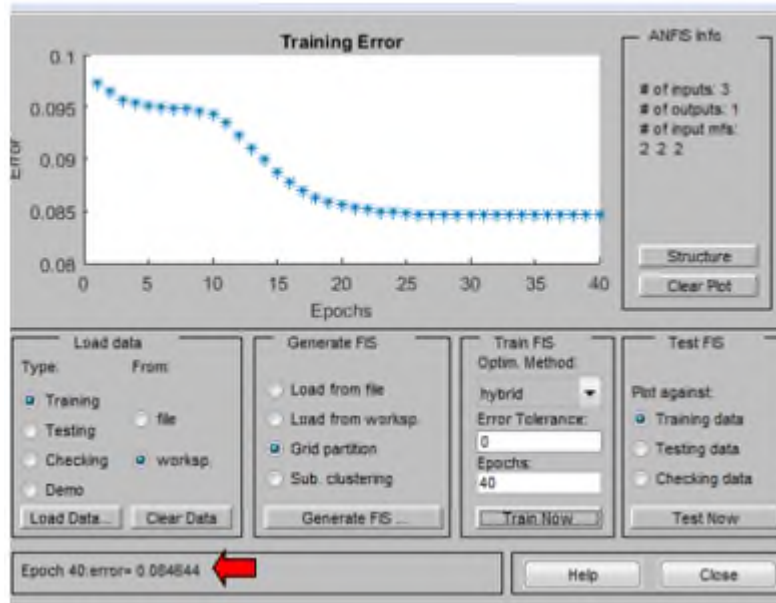
Şekil 42. trimf, trapmf Fonksiyonları

“Test now” butonuna basıldığında, GUI ekranında, “training error” değeri azalarak, bir noktadan sonra artık sabit bir değer alacaktır. Bu nokta aşırı uyum noktası (overfitting) olarak ifade edilmektedir. Görselde, yaklaşık 20 çevrimde, aşırı uyum noktasına ulaşılmıştır.



Şekil 43. Modelin Eğitilmesi

Aşağıdaki görselde, sol altta kırmızı ok ile işaret edilmiş olan “Epoch 40: error =0,084644” ifadesi, 40 çevrimde elde edilen hatayı ifade etmektedir. Anlaşılması gereken olgu, modelin 0,084644 hata ile modelin başarılı olduğudur. Hatanın en düşük olduğu model, en uygun model kabul edilmektedir. Daha sonra, Test FIS bölümü kullanılarak, uygulama test edilmektedir.



Şekil 44. Belirli Bir Çevrimde Elde Edilen Hata Değerinin Gösterimi

2.5 Performans Göstergeleri

Geliştirilen ANFIS modeli ve YSA modelinin performanslarının karşılaştırılması için çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Bu maksatla, veri seti SPSS 2020 (Statistical Package for the Social Sciences) programına aktarılarak, çoklu regresyon analizi ile

tahminleme yapılmıştır. Geliştirilen çoklu regresyon analizi modeli, ANFIS modeli ve YSA modelinin çıktıları ortalama ve standart hata değerleri incelenmiştir. Ardından, her üç model için ayrı ayrı hesaplanan performans parametre değerleri karşılaştırılmıştır.

Çoklu regresyon analizi, (ÇRA) birden fazla bağımsız değişken ile bağımlı değişken söz konusu olduğunda, geçmiş verileri kullanarak değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklayan istatistiksel bir yöntemdir. Aşağıda y bağımlı değişken, x_1 ve x_2 bağımsız değişken, ε stokastik bozulma terimi (hata terimi) olmak üzere, çoklu regresyon analizinin matematiksel gösterimine yer verilmiştir (Guajarati, 2004: 203).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon$$

Özbek ve Keskin tarafından yapılmış çalışmada, model verilerinin birbirleri ile karşılaştırılarak, modeller arası farklar incelendiğinde dikkat edilmesi gereken parametreler ortalama ve standart hata olarak ön görülmüştür (Özbek ve Keskin, 2007: 67). Çalışmamızda geliştirilen ANFIS modeli, YSA modeli ve çoklu regresyon analizi modeli çıktılarının ortalama ve standart hata değerleri karşılaştırılmıştır. Standart hata değeri azaldıkça, tahmin edilen çıktı değerleri daha tutarlı olmaktadır (Özbek ve Keskin, 2007: 65).

Performans göstergeleri olarak R kare (R^2 , R-Squared), Hata Kareler Ortalaması (MSE, Mean Square Error), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE, Root Mean Squared Percentage Error), Hatanın Mutlak Ortalaması (MAE, Mean Absolute Error) parametreleri kullanılmıştır (Karasu vd., 2018: 3; Gültepe, 2019: 13). Hata derecesini belirlemek için standart bir ölçü birimi olan Willmott index değeri (WIA, Willmott's Index of Agreement) kullanılmıştır (Wang ve Xu, 2004: 265). Aşağıda bu göstergelerin denklemlerine yer verilmiştir.

O_j = Gerçek çıktı değerleri, \bar{O} = Ortalama çıktı değerleri, P_j = Tahmin çıktı değerleri, n = veri setinin boyutu ve $e_j = O_j - P_j$ olmak üzere:

Tablo 9. Performans Göstergeleri

Tanım	Kısaltma	Formül
Ortalama Kare Hata	MSE	$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_j^2$
Ortalama Hata Kareleri Karekökü	RMSE	$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_j^2}$
Ortalama Mutlak Hata	MAE	$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e_j $
Ortalama Mutlak Yüzde Hata	MAPE	$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left \frac{e_j}{O_j} \right $
Willmot indeksi	WIA (d değeri)	$1 - \frac{\sum_j^n (P_i - O_i)^2}{\sum_j^n (P_i - \bar{O} + O_i - \bar{O})^2}$

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ADAPTİF AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS) İLE BİR UYGULAMA

Bu bölümde, literatür taraması ve karar komitesi değerlendirmesi sonucunda belirlenen on sürdürülebilirlik kriteri, daha etkin bir model geliştirmek üzere, ANFIS metodu ile dört kriterle indirgenmiştir. Ardından, sürdürülebilir tedarikçi performans tahmini yapmak üzere ANFIS modeli ve YSA modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen ANFIS modeli ve YSA modelinin tahmin performanslarını karşılaştırmak amacıyla çoklu regresyon analizi modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen her model için, performans parametreleri olan MSE, RMSE, MAE ve MAPE değerleri ve regresyon indeksi olan WIA değeri hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda, en başarılı tahmin performansına sahip ANFIS modeli ile sürdürülebilir tedarikçi seçimi yapılmıştır.

3.1 Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı, Denizli merkezli mermer işletmesi için en etkin sürdürülebilirlik kriterlerini belirlemek ve daha önce sürdürülebilir tedarik hizmeti aldığı firmaların performans tahminini yapmak, akabinde yüksek doğrulukta tahmin yapan modelde, sürdürülebilir tedarikçi seçimi uygulamaktır. Bu bağlamda, yalın ve etkili bir hesaplama yöntemi ortaya koyabilmek amaçlanmıştır.

Çalışmanın amaçlarından biri, etkin ve verimli sürdürülebilir tedarik zinciri yaratmaktır. Sürdürülebilir tedarikçi kriterlerinin belirlenmesi ve sürdürülebilir tedarikçi seçim probleminin karmaşıklığı, hesaplamaların doğrulanabilir oluşunu engellemekte bir sınırlılık olarak ifade edilebilmektedir. Bu sınırlılığı ortadan kaldırmak adına, sürdürülebilirlik kriterlerinin indirgenmesi amaçlanmıştır. Sürdürülebilirlik kriterlerinin belirlenmesi ve işletmenin hangi sürdürülebilir tedarikçi ile çalışacağı hususu önemli bir karar problemidir. Sürdürülebilirlik kriterlerini doğru olarak belirleyerek, etkin ve verimli bir sürdürülebilir tedarik zinciri yaratmak amacıyla, ANFIS girdi seçimi yapılmıştır. Çalışmanın diğer amaçlarından biri, YSA ve yapay sinir ağlarının dezavantajlarını ortadan kaldıran bulanık mantık ile bütünleşik, sinirsel bulanık sistemlerden olan ANFIS yönteminin sürdürülebilir tedarikçi performans tahmininde ne kadar etkili olduğunu saptamaktır. Bu bağlamda, popüler konulardan olan ve yapay zekâ konularını barındıran, dilsel değişken ve bulanık ifadelerle olanak sağlayan ANFIS yöntemi ile gerçekleştirilen hesaplamaların ne derece doğrulanabilir olduğu araştırılmıştır. Bu amaçla, veri madenciliği yöntemlerinden olan Yapay Sinir Ağı (YSA)

ve hibrit-nöro bulanık sistemlerden olan Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Bilişsel Sistem (ANFIS) yöntemi ile Denizli merkezli mermer işletmesinin, sürdürülebilir tedarik faaliyetlerini sağladığı tedarikçilerin performans tahmini yapılmıştır. Geliştirilen modellerin performans tahminlerini karşılaştırmak amacıyla, çoklu regresyon modeli geliştirilmiş ve belirlenen performans parametrelerine göre yöntemler karşılaştırılmıştır. İşletmelerin hangi sürdürülebilir tedarikçi ile çalışacağı hususu, önemli karar verme sorunlarının ön safhalarında yer almaktadır. Bu maksatla, tahminleme başarısı karşılaştırılan, geliştirilen ANFIS modeli, YSA modelinde en başarılı tahmin performansına sahip ANFIS modelinde sürdürülebilir tedarikçi firması seçiminin nasıl yapılabileceği hususuna değinilmiştir.

3.2 Çalışmanın Yöntemi

Çalışmanın amaçlarına ulaşmak için, uygulama dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, ilk aşamada literatür araştırması ve karar verici görüşleri ile belirlenen sürdürülebilirlik kriterleri içerisinde, en etkin sürdürülebilirlik kriterleri ANFIS yöntemi ile belirlenmiştir. İkinci aşamada, geliştirilen ANFIS modeli ve YSA modeli ile sürdürülebilir tedarikçi performans tahmini yapılmıştır. Üçüncü aşamada, ANFIS modeli ve YSA modelinin tahmin performansını karşılaştırmak amacıyla, çoklu regresyon analizi modeli geliştirilerek; performans parametreleri ile değerlendirilmiştir. Dördüncü aşamada, en başarılı performans gösteren ANFIS modeli ile sürdürülebilir tedarikçi seçimi yapılmıştır. Aşağıda, her bir aşama ayrıntılı olarak açıklanmıştır ve akış şemasına yer verilmiştir.

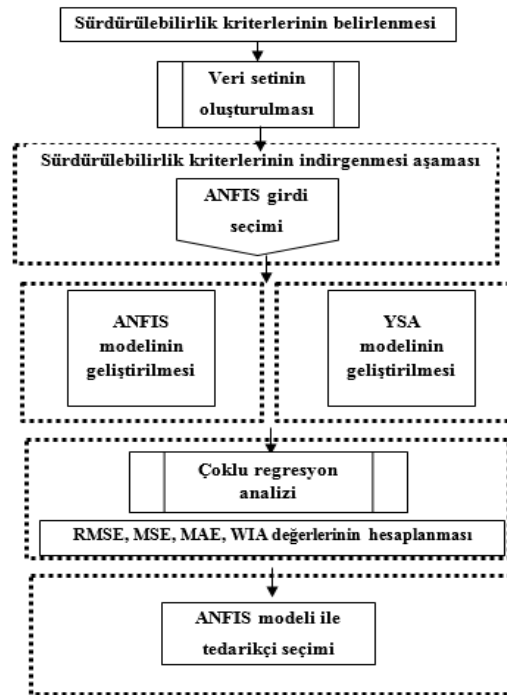
İlk aşamada, Denizli merkezli mermer işletmesi için literatür taraması yapılarak en etkin sürdürülebilirlik kriterleri belirlenmiştir. Veri seti elde edildikten sonra, belirlenen on sürdürülebilirlik kriteri, daha etkin analiz yapmak maksadıyla, dört kritere indirgenmiştir. Bu bağlamda, MATLAB R2016a programına veri seti aktararak, işletme için en etkin dört sürdürülebilirlik kriteri ANFIS metodu ile belirlenmiştir. Kriterler belirlenirken ANFIS metodunun sağladığı yararlardan olan, kriterlerin birli girdi kombinasyonları, ikili girdi kombinasyonları, üçlü girdi kombinasyonları ve dördü girdi kombinasyonlarının hata değerleri dikkate alınarak, en etkin dört kriter seçilmiştir.

İkinci aşamada, sürdürülebilir tedarikçi performans tahmini için MATLAB R2016a programından yararlanarak, ANFIS modeli geliştirilmiştir. ANFIS metodu ile belirlenmiş olan dört sürdürülebilirlik kriter verileri programa aktararak, sürdürülebilir tedarikçi firma performans tahmini yapılmıştır. Daha sonra, aynı veri seti kullanılarak,

MATLAB R2016a programında, YSA modeli geliştirilmiş ve sürdürülebilir tedarikçi firma performans tahmini yapılmıştır.

Üçüncü aşamada, ANFIS modeli ve YSA modelinin tahmin performanslarını karşılaştırmak amacıyla çoklu regresyon analizi modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen çoklu regresyon analizi modeli, ANFIS metodu ile belirlenmiş dört sürdürülebilirlik kriter verileri, SPSS 2020 programına aktararak gerçekleştirilmiştir. Model performanslarını değerlendirmek adına belirlenen MSE, RMSE, MAE, MAPE parametreleri ve regresyon indekslerinden WIA değerleri hesaplanarak performans karşılaştırması yapılmıştır.

Dördüncü aşamada ise tedarikçilerin, sürdürülebilirlik kriterlerine göre aldıkları puanlar kullanılarak, en başarılı performansı gösteren ANFIS modeli ile Denizli merkezli mermer işletmesi için en uygun tedarikçi firmasını belirlemek adına tedarikçi firma seçimi yapılmıştır.



Şekil 45. Araştırma Modeli

3.3 Karar Komitesinin ve Kriterlerin Belirlenmesi

Denizli merkezli mermer işletmesine en uygun sürdürülebilirlik kriterlerinin belirlenmesi için öncelikle, işletme yöneticisinin belirlediği, alanında uzman olduğu düşünülen, karar vericiler tespit edilmiştir. İşletme yöneticisinin belirlemiş olduğu uzman kişiler, karar komitesini oluşturmaktadır. Ardından, literatür taraması yapılarak, sürdürülebilir tedarikçi kriterleri belirlenmiştir. Karar vericilerden, Amindoust vd.

(2012) çalışmasına benzer olarak literatür taraması sonucunda belirlenen sürdürülebilirlik kriterlerinin, işletme için uygunluğu değerlendirmeleri için “evet” ve “hayır” olmak üzere, sürdürülebilirlik kriterlerinin işletmeye uygunluğunun değerlendirilmesi istenmiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde, gereken eleme ve eklemeler yapılarak, aşağıda Tablo 10’da görülen sürdürülebilirlik kriterleri belirlenmiştir. Aşağıda 3 ana kriter ve 10 alt kriter olmak üzere, belirlenmiş sürdürülebilirlik kriterleri yer almaktadır.

Tablo 10. Sürdürülebilirlik Kriterleri

Sürdürülebilirlik Ana Kriterleri	Sürdürülebilirlik Alt Kriterleri	Referanslar
Ekonomik	Maliyet (M) Teslim süresi (TS) Güvenilirlik (G) Kalite (K)	Hoseini vd., Fallahpour vd., Guarnieri P. ve Trojan P., Kannan D., Weber C. vd., Zhang vd.
Sosyal	Çalışanların çıkarları ve hakları (ÇÇH) Sosyal sorumluluk (SS) İşçi güvenliği (İG)	Hoseini vd., Luthra vd., Guarnieri P. ve Trojan P., Govindan vd., Guarnieri P. ve Trojan P.
Çevresel	Atık yönetimi (AY) Kirlilik kontrolü (KK) Çevresel yeterlilikler (ÇY)	Hoseini vd., Guarnieri P. ve Trojan P., Amindoust vd., Ghamidi vd., Bai vd., Nikolaou vd., Zhang vd.

3.4 Verilerin Elde Edilmesi

Çalışmanın gerçekleştirildiği Denizli merkezli mermer işletmesi her türlü doğal taş, mermer, granit ve bunlardan mamul ürünlerin tedarik faaliyetlerinde bulunduğu gibi, mermer imalatı için mermer blokları satın alarak da tedarik faaliyetlerini karşılamaktadır. İşletmenin, tedarik faaliyetlerinde en çok konusu geçen ürün uygulama için seçilmiştir. Çalışma için geçmiş bir yıllık satın alma dönemi faaliyetleri dikkate alınarak; bir yıllık satın alma döneminde, işletmenin tedarik faaliyetlerini karşıladığı altı tedarikçi firması verilerini içermektedir.

Çalışmanın uygulanabilmesi için girdiler ve çıktılardan oluşan bir veri setine ihtiyaç vardır (Jang, 1996: 1493). Girdi değişkeni olarak, belirlenen on sürdürülebilirlik kriteri esas alınmıştır. Sürdürülebilir tedarikçiler, işletmelerin satın alma fonksiyonlarında yer almakla beraber, işletmelerin toplam cirosunun bir kısmını temsil eden, itici güçtür. Bu sebeple, çıktı değişkeni olarak tedarikçi firmaların ciro payları dikkate alınmıştır. Nicel kriterler için işletmenin satın alma faaliyetlerinde tanımlanmış

veriler kullanılırken, nitel kriterler için işletmenin karar komitesinden, 1-10 sayılı değerlendirme ölçeği kullanılarak, kriterlerin değerlendirilmesi istenmiştir. Daha sonra bu veriler, veri bütünlüğünün sağlanması, performansı ve doğruluğu arttırmak amacıyla normalleştirilmiştir (Aylı ve Ulucak, 2020: 91). Etkin girdileri seçmek için veriler, modelin eğitilmesi ve modelin geçerliliğinin değerlendirilmesi adına eğitim ve test verisi olmak üzere iki gruba ayrılmalıdır (Zhang vd., 1998: 499). Bu nedenle veriler, hold-out yönteminde, %70 eğitim ve %30 test olmak üzere ikiye ayrılmıştır (Barak ve Sadegh, 2016: 14).

ANFIS modelinin oluşturulması aşamasında kullanılan ızgara bölümlendirme yönteminde, seçilen alt küme sayısı kadar, giriş alanının, eşit bölüme ayrılması söz konusudur. Ayrılan her bölüm, bulanık bir kuralı temsil etmektedir. Girdi sayısının on olduğu modelimizde, her girdiye iki üyelik fonksiyonu tanımlanıyorsa, $2^{10} = 1024$ tane kural oluşturulacaktır. Birinci dereceden Sugeno modeline uygun olarak, $n=10$ olduğu için, $(10 + 1) \times 1024 = 11264$ tane doğrusal parametreye tekabül etmektedir. Çok fazla parametre ve öngörülemeyen girdilerle güvenilir bir model oluşturulması söz konusu değildir (Jang, 1996: 1476). Bu sebeple, etkin sürdürülebilirlik kriterlerini seçmek mümkün olmayacaktır. Güvenilir bir model oluşturulması için, girdi sayısının azaltılması gereklidir (Jang, 1996: 1496).

3.5 ANFIS Sürdürülebilirlik Kriterleri (Girdi) Seçimi

ANFIS modeli ile sürdürülebilirlik kriterlerinin seçimi için, MATLAB R2016a programı kullanılmıştır. Öncelikli olarak, eğitim ve test verilerin, programa yüklenmesi ve tanıtılması gerekmektedir. MATLAB R2016a programına, test verisi ve eğitim verisi yüklendikten sonra, “input_name=str2mat('input name','input name')” komutundan faydalanarak, girdi değişkenlerine isimlendirme (programa tanıtma) işlemi yapılmıştır. ANFIS metodu ile bir girdili, iki girdili, üç girdili ve dört girdili olmak üzere modeller geliştirilebilmektedir. Bir girdili model geliştirmek için, “exhsrch(1,trn_data, test_data, input_name)” komutu kullanılmaktadır. Bu sayede, her bir giriş değişkeninin, çıktı üzerindeki etkisi incelenmektedir. Komutta yer alan “1” rakamı, her bir kriterin (girdinin), ciro payı (çıktı) üzerindeki etkisini açıklamaktadır. Aşağıdaki şekilde, MATLAB GUI ekranında, her bir kriterin (birli girdi kombinasyonları) RMSE değerleri görülmektedir. Aşağıdaki MATLAB GUI ekranında görüldüğü üzere, dikey değişken RMSE değeridir. Yatay değişkenler ise girdiler olan sürdürülebilir kriterleri temsil etmektedir. RMSE değeri, test verisi ve eğitim verisi arasındaki uzaklığın (hatanın) standart sapması olarak ifade edilmektedir. GUI ekranında, training (circles) ve

checking (asterisks) errors olarak ifade edilen yapıda, çemberli mavi çizgiler eğitim verisinin RMSE değerini gösterirken; yıldızlı kırmızı çizgiler, test verisinin RMSE değerini göstermektedir.



Şekil 46. Birli Girdi Kombinasyonları

Aşağıda “exhsrch(1,trn_data,test_data,input_name)” komutuyla ulaşılan, birli girdi kombinasyonların analizinin, MATLAB “command window” penceresindeki görünümüne yer verilmiştir. Aşağıda görüldüğü üzere, birli girdi kombinasyonlarına göre en iyi girdi, birinci girdi olarak programa tanıtılan SS (sosyal sorumluluk) kriteridir. SS kriteri, en düşük eğitim verisi RMSE değeri ve en düşük test verisi RMSE değerine sahiptir. SS kriterinin, eğitim verisi RMSE değeri 0,12 iken; test verisi RMSE değeri 0,16 olarak analiz edilmiştir.

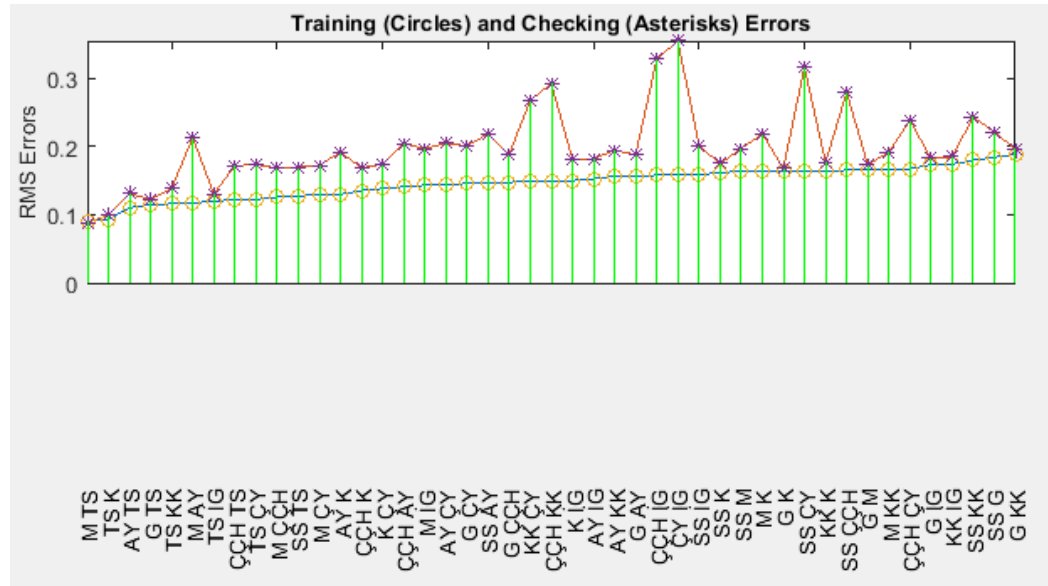
```

ANFIS model 1: SS --> trn=0.1288, chk=0.1617
ANFIS model 2: G --> trn=0.1956, chk=0.1867
ANFIS model 3: M --> trn=0.1713, chk=0.1843
ANFIS model 4: ÇÇH --> trn=0.1742, chk=0.1999
ANFIS model 5: AY --> trn=0.1636, chk=0.1850
ANFIS model 6: TS --> trn=0.1288, chk=0.2087
ANFIS model 7: KK --> trn=0.1939, chk=0.1928
ANFIS model 8: K --> trn=0.1705, chk=0.1701
ANFIS model 9: ÇY --> trn=0.1765, chk=0.2008
ANFIS model 10: İG --> trn=0.1811, chk=0.1837

```

Şekil 47. Birli Girdi Kombinasyonlar Hata Değerleri

Aşağıda görülen grafiğe, “exhsrch(2,trn_data, test_data,input_name)” komutu ile erişim sağlanmıştır. İkili girdi kombinasyonları olarak ifade edilen bu grafik, girdi kriterlerinin ikili girdi kombinasyonlarının RMSE değerlerini göstermektedir.



Şekil 48. İkili Girdi Kombinasyonları

Üçlü ve dördlü kombinasyonlar, “exhsrch(1, trn_data, test_data, input_name)” komutunda, sırasıyla “1” ifadesi yerine “3” veya “4” girilerek analiz edilmektedir. Maksimum dördlü girdi kombinasyonlara kadar bakılabilir. Birli kombinasyonda, 10 ANFIS modeli eğitilmiş, en iyi kriter SS (Sosyal sorumluluk) olarak hesaplanmıştır. İkili kombinasyonlarda 45 ANFIS modeli eğitilerek, en iyi iki kriter, SS (Sosyal sorumluluk) ve M (Maliyet) olarak belirlenmiştir. Üçlü kombinasyonlarda ise 120 ANFIS modeli eğitilerek, en düşük hata değerine sahip üç kriter, M (Maliyet), AY (Atık yönetimi) ve TS (Teslim süresi) olarak hesaplanmıştır. Dördlü kombinasyonlara bakıldığında ANFIS metodu, her biri on girdi içerisinde, dört girdiye sahip 210 ANFIS modelini eğitmiştir. Dördlü kombinasyonlarda, en iyi dört kriter sırasıyla, M (Maliyet), TS (Teslim süresi), KK (Kirlilik kontrolü) ve İG (İşçi güvenliği) olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak birli, ikili, üçlü, dördlü kombinasyonlar dikkate alınarak, en düşük RMSE değerine sahip dört girdi SS (Sosyal sorumluluk), M (Maliyet), AY (Atık yönetimi) ve TS (Teslim süresi) olarak belirlenmiştir.

Sosyal sorumluluk kriteri, günümüz işletmelerinin gerçekleştirdiği faaliyetlerle toplum üzerinde bıraktıkları etkilerin incelendiği bir kavramdır (Carrol, 1999: 270). İşletmelerin gerçekleştirdiği sosyal sorumluluk faaliyetleri ile örgüt olarak işletme içi etkilerin haricinde, dış çevrelerini de etkilemektedirler. Bu bağlamda, işletmelerin gerçekleştirdiği sosyal sorumluluk faaliyetleri ile doğrudan olduğu gibi dolaylı olarak da bir takım olumlu veya olumsuz etkiler söz konusu olmaktadır. İşletme gerçekleştirdiği sosyal sorumluluk faaliyetleri ile marka imajını güçlendirirken, işletmenin piyasa değeri de artmaktadır. Aynı zamanda bilinç düzeyi yüksek, toplumsal

fayda odaklı düşünen kalifiyeli personeli de elde etme fırsatına sahiptir. Üstelik, sosyal sorumluluk faaliyetlerine önem veren yatırımcıları cezp etmektedir. Bu bağlamda, işletmelerin borçlanma maliyetleri azalmaktadır. İşletmenin müşterisi ile kurmuş olduğu ilişkiler derinleşirken, bağlılık sağlanmaktadır. Bu bakımdan, işletmenin yeni pazarlara girmesi kolaylaşmaktadır (Argüden, 2002: 2). Tüm bu faydalar sebebiyle, bilinçli ve toplum faydasını güden işletmeler sosyal sorumluluk kavramına önem veren tedarikçilerden tedarik faaliyetlerini karşılamayı tercih etmektedirler.

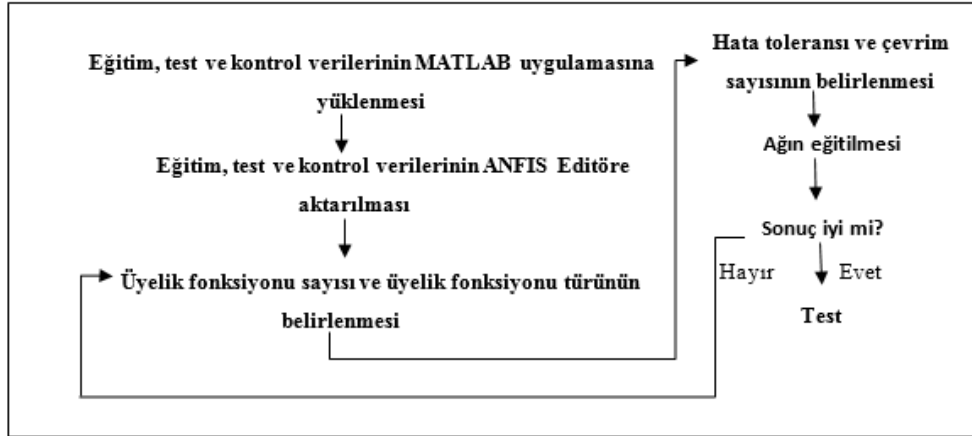
Maliyet kriteri, işletmenin tedarik faaliyetlerini karşılarken katlanmak zorunda olduğu bir bedeldir. Satın alma maliyeti, stok bulundurma maliyeti, stok personel maliyeti, taşıma maliyeti gibi unsurları içermektedir. Tedarikçilerin aynı ürün için verdikleri fiyat değişikliklerine bağlı olarak, maliyet artabilmektedir. Bu bağlamda, işletmeler maliyet avantajı elde edeceği tedarikçiler ile çalışmak istemektedir.

Atık yönetimi kriteri, üretim esnasında ortaya çıkan etkisiz atıkların (inert) veya üretim, tüketim esnasında amacını tamamlamış malzemelerin elden çıkarılmasıdır (Bolat ve Gözülü, 2003: 41). Aynı zamanda, atıkların geri dönüşüm faaliyetlerine aktarılması sayesinde, ekonomiye katkısı olmakla beraber, atık imha maliyetlerini azaltmaktadır. Bu sebeple işletmeler tarafından tercih edilmektedir. Mermer ocaklarında çıkan atıklar genelde toz veya moloz olarak ifade edilen farklı boyutlardaki parça mermerlerdir. Toz atıklar çimento, seramik, soda, boya sanayilerinde değerlendirilebilirken; moloz atıklar ise mıcır, palladyen yer döşeme, mozaik döşeme, mineral sıva yapımı gibi alanlarda geri dönüşümleri söz konusudur (Demir ve Güngör, 2013: 5).

Teslim süresi kriteri, tedarikçinin istenen ürünleri doğru zaman ve uygun şekilde teslim etmesi gerekmektedir. Gerçekleşebilecek gecikmeler, işletme açısından üretimde aksaklıklara ve müşteriye teslimat sürelerinde gecikmelere neden olacaktır. Gecikmeler sebebiyle işletme imajına zararın yanı sıra, üretimin aksaması sebebiyle âtil kapasite maliyeti işletme açısından dezavantaj yaratmaktadır. Bu bağlamda, işletmeler teslimat çizelgesinin takibinde başarılı tedarikçileri tercih etmektedir.

3.6 ANFIS Modelinin Kurulması

ANFIS metodu ile girdi seçimi yapılarak belirlenen en etkin sürdürülebilirlik kriterleri verileri ile çıktı olarak belirlenen ciro payı verilerinin MATLAB programına yüklenmesinin ardından, birtakım işlemlerin adım adım yapılması gerekmektedir. Yapılmış olan adımların daha anlaşılır olması açısından, akış şeması oluşturulmuştur. Aşağıda, ANFIS modelinin kurulmasına dair akış şemasına yer verilmiştir.



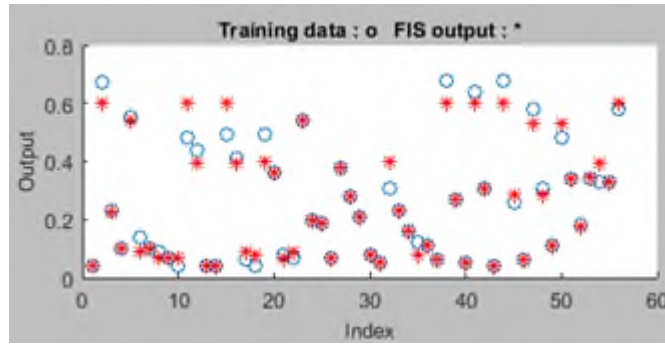
Şekil 49. ANFIS Modeli Akış Şeması

MATLAB R2016a uygulamasına veriler yüklendikten sonra, ANFIS Editör'e aktarmak üzere, "command window" alanına "anfisedit" komutu girilerek, Sugeno tipi birinci dereceden FIS (Fuzzy Inference System) olan, ANFIS editör GUI penceresi açılmıştır. FIS Editör penceresinde yer alan, "Load data" bölümü kullanılarak, test ve eğitim verileri, "workspace" seçeneği seçilerek yüklenmiştir. "Generate FIS" bölümünde, "Grid partition" seçeneği işaretlenmiştir. "Generate FIS" ifadesi tıklandığında, açılan ekranda, her bir giriş değişkeni için iki üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. "Train FIS" bölümünde "Error Tolerance" ve "Epochs" değerleri sırasıyla 0 ve 40 olarak belirlenmiştir. FIS eğitiminin ardından, üyelik fonksiyonu türleri, epoch:40 ile denenerek, RMSE değerleri analiz edilmiştir. Aşağıda görülen, en iyi üyelik fonksiyonu performansı en düşük hata değeri (0,038624) ile psigmf üyelik fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Bu sebeple, psigmf üyelik fonksiyonu uygulamada kullanılacaktır.

Tablo 11. Üyelik Fonksiyonları Hata Değerleri

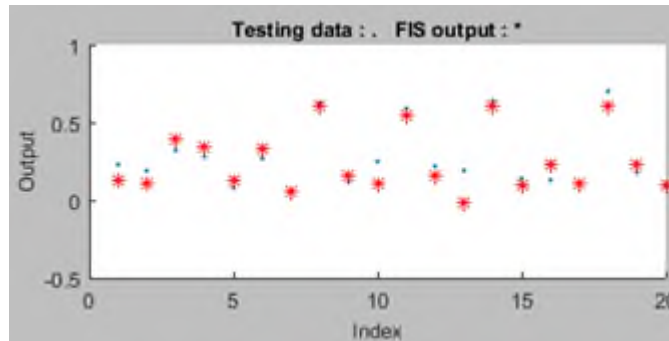
MF sayısı	MF kodu	MF açıklımı	Çevrim:40
2 2 2 2	trif	Üçgen üyelik fonksiyonu	0,046799
2 2 2 2	trapmf	Trapez üyelik fonksiyonu	0,038812
2 2 2 2	gbellmf	Çan şekilli üyelik fonksiyonu	0,03877
2 2 2 2	gaussmf	Gauss eğrisi üyelik fonksiyonu (tam simetrik)	0,038628
2 2 2 2	gauss2mf	Gauss üyelik fonksiyonu	0,038893
2 2 2 2	pimf	Pi-şekilli üyelik fonksiyonu	0,038963
2 2 2 2	dsigmf	Sigmondial üyelik fonksiyonu (tam simetrik)	0,038625
2 2 2 2	psigmf	Sigmondial üyelik fonksiyonu	0,038624

Test FIS bölümünde “Training data” ifadesinden faydalanılarak, ANFIS metodunun, eğitim verisinin ne kadar hata ile tahmin edilebildiğine dair analiz yapmak mümkündür. Aşağıda Şekil 50’de görüldüğü üzere, mavi yuvarlak çizgiler eğitim verisinin çıktılarını; kırmızı yıldızlar FIS çıktı değerlerini temsil etmektedir. ANFIS 0,038624 ortalama test hatası ile eğitim verisini (Training data, FIS output) tahmin etme başarısına sahiptir.



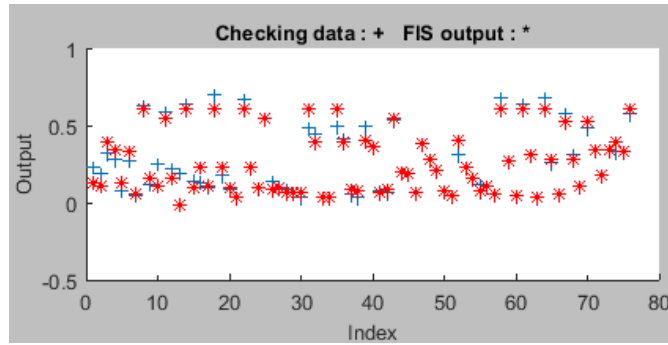
Şekil 50. ANFIS Modeli ve Eğitim Verilerinin Karşılaştırılması

Test FIS bölümünde “Testing data” seçeneğinden faydalanarak, ANFIS metodunun, test verisini ne kadar hata ile tahmin edilebildiğine dair analiz yapmak mümkündür. Aşağıda Şekil 51’de görüldüğü üzere, mavi noktalar test verisini, kırmızı yıldızlar ise FIS çıktı değerlerini temsil etmektedir. ANFIS 0,079275 ortalama test hatası ile test verisini (Testing data, FIS output) tahmin etme başarısına sahiptir.



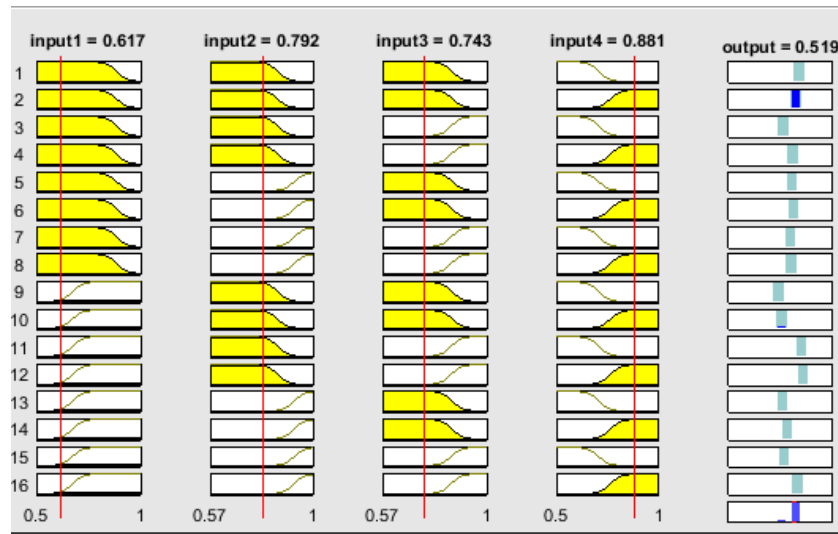
Şekil 51. ANFIS Modeli ve Test Verilerinin Karşılaştırılması

Test FIS bölümünde “Checking data” seçeneğinden faydalanarak, ANFIS metodunun, ne kadar hata ile tahmin edilebildiğine dair analiz yapmak mümkündür. Bulanık çıkarım sisteminin genelleme, tahmin edebilme yeteneğini test edebilmek için, kontrol veri seti kullanılmaktadır. (Jang ve Gulley,1997:69) Aşağıda Şekil 52’de görüldüğü üzere, mavi artılar kontrol verisini, kırmızı yıldızlar ise FIS çıktı değerlerini temsil etmektedir. ANFIS 0,05247 ortalama test hatası (Checking data, FIS output) ile kontrol verisini tahmin etme başarısına sahiptir.



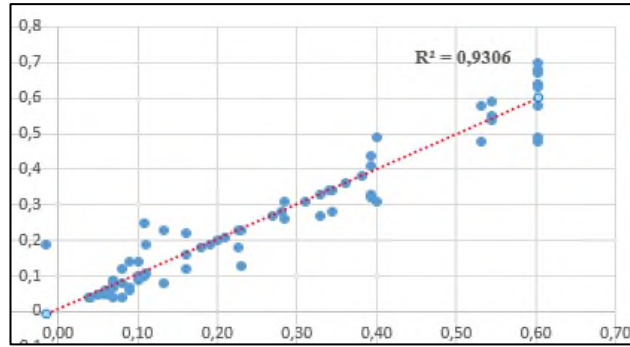
Şekil 52. ANFIS Modeli Çıktıları ve Kontrol Verilerinin Karşılaştırılması

Geliştirilen ANFIS modelinde, “rule viewer” olarak ifade edilen modelin kural görünümü aşağıdaki gibidir. Girdi sayısının dört olduğu ANFIS modelinde, birinci dereceden Sugeno fonksiyonuna uygun olarak, $2^4 = 16$ tane kural oluşturulmuştur. Aşağıdaki model üzerinde girdi 1, girdi 2, girdi 3, girdi 4 değerleri değiştirilerek, farklı çıktı değerlerinin elde edilmesini sağlayan simülasyon mevcuttur. Aşağıda Şekil 53’de görülmekte olan kırmızı çizgileri hareket ettirerek, giriş değerleri değiştirilebilir ve farklı girdi değerleri ile çıktı değerleri otomatik olarak hesaplanabilmektedir. Bu simülasyona göre, girdi 1 değeri 0,617, girdi 2 değeri 0,792, girdi 3 değeri 0,743 ve girdi 4 değeri 0,881 iken, çıktı değeri 0,519 olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 53. ANFIS Modeli Kural Görünümü

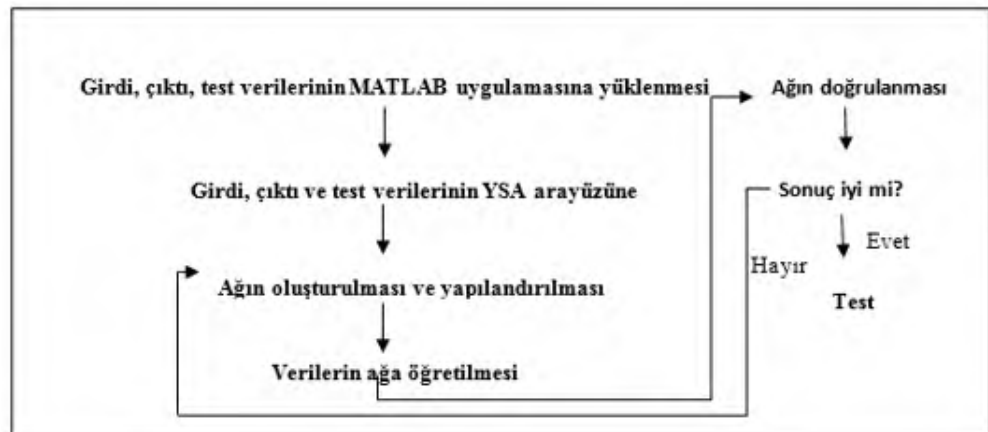
Geliştirilmiş olan ANFIS modeli çıktıları, “evalfis(model,input) komutu sayesinde elde edilmiştir. Aşağıda görüldüğü üzere, Şekil 54’de ANFIS modeli çıktıları ile gerçek çıktı değerleri excel yardımıyla karşılaştırılarak, R^2 grafiğine yer verilmiştir.



Şekil 54. ANFIS Modeli Regresyon Grafiği

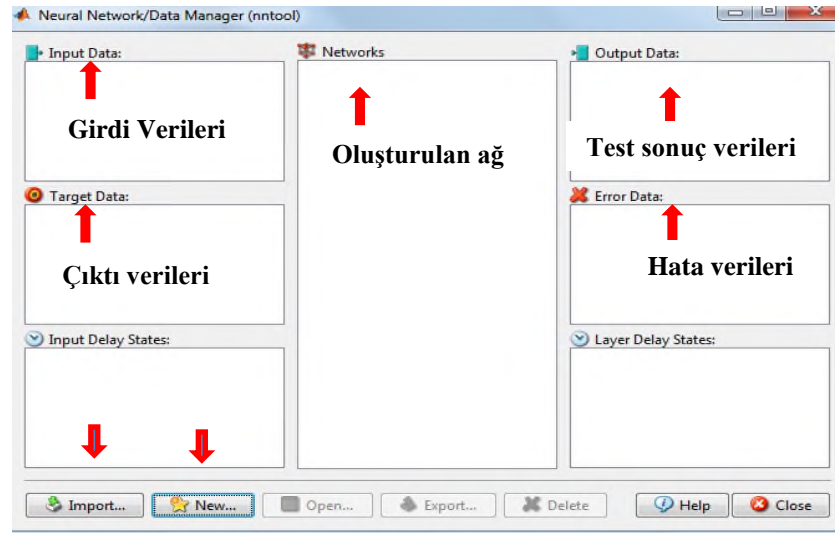
3.7 Yapay Sinir Ağı Modelinin Kurulması

Yapay sinir ağı (YSA) modelinin kurulması için, öncelikle ANFIS metodu ile seçilmiş olan en etkin sürdürülebilirlik kriterlerinin MATLAB R2016a uygulamasına yüklenmesinin ardından, birtakım işlemlerin adım adım yapılması gerekmektedir. Yapılmış olan adımların daha anlaşılır olması açısından, akış şeması oluşturulmuştur. Aşağıda, YSA modelinin kurulmasına dair akış şemasına yer verilmiştir.



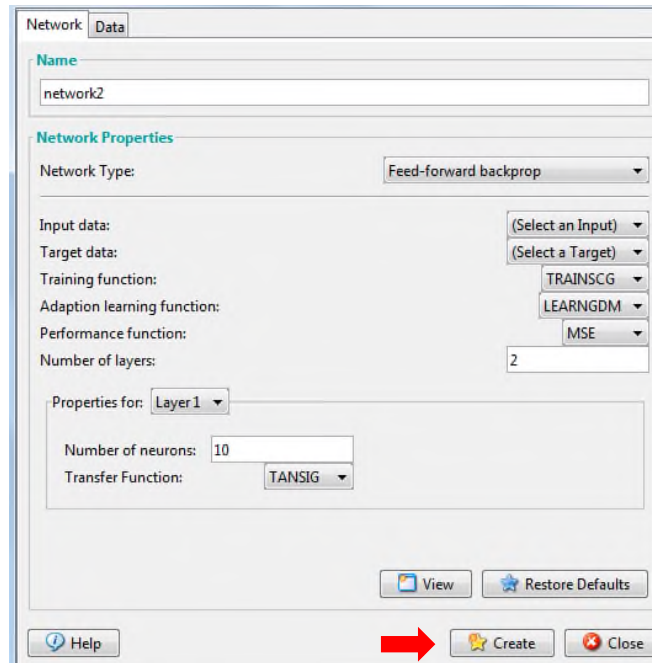
Şekil 55. YSA Modeli Akış Şeması

Aşağıda Şekil 56'da "nntool" komutu ile ulaşılan YSA arayüzüdür. Farklı komutlar ile YSA arayüzüne erişim mümkündür. Input data" bölümünde girdi verileri, "target data" bölümünde çıktı verileri vardır. "Output data" bölümünde, oluşturulan ağların test sonuç verileri yer almaktadır. Hata verileri "error data" bölümünde yer almaktadır.



Şekil 56. MATLAB R2016a YSA Arayüz Ekranı

Sisteme girdi, çıktı ve test verileri “import” bölümünden yüklenirken, yeni ağ oluşturmak için, “new” seçeneği kullanılmaktadır. Oluşturulan ağ, “networks” bölümünde görülmektedir. Aşağıda Şekil 57’de görüldüğü üzere, “new” seçeneği ile yeni ağ oluşturulmak üzere açılan arayüz yer almaktadır. Bu arayüzde, geliştirilmek istenen YSA modeline uygun olarak, ağ oluşturma bilgileri seçilmektedir. Ağın geliştirildiği bu arayüzde yer alan bazı ağ tipi, eğitim fonksiyonu, öğrenme fonksiyonu, performans fonksiyonu ve transfer fonksiyonlarına Tablo 12’de yer verilmiştir.



Şekil 57. Ağ Oluşturma Arayüzü

Tablo 12. Ağ Oluşturma Bilgileri

Ağ Tipi	Eğitim fonksiyonu	Öğrenme fonksiyonu	Performans fonksiyonu	Transfer fonksiyonu
İleri beslemeli geri yayılım Kademeli ileri geri yayılım Rekabet Elman geri yayılım ağı İleri beslemeli zaman gecikmesi Genel regresyon ağı Hopfield ağı İleri besleme geri yayılım zaman gecikmesi	TRAINBFG TRAINGDA TRAINBR TRAINCGB TRAINLM TRAINCGF TRAINOSS TRAINCGP TRAINR TRAINGD TRAINRP TRAINGDM	LEARNGD LEARNGDM	MSE SSE	LOGSIG TANSIG PURELİN

Literatür incelendiğinde, tedarikçi seçimine yönelik geliştirilen YSA modellerinde, en çok ileri beslemeli geri yayılım ağ tipi tercih edilmiştir. Bu bağlamda, literatürde yaygın olarak tercih edilmiş ve tutarlı sonuçlar elde edilmiş olan ileri beslemeli geri yayılım modeli, ağ tipi olarak belirlenmiştir (Wei vd., 1997: 670). İleri beslemeli geri yayılım ağının tercih edilmesinin bir diğer sebebi doğrusal veya doğrusal olmayan modellere uygulanabilir oluşu ve kullanım kolaylığıdır (Ataseven, 2013: 112).

Literatürde, gizli katman sayısının belirlenmesi için söz konusu genel bir kural yoktur. Bu bakımdan, gizli katman sayısını belirlemek adına, deneme yanılma yöntemi uygulanmıştır (Chowdary, 2007: 321). Gizli katman sayısı için, gerçekleştirilmiş deneme yanılma yöntemlerinde, en düşük hata değerine on üç gizli katmanda ulaşılmıştır. Bu nedenle, gizli katman sayısı on üç olarak belirlenmiştir.

Kullanıcılar, YSA arayüzünde fonksiyonlar ve nöron sayısını değiştirerek, en uygun sonucu elde edene kadar deneme yapabilir. Modelimize en uygun eğitim fonksiyonunu seçmek adına, diğer fonksiyonlar sabit tutularak eğitim fonksiyonları tek tek denenmiştir. MATLAB 2016a uygulamasının arayüzünde geliştirilen YSA modeli sayesinde R değerleri otomatik olarak hesaplanmaktadır. Eğitim fonksiyonlarında, $R < 0,90$ değerine sahip olan fonksiyonlar ihmal edilmiştir. $R > 0,90$ olan değerlere sahip eğitim fonksiyonlarının MSE, RMSE, MAPE değerleri excel uygulaması ile hesaplanmıştır. En yüksek R değeri ve en düşük MAPE değerine sahip eğitim fonksiyonları sırasıyla trainlm (Levenberg-Marquardt) ve trainscg (Scaled Conjugate Gradient) olmuştur.

Tablo 13. Eğitim Fonksiyonları Hata Değerleri

Eğitim fonksiyonu	<i>R</i>	<i>MSE</i>	<i>RMSE</i>	<i>MAPE</i>
traincgf	0,94521	0,004434	0,066586	0,309981
trainlm	0,96288	0,002879	0,053658	0,258774
traingda	0,94154	0,004908	0,070058	0,380999
trainnlm	0,94485	0,004460	0,066786	0,250687
trainoss	0,95704	0,003350	0,057879	0,284797
trainrp	0,94628	0,004173	0,064595	0,335533
trainscg	0,94823	0,004096	0,064001	0,233968

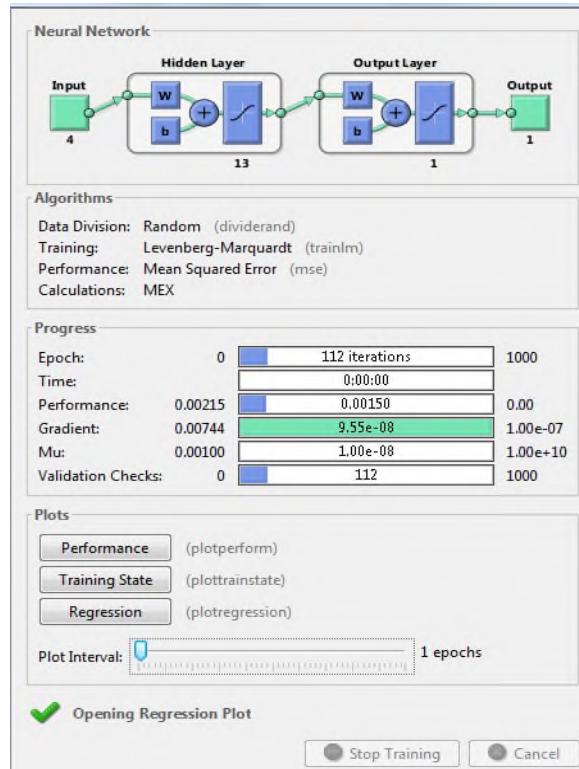
Eğitim fonksiyonu trainlm ve trainscg olarak iki adet seçildikten sonra, en uygun öğrenme ve transfer fonksiyonunu seçme aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada, iki öğrenme fonksiyonu ve üç transfer fonksiyonu eşleşmeleri ile toplamda on iki eşleşme oluşturulmuştur. Eşleşme sonuçlarına göre, çıktı değerleri karşılaştırmak üzere, veriler excel uygulamasına girilmiştir. En yüksek *R* değeri ve en düşük *MAPE* değerine sahip olan eğitim fonksiyonu trainlm, öğrenme fonksiyonu learnngdm ve transfer fonksiyonu tansıg olarak analiz edilmiştir. Bu bağlamda, eğitim fonksiyonu mutlak minimuma ulaşma yeteneğine sahip, doğrusal olmayan modellere uygulanabilir yöntemlerden olan Levenberg-Marquardt (trainlm) yöntemi seçilmiştir (Zhang vd., 1998: 48). Transfer fonksiyonu olarak, tangent-sigmoid transfer fonksiyonu (tansıg, hiperbolik tangent fonksiyonu) kullanılmıştır. Aşağıda, oluşturulan on iki eşleşme modelleri YSA modeline uygulanarak, hesaplanan *R*, *MSE*, *RMSE* ve *MAPE* değerleri Tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 14. Eğitim, Öğrenme ve Transfer Fonksiyonu Hata Değerleri

Eğitim fonksiyonu	Adaptasyon öğrenme fonksiyonu	Transfer fonksiyonu	<i>R</i>	<i>MSE</i>	<i>RMSE</i>	<i>MAPE</i>
trainlm	learnngd	logsig	0,93983	0,004862	0,069729	0,366331
trainlm	learnngd	purelm	0,90465	0,007356	0,085768	0,358877
trainlm	learnngd	tansıg	0,96578	0,002657	0,051542	0,239289
trainlm	learnngdm	logsig	0,93384	0,004846	0,069611	0,391762
trainlm	learnngdm	purelm	0,89958	0,007513	0,086679	0,410249
trainlm	learnngdm	tansıg	0,96653	0,002749	0,052435	0,235912
trainscg	learnngd	logsig	0,94214	0,004452	0,066722	0,364634
trainscg	learnngd	purelm	0,90492	0,007416	0,086115	0,345773
trainscg	learnngd	tansıg	0,94623	0,004148	0,064402	0,337980
trainscg	learnngdm	logsig	0,94780	0,004149	0,064415	0,319148
trainscg	learnngdm	purelm	0,90126	0,007409	0,086077	0,408172
trainscg	learnngdm	tansıg	0,93466	0,005415	0,073589	0,418127

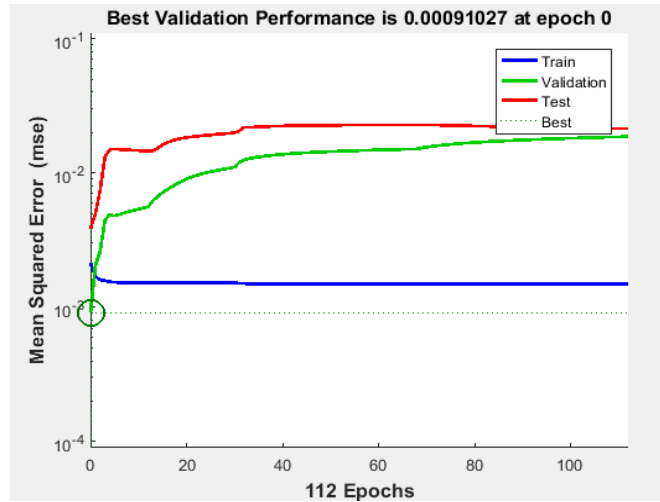
Sonuç olarak, eğitim fonksiyonu Levenberg-Marquardt (`trainlm`), öğrenme fonksiyonu gradient descent with momentum (`learn_gdm`, momentumlu dereceli azaltma) ve transfer fonksiyonu tangent-sigmoid transfer fonksiyonu (`tansig`), on üç gizli katman sayısı olan, dört girdi ve bir çıktıya sahip YSA modeli oluşturulmasına karar verilmiştir.

Makine öğrenmesinde, data split olarak ifade edilen veri bölümlenmesi, basit rastgele örnekleme (SRS, Simple Random Sampling) olarak gerçekleştirilmiştir (May vd., 2010: 284). Performans değerlendirmesi MATLAB, YSA arayüzünde MSE olarak belirlenmiştir. Ağın eğitilmesi 112 iterasyonla, neredeyse bir saniye içerisinde tamamlanmıştır. Aşağıda, yapay sinir ağının eğitimi sonucunda karşılaşılan arayüz ekranına yer verilmiştir. Bu arayüzde, geliştirilen YSA modeline dair bilgiler, eğitim sürecine dair bilgiler, ağın performans grafikleri, eğitim durumu ve regresyon grafiklerine ulaşabilmektedir.



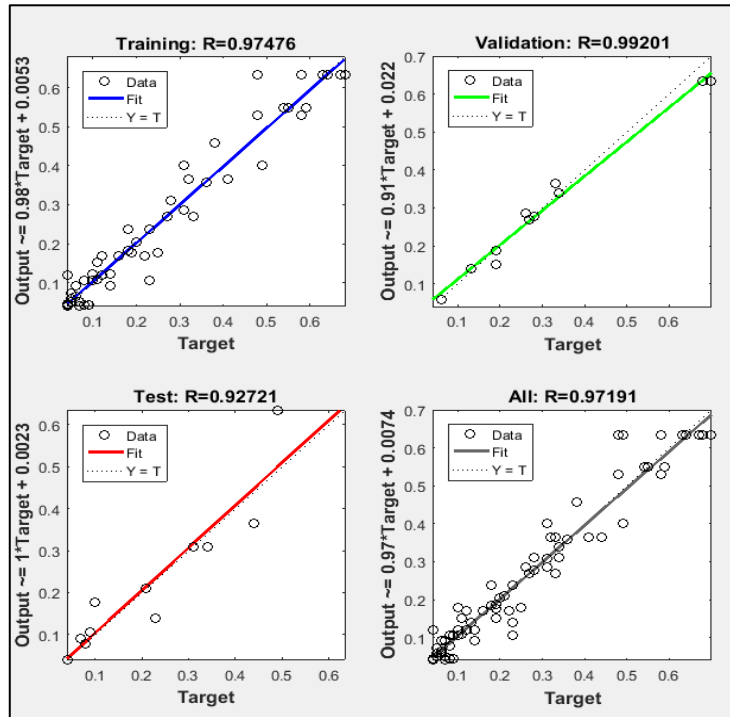
Şekil 58. YSA Eğitim Arayüzü

YSA eğitim arayüzünden ulaşılacak "Plots" olarak tanımlı bölümden ulaşılabilen grafikler performans, eğitim durumu ve regresyon grafikleridir. Aşağıda, YSA modelinin performans ve regresyon grafiklerine yer verilmiştir.



Şekil 59. Ağ Eğitim Performans Grafiği

Aşağıda Şekil 60'da görüldüğü üzere, YSA modeli tahmini değerler ile gerçek çıktı değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon grafiğine yer verilmiştir. Regresyon değeri eğitim veri setinde %94; doğrulama veri setinde %99; test veri setinde ise %92 olarak hesaplanmıştır. Geliştirilen YSA modeli, tüm veri seti regresyon değeri ise %97'dir.



Şekil 60. YSA Modeli Regresyon Grafikleri

3.8 ANFIS Modeli, YSA Modelinin Performanslarının Değerlendirilmesi

Geliştirilen ANFIS modeli ve YSA modelinin performanslarını karşılaştırmak amacıyla, çoklu regresyon analizi yapılmıştır. ANFIS yönteminde en fazla dört girdi (bağımsız değişken) ile model kurulabilirken (Yücel, 2010: 81); YSA yönteminde

sınırsız sayıda girdi ile analiz yapılmaktadır. Çoklu regresyon analizinde ise sınırlı sayıda girdi ile analiz yapılırken, bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı olmaması gerekmektedir (Bayır, 2006: 97). Bu bağlamda, geliştirilen her iki modelin performans karşılaştırması için belirli tek bir modelle karşılaştırması yapılmıştır. Aşağıda Tablo 15’de görüldüğü üzere, çoklu regresyon analizi sonuç tablosuna yer verilmiştir.

Tablo 15. Çoklu Regresyon Analizi Sonuç Tablosu

Değişken	<i>B</i>	<i>Standart Hata</i>	β	t	p	Durbin-Watson	Tolerans	VIF
Sabit	-1,598	,135		-11,208				
1	,749	,083	,583	9,050	0,00	2,079	,306	1,144
2	,690	,091	,486	7,621			,961	1,122
3	,476	,115	,268	4,150			,862	1,149
4	,142	,092	,098	1,541			,305	1,106
R=0,861	R² = 0,742	%95 Güven Aralığı						
F=51,087	p < 0,000							

Yukarıda görüldüğü üzere, her bir değişken için geçerli olan $\rho < 0,05$ olduğu için, model istatistiksel olarak anlamlıdır (Kul, 2014: 12). Geliştirilmiş olan çoklu regresyon modelinin açıklayıcılığı (R^2) 0,74 olarak hesaplanmıştır. Yüksek korelasyon ($R > \%75$) söz konusu olduğunda, otokorelasyon ya da çoklu korelasyon sorunu yaşanması söz konusu olacaktır (Vupa ve Gürünlü Alma, 2008: 42). Bu sebeple, Durbin-Watson ve VIF değerleri incelenmiştir. Durbin-Watson d testi, otokorelasyonu test ederken (Durbin ve Watson, 1971: 4); VIF değeri, çoklu korelasyonu test eder (Gujarati, 2001: 423).

Literatürde, d testi olarak da ifade edilen Durbin-Watson testi, $0 < DW < 4$ değer aralığındadır. 2’ye yakın olan değerler, otokorelasyon yok olarak değerlendirilirken, 1-3 değerleri arasındaki analiz sonuçları, önemli derecede otokorelasyonun olmadığı şeklinde yorumlanmaktadır (Field, 2013: 309). Uygulamamızda hesaplanan d değerine göre otokorelasyon yoktur.

Allison, VIF değer aralığını $VIF \leq 2.5$ olarak kabul ederken (Allison, 1999: 172); Anderson bu aralığı, $VIF \leq 4$ olarak kabul etmiştir (Anderson, 2010: 7). Ringle vd. göre VIF değeri incelendiğinde, $VIF \leq 5$ olarak belirlenmiştir (Ringle vd., 2014: 125). Hair vd. ise değer aralığını, $VIF \leq 10$ olarak kabul etmiştir. Ancak her araştırmacının, doğru eşik değerini, kendisinin belirlemesi gerektiğini düşünmektedirler. Çünkü, varsayılan eşik değerleri, hala doğrusallığa izin verebilir haldedir (Hair vd., 2014: 200). Bu çalışmada, VIF değer aralığı $VIF \leq 2,5$ olarak kabul edilmiştir.

Hesaplanan VIF değeri $VIF < 2,5$ değerinde olduğu için, çoklu korelasyon yoktur. Sonuç olarak, çoklu regresyon modeli, çıktı değerlerini açıklamakta başarılı olarak kabul edilip, model tahmine uygundur (Bayır, 2006: 100).

Geliştirilen çoklu regresyon analizi, ANFIS modeli, YSA modeli ve çoklu regresyon analizi modelinin ortalama ve standart hata değerleri incelenmiştir. Bu sebeple, ANFIS modelinde, “evalfis (input, model) komutu, modelin çıktılarını hesaplamak ve daha sonra gerçek çıktı değerleri ile karşılaştırmak adına kullanılmıştır. (Jang ve Gulley, 1997: 53). Gerçek çıktı değerleri ve ANFIS metoduyla hesaplanan çıktı değerleri ortalaması, sırasıyla 0,26 ile 0,25 olarak hesaplanmıştır. ANFIS modeli standart hata değeri 0,022, gerçek çıktı değeri standart hata değeri 0,022 olarak hesaplanmıştır. Ortalaması 0,26 olan çıktı değerleri, %95 olasılık ile 0,2174-0,3085 aralığında olurken, ortalaması 0,25 olan ANFIS çıktı değerleri %95 olasılık ile 0,213-0,302 aralığında olacaktır. İstatistiki olarak, %95 güven aralığında, çıktı değerleri ve ANFIS modeli çıktı değerleri benzerdir. YSA modeli çıktıları, YSA arayüzünden alınarak, gerçek çıktı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ortalama ve standart hata değerleri incelendiğinde, YSA modeli çıktı değerleri ortalaması 0,26 ve standart hata değeri 0,022 olarak hesaplanmıştır. YSA modeli çıktı değer aralığı, %95 güven aralığında 0,22-0,31 olarak analiz edilmiştir. İstatistiki olarak, %95 güven aralığında, çıktı değerleri ve YSA çıktı değerleri benzerdir.

Tablo 16. Ortalama ve Standart Hata Değerleri

	Ortalama	Standart hata
Çıktı değeri	0,263	0,022
ANFIS Çıktı	0,258	0,022
YSA Çıktı	0,266	0,022
ÇRA	0,263	0,019

Aşağıda Tablo 17’de geliştirilen ANFIS ve YSA modellerinin performans parametre sonuçlarına yer verilmiştir. ANFIS ve YSA modelini tek bir model ile karşılaştırmak üzere geliştirilmiş olan çoklu regresyon analizi (ÇRA) modeli için hesaplamalar yapılmıştır ve karşılaştırılmıştır.

Tablo 17. ANFIS, YSA, ÇRA Modeli Sonuçlarının Karşılaştırılması

	R^2	MSE	RMSE	MAE	MAPE	WIA
ANFIS	0,93	0,003	0,053	0,033	0,16	0,964
YSA	0,94	0,001	0,057	0,032	0,18	0,966
ÇRA	0,73	0,010	0,105	0,087	0,26	0,990

Çoklu regresyon analizi modeli, ANFIS modeli ve YSA modeli tahmin performanslarının değerlendirilmesi için belirlenen MSE, RMSE, MAE ve MAPE parametreleri ve regresyon indekslerinden olan WIA parametre değerleri excel kullanılarak hesaplanmıştır. Aşağıda modellerin başarılı sayılabilmesi için parametrelerin gerekli değer aralıkları açıklanarak, geliştirilen modeller analiz edilmiştir.

Belirlilik (determinasyon) katsayısı olarak belirtilen R^2 değeri, $0 \leq R^2 \leq 1$ değer aralığında olması gerekmektedir (Yüzer, 2004: 272). Determinasyon katsayısının, bir değerine yaklaşması halinde, geliştirilen model ile gerçek değerlerin doğruluğunun arttığı anlaşılmalıdır (Aylı ve Ulucak, 2020: 93). Bu bağlamda, girdi değişkenlerinin (bağımsız değişken), çıktı değişkenini (bağımlı değişken) ne derece yordadığı, yani yüzde kaçını açıkladığı analiz edilmektedir (Ünver, 1996: 283). Uygulamamızda hesaplanan R^2 değerlerine göre ANFIS modeli %94, YSA modeli %93, çoklu regresyon modeli ise %73 oranında girdi değişkenleri, çıktıyı açıklamaktadır.

Ortalama kare hata olarak ifade edilen MSE, ortalama mutlak hata olarak ifade edilen MAE ve kök ortalama kare hata olarak ifade edilen RMSE parametreleri standartlaştırılmamış değerlerdir ve modelin başarılı sayılmaları için bu parametrelerin sıfıra yakın olması beklenir (Ji ve Gallo, 2006: 824). Uygulamamızda hesaplanan en düşük MSE, MAE ve RMSE değerlerini sırasıyla YSA modeli, ANFIS modeli ve YSA modeli yakalamıştır. YSA modeli ve ANFIS modelinin MSE, MAE ve RMSE değerleri birbirine yakındır.

Lewis tarafından, MAPE değeri, %10 değerinin altında olan modeller “yüksek derecede tahmin”, %10-%20 arasındaki modeller “iyi derecede tahmin”, %20-%50 arasında olan modeller “kabul edilebilir tahmin”, %50 ve üzerinde olan modeller “güvenilmez tahmin” olarak kabul edilmiştir (Chen vd., 2003: 445; Çuhadar vd., 2009: 107; Karahan, 2015: 170). Bu bağlamda uygulamamızda hesaplanan MAPE değerlerine göre, ANFIS modeli ve YSA modeli %10-%20 MAPE değer aralığında, “iyi derecede tahmin” olarak nitelendirilirken, çoklu regresyon modeli %20-%50 arasında MAPE değeri ile “kabul edilebilir tahmin” olarak değerlendirilmektedir.

WIA değeri, [0,1] aralığındadır. “d değeri” veya “uyum indeksi” olarak da ifade edilen WIA değeri, bir değerine yaklaştıkça modelin doğru tahmin sonuçlarına ulaştığını varsayar (Wilmott vd, 2011: 2088). WIA değeri, regresyon derecesini ölçer ve ne kadar büyük olursa, tahmin sonuçlarının doğruluk seviyesi artar (Wang ve Xu, 2004:

265). Çalışmamızda hesaplanan WIA değerlerine göre, her üç model başarılı tahmin sonuçlarına ulaşmıştır.

Modelin başarılı sayılması için R^2 değerinin en yüksek; MSE, RMSE ve MAE parametrelerinin değerleri sıfır değerine yaklaşmalıdır. WIA değerinin ise bir değerine yaklaşması beklenmektedir. ANFIS modeli, RMSE değeri her iki modele oranda daha yüksek performans gösterirken, MAE değerleri incelendiğinde, YSA modeli ile ANFIS modeli sonuçlarının çok yakın olduğu söylemek mümkündür. WIA değerine göre, her üç model için, tutarlı model geliştirildiğini söylemek mümkündür. Performans parametrelerine göre her üç model, başarılı olarak değerlendirilebilmektedir. Sonuç olarak, en yüksek başarı oranına sahip model, ANFIS modeli olarak belirlenmiştir.

3.9 ANFIS Modeli ile Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimi

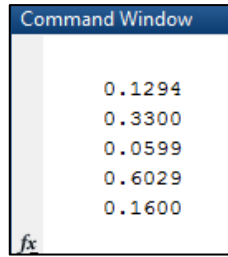
Geliştirilen ANFIS modeli sayesinde veritabanı oluşturulmuştur. İşletme için geliştirilmiş olan ANFIS modelinin kullanılması, tedarikçi seçiminde kolaylık sağlamaktadır. Modelde kullanılan veriler güncellenebilir ve model sürekli güncel tutulabilir. Bu sayede model geçerliliğini sürekli korumuş olacaktır. İşletmenin, daha önce tedarik faaliyetlerini karşıladığı firmalar arasında seçim yapması durumunda, geçmiş girdi verileri programa uygun şekilde girilerek, karar verme süreci yönetilebilmektedir. Çalışmada, işletmenin beş tedarikçi firması arasında seçim yapması durumu incelenmektedir. Bu bağlamda, her bir firmanın girdi değişkenlerine göre aldıkları skorlar, girdi verisini oluşturmaktadır. Tedarikçi firmaların SS (Sosyal sorumluluk), M (Maliyet), AY (Atık yönetimi) ve TS (Teslim süresi) kriterlerine göre almış oldukları skorlar, girdi verileridir. Uygulamada kullanılan veri seti, daha önceki adımlarda programa tanıtılmıştır. İlgili beş tedarikçi firması verileri uygun komut ile programa girildiğinde, işletmeye en uygun sürdürülebilir tedarikçi firma belirlenmiş olmaktadır.

ANFIS metodu ile oluşturulan model neticesinde, hangi firmanın işletme için en uygun skora sahip olduğunu, “evalfis” komutu sayesinde analiz edilmektedir. Komutun programda kullanılabilmesi için, modelin “workspace” alanına kaydedilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda aşağıdaki adımlar izlenir.

1. “Workspace” alanında yeni bir “input” klasörü oluşturulur.
2. Oluşturulan “input” klasörüne, sadece girdi değişkenleri yüklenir.
3. “File” menüsünde bulunan, “To Workspace” seçeneği seçilir.
4. Açılan sekmede, “Workspace variable” alanına “model” yazılır. “OK” ifadesine basılır.

5. ANFIS arayüzünde, “model” adı ile çalışma kaydedilmiştir.
6. Tüm adımlar doğru yapıldığı takdirde, “Workspace” alanında “model” klasörü görülecektir.

Yukarıdaki işlemlerde “model” olarak belirlediğimiz isim, ANFIS modelinin adıdır. “evalfis” komutu, evalfis(girdi dosyası ismi, ANFIS modeli ismi) şeklinde kullanılır. Bu bağlamda, geliştirdiğimiz komut “evalfis(input,model)” olarak kullanılmıştır. İlgili komut yardımıyla, çıktının program üzerinde görünümü aşağıda verilmiştir. Aşağıda Şekil 61’de görüldüğü üzere, beş tedarikçi firması arasından en uygun tedarikçi firmasının belirlenmesi adına ANFIS çıktıları aşağıdaki gibidir.



Şekil 61. ANFIS Model Çıktı

Çıktı değişkeni olarak belirlenen ciro payı değişkeni, yüzde olarak ifade edildiğinde, 0,12 çıktıya sahip birinci tedarikçi, işletmede %10’luk bir paya sahiptir. 0.33 çıktıya sahip ikinci tedarikçi, işletmede %25’lik bir yüzdeye sahiptir. 0.05 çıktıya sahip olan üçüncü tedarikçi, işletmede %4’lük bir yüzdeye sahiptir. 0,60 çıktı ile dördüncü tedarikçi ise işletmede %47’lik bir yüzdeye sahiptir. 0,16 çıktı ile beşinci tedarikçi ise işletmede %12’lik bir yüzdesi vardır. Ciro payı en yüksek yüzdeye sahip sürdürülebilir tedarikçi %47’lik paya sahip olan dördüncü işletmedir. Sonuç olarak, dördüncü tedarikçi en yüksek ciro payına sahip olduğundan dolayı işletme için en uygun sürdürülebilir tedarikçi firmasıdır.

Tablo 18. Tedarikçi Firmalarının Ciro Payından Aldıkları Yüzde

Tedarikçi	ANFIS Model Çıktısı	Yüzde	Sıralama
1	0,1294	10,09203	4. sırada
2	0,3300	25,73701	2. sırada
3	0,0599	4,671658	5. sırada
4	0,6029	47,02075	1. sırada
5	0,1600	12,47855	3. sırada

SONUÇ

İşletmeler tarafından, sürdürülebilir tedarikçi performans değerlendirmesi ve seçilmesi, etkin ve verimli sürdürülebilir tedarik zinciri oluşturmak adına önemlidir. Yeni dünya düzeninde, işletmelerin sadece maksimum kar elde etme amacıyla hareket etmesi (ekonomik çıkar) yerine, maksimum toplumsal çıkarlarla beraber “kazan-kazan” ilişkisinin kurulması talep edilmektedir. Bu bağlamda, işletme düzeyinde sürdürülebilirlik denildiğinde, işletmenin tüm elamanlarıyla ilişkisinden söz edilmektedir. Gündeminde sadece ekonomik fayda odaklı işletmelerin, çevresel ve sosyal faydaları göz ardı ederek hareket etmeleri halinde, rekabet edebilmesi ve pazarda var olabilmesi söz konusu değildir.

Sürdürülebilir tedarik hizmeti aldığı tedarikçinin, işletmelere doğrudan veya dolaylı olarak pek çok etkisi söz konusudur. Yanlış sürdürülebilir tedarikçi firması performans değerlendirmesi ve seçimi ile işletmenin var olan imajına zarar verebileceği gibi, işletmenin ağır yasal yükümlülükler altında kalmasına neden olabilir. Bu bağlamda, işletmelerin tüm karar aşamalarında olduğu gibi, sürdürülebilir tedarikçi seçiminde alınacak kararlar, işletmeler tarafından titizlik ile değerlendirilmektedir.

Sürdürülebilir tedarik zincirinde, tedarikçi performans değerlendirme ve seçimi çok kriterli karar verme süreçlerinden biri olarak tanımlanmaktadır. Rekabetçi sayısının artması, değerlendirme kriterlerinin artması, değerlendirme kriterlerini tanımlamanın zor olması gibi sıkıntılar sebebiyle seçim probleminin karmaşıklığı artmıştır (Maniak vd., 2013: 118). Bu bağlamda, yüksek doğruluk ile çalışan, güvenilir metodolojilere giderek ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde, sürdürülebilir tedarikçi performans değerlendirme ve seçimine yönelik geliştirilen çok kriterli karar verme metodolojileri olduğu gibi, yüksek oranda doğruya yakın sonuçlar elde edilen yapay zekâ yaklaşımları da söz konusudur. Bu bağlamda, etkin ve verimli sürdürülebilir tedarik zinciri yaratmak adına yapay zekâ yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Çalışmada, Denizli merkezli mermer işletmesinde, tedarik faaliyetlerinde, konusu en çok geçen ürün değerlendirilmiştir. Sürdürülebilirlik kriterleri, literatür taraması ve karar komitesi değerlendirmeleri ile belirlenmiştir. Sürdürülebilir tedarik zinciri için, en etkin girdiler olan sürdürülebilirlik kriterlerinin doğru belirlenmesi hususu önemlidir. Bu bağlamda, belirlenen on sürdürülebilirlik kriteri, daha etkin model geliştirmek amacıyla ANFIS metodu ile dört kritere indirgenmiştir. En etkin sürdürülebilirlik kriterleri, SS (Sosyal sorumluluk), M (Maliyet), AY (Atık yönetimi) ve TS (Teslim süresi) olarak analiz edilmiştir. Sürdürülebilir tedarikçiler, işletmelerin satın

alma fonksiyonlarında yer almakla beraber, işletmelerin toplam cirosunun bir kısmını temsil eden, itici gücüdür. Bu sebeple, çıktı değişkeni olarak, tedarikçi firmaların ciro payları alınmıştır.

Sürdürülebilir tedarikçi performans değerlendirme için, ANFIS modeli ve YSA modeli geliştirilmiştir. ANFIS modelinin, gerçek çıktı değerlerini açıklamadaki başarısı, (R^2) %93, YSA modelinin gerçek çıktı değerlerini açıklamadaki başarısı ise (R^2) %94 olarak hesaplanmıştır. Her iki modelin performans başarısını karşılaştırmak maksadıyla, çoklu regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Çoklu regresyon modelinin girdi değişkenlerinin, çıktı değişkenlerini açıklamadaki başarısı ise (R^2) %74 olarak analiz edilmiştir. Performans göstergeleri olarak R^2 , MSE, RMSE, MAE, MAPE ve regresyon indekslerinden WIA parametreleri kullanılmıştır. Modelin başarılı sayılabilmesi için, R^2 değerinin en yüksek, MSE, RMSE, MAE değerinin en düşük ve [0,1] aralığında WIA değerinin ise bir değerine yaklaşması beklenmektedir. Performans parametrelerine göre, ANFIS modeli daha başarılı bir performans tahmini gerçekleştirmiştir. Bu bağlamda, en yüksek performans değerlendirme tahmini yapan ANFIS modelinde, sürdürülebilir tedarikçi seçimi yapılmıştır. Geliştirilen sürdürülebilir tedarikçi seçim sürecinde, beş sürdürülebilir tedarikçi firması arasından ciro payında %47 oranında yüzdeye sahip olan, dördüncü işletme belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışmanın literatüre katkı yapacağı düşünülmektedir. Gelecek çalışmalar farklı sektörler, farklı örneklem büyüklükleri ve kriterler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Geliştirilen uygulamada MATLAB programının geliştirdiği bulanık kural tabanı kullanılmıştır. Gelecek çalışmalarda, kural tabanı geliştirilerek sürdürülebilir tedarikçi performans tahmini ve değerlendirme yapılabilir. Sürdürülebilirlik kriterlerinin indirgenmesinde, verilerin elde edilmesinde çok kriterli karar analizi ile beraber hibrit bir uygulama gerçekleştirilebilir. Farklı öğrenme algoritmaları ile uygulamanın geliştirilmesi söz konusu olabilir.

KAYNAKLAR

- Ahi, P., Searcy, C. (2013). "A Comparative Literature Analysis of Definitions for Green and Sustainable Supply Chain Management", *Journal of Cleaner Production*,52,329- 341.
- Aissoui, N., Haouori, M. and Hassini, E., (2007). "Supplier selection and order lot sizing modeling: A review", *Operations Research and Outsourcing*.
- Aissoui, N., Haouori, M. and Hassini, E., (2007). "Supplier selection and order lot sizing modeling: A review", *Operations Research and Outsourcing*.
- Al-Hmouz, Shen H., Member S. (2012). "Modeling and Simulation of an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for Mobile Learning", *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 5/3,226-237.
- Allison P.D. (1999). *Multiple Regression*, Pine Forge Press, Inc.
- Altaş İ.H. (1999). "Bulanık Mantık: Bulanık Denetim", *Enerji Elektro Elektromekanik-3'e*, 64,76-81.
- Amindoust A., Ahmed S., Saghafinia A., Bahreininejad A. (2012). "Sustainable Supplier Selection: A Ranking Model Based On Fuzzy İnference System", *Appl Soft Comput.*,12/6, 1668–1677.
- Anderson D., Mcneill G. (1992). "Artificial Neural Networks Tecnology", *A Dacs State of The Art Report*, A Dacs State-of-The-Art Report,Contract Number f30602-89-c0082.
- Argüden, Yılmaz, (2002). *Kurumsal Sosyal Sorumluluk*, ARGE Danışmanlık Yayınları No:03, Rota Yayın Yapım Tanıtım Ticaret Ltd. Şti., 1. Basım Ekim, İstanbul.
- Arı A., Berberler E. (2017). "Yapay Sinir Ağları ile Tahmin ve Sınıflandırma Problemlerinin Çözümü İçin Arayüz Tasarımı", *Acta Infologica*, 1/2, 55-73.
- Ataseven, B. (2013). "Yapay Sinir Ağları ile Öngörü Modellemesi", *Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Öneri Dergisi*, 10/39, 101-115.
- Aylı E., Ulucak O. (2020). "Yapay Sinir Ağları ve Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi ile Francis Tipi Türbinler İçin Verim Tahminlenmesi", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 40/1, 87-97.
- Bai Y., Wang D. (2001). "Fundamentals of Fuzzy Logic Control — Fuzzy Sets, Fuzzy Rules and Defuzzifications", *Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications* ,17-36.
- Barak S., Sadegh S.S (2016). "Forecastin energy consumption using ensemble ARIMA-ANFIS Hybrid Algoritm", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*,82,92-104.
- Barney, J.B. (1991). "Firm resources and sustained competitive advantage", *Journal of Management*,17/1, 99-120.

- Bayır F. (2006). “*Yapay Sinir Ağları ve Tahmin Modellemesi Üzerine Bir Uygulama*”, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Baykal N., Beyan T. (2004). *Bulanık Mantık İlke ve Temelleri*, Bıçaklar Kitapevi, Ankara.
- Bayrak M.Y., Çelebi N., Taşkın H. (2007). “A Fuzzy Approach Method for Supplier Selection”, *Journal Production Planning Control*, 18/1, 54-63.
- Berenji H. R., Khedkar P. (1992). “Learning and Tuning Fuzzy Logic Controllers through Reinforcements”, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 3, 724-740.
- BİRCAN H., Zontul M., Yüksek A.G. (2006). “SOM Tipinde Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Türkiye'nin İhracat Yaptığı Ülkelerin Kümelenmesi Üzerine Bir Çalışma”, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20/2, 219-237.
- Bishop D. K. (1994). “RecA Homologs Dmc1 and Rad51 Interact to Form Multiple Nuclear Complexes Prior to Meiotic Chromosome Synapsis”, *CELL*, 79, 1081-1092.
- Bojadziev, G., Bojadziev, M. (2007). *Fuzzy Logic For Business, Finance, and Management*, World Scientific, Singapore.
- Bozlağan R. (2004) “Sürdürülebilir Gelişme Kavramı Üzerine Yapılan Tartışmalara Bir Bakış”, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*, 18/3-4, 20.
- Brandenburg M., Govindan K., Sarkis J., Seuring S. (2014). “Quantitative Models for Sustainable Supply Chain Management: Developments and Directions.” *European Journal of Operational Research*, 233/2, 299–312.
- Brockhaus S., Kersten W., Knemeyer A. M. (2013). “Where Do We Go From Here? Processing Sustainability Implementation Efforts Across Supply Chains”, *Journal of Business Logistics*, 32/2, 167-182.
- Carroll, A. B. (1999). “Corporate Social Responsibility: Evolution of a Definitional Construct”, *Business & Society*, 38/3, 268–295.
- Chen R.J. C., Bloomfield P., Fu J.S. (2003). “An Evaluation of Alternative Forecasting Methods to Recreation Visitation”, *Journal of Leisure Research*, 35/4, 441-454.
- Chen Y.L. (2011). “Structured Methodology for Supplier Selection and Evaluation in a Supply Chain.”, *Information Sciences*, 181/9, 1651–1670
- Cheng C.H., Yang, K. L., & Hwang, C. L. (1999). “Evaluating Attack Helicopters by AHP based on Linguistic Variable Weight”, *European Journal of Operation Research*, 116/2, 423-435.
- Choudhary, M., Seth, N. (2011). “Integration of Green Practices in Supply Chain Environment The Practices of Inbound, Operational, Outbound and Reverse

- Logistics”, *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3/6, 4985-4993.
- Chowdary, B. V. (2007). “Back-propagation artificial neural network approach for machining centre selection”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 18/3, 315–332.
- Choy, K.L., Lee, W.B., Lo, V. (2003). “Design of an Intelligent Supplier Relationship Management System: A Hybrid Case based Neural Network Approach”, *Expert Systems with Applications*, 24, 225–237.
- Christopher, M. and Towill, D.R., (2000). “Supply Chain Migration from Lean and Functional to Agile and Customised”, *International of Journal of Intelligent Systems*, 5/4,206-213.
- Cirstea M.N., Dinu A., Khor J. G,McCormick M. (2002). *Neural and Fuzzy Logic Control of Drives and Power Systems*, Elsevier Science, Woburn.
- Collin, Peter H. (2004). *Dictionary of Environment & Ecology*, London: Bloomsbury Publishing Plc.
- Çağlıyan V. (2012). “Kurumsal Kaynak Planlama Yazılımı Kullanımının İşletme Performansı Üzerine Etkisi: Örnek Olay Çalışması”, *Niğde Üniversitesi İİBF Dergisi*, 5,1.
- Çelebi, D., Bayraktar, D. (2008). “An Integrated Neural Network and Data Envelopment Analysis for Supplier Evaluation Under Incomplete Information”, *Expert Systems with Applications*, 35, 1698–1710.
- Çelikyılmaz A., Türksen I. B. (2009). *Modelling Uncertainty with Fuzzy Logic*, Springer, USA.
- Çuhadar M., Güngör İ., Göksu A. (2009). “Turizm Talebinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini ve Zaman Serisi Yöntemleri ile Karşılaştırmalı Analizi: Antalya İline Yönelik Bir Uygulama”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14/1, 99-114.
- De Boer, Luitzen; Labro, Eva ve Morlacchi, Pierangela (2001). “A Review of Methods Supporting Supplier Selection”, *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7/2,75-89.
- Demir B. G., Güngör N. (2013). “Mermer Madenciliği ve Çevre”, *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 20,7-14.
- Dernoncourt F. (2013). *Introduction to Fuzzy Logic*, MIT.
- Dubois D., Prade H. (1978). “Operations on Fuzzy Numbers”, *International Journal of Science*, 9/6,613-626.
- Dubois D., Prade H. (1980). *Fuzzy Sets and System: Theory and Applications*, Academic Press Limited, London.

- Dunn J.C. (1973). "A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and Its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters", *Journal of Cybernetics*, 3/3,32-57.
- Durbin J., Watson G.S (1971). "Testing for Serial Correlation in Least Squares Regression III", *Biometrika*, 58/1-1-19.
- Dyllick, T. and K. Hockerts (2002). "Beyond the Business Case for Corporate Sustainability." *Business Strategy & the Environment*,11,130-141.
- ECLAC (2001). *Science and Technology Sustainability and Sustainable Development*.
- Elagöz İ. (2006). "Tedarik Zinciri Yönetimi Yaklaşımının Maliyet Hesaplama Çalışmalarına Etkisi", Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Elkington J. (2004). "Enter the Triple Bottom Line", (Erişim Adresi: <http://kmhassociates.ca/resources/1/Triple%20Bottom%20Line%20a%20history%201961-2001.pdf>).
- Elkington, J. (1997). *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*, Capstone Publishing Limited. Oxford.
- Elmas Ç. (2003). *Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama)*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Emmett, S., Sood, V. (2010). *Green Supply Chains*, 1st ed. West Sussex, John Wiley & Sons Ltd.
- Erdun H. (2020). "Fuzzy Logic Defuzzification (Bulanıklaştırma) Methods with Examples",10.13140/RG.2.219014.09282.
- Fausett, L. (1993). *Fundamentals of Neural Networks-Architectures, Algorithms and Applications*, USA: Prentice-Hall.
- Field A. (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*, SAGE Publications, Inc.
- Figueiredo M., Gomide F. (1999). "Design of Fuzzy Systems Using Neuro-Fuzzy Networks", *IEEE Transactions on Neural Networks*,10/4,815-827.
- Freeman, J.A., Skapura, D.M. (1991). *Neural Networks Algorithms, Applications and Programming Techniques*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc, USA.
- Fuller R. (1995). *Neural Fuzzy System*, Abo Akademi University.
- Galindo J. (2008). *Handbook of Research on Fuzzy Information Processing in Databases*, Information Science Reference, Hershey, Newyork.
- Gallant S. (1993). *Neural Network Learning and Expert Systems*, MIT press.

- Gegovska T., Koker R., Cakar T. (2020). “Green Supplier Selection Using Fuzzy Multiple-Criteria Decision-Making Methods and Artificial Neural Networks”, *Computational Intelligence and Neuroscience*, 1,26.
- Gottwald S. (2005). *Many-Valued Logics*, Preprint submitted to Elsevier Science.
- Göztepe, Kerim (2010). *Tedarikçi Seçiminde Bulanık Analitik Ağ Prosesi ve Yapay Sinir Ağları: Literatür Çalışması*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Graupe D. (2007). *Principles of Artificial Neural Networks*, World Scientific Publishing Co., PTE. Ltd. Second Edition.
- Gujarati D. N. (2001), *Temel Ekonometri, Çev., Ümit Şenesen ve Göktürk Şenesen, 2. Baskı*, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Gupta M. (2015). “Supplier Selection Using Artificial Neural Network and Genetic Algorithm”, *International Journal of Indian Culture and Business Management*,11/4, 457-472.
- Gültepe Y. (2019). “Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Hava Kirliliği Tahmini Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16,8-15.
- Haack S. (1980). *Philosophy of Logics*, Cambridge U.P.
- Haanaes K., 2019. “Why All Businesses Should Embrace Sustainability”, *IMD*, (Erişim Adresi:<https://www.imd.org/contentassets/44380898a141424abb873f8774127bc4/tc082-16-print.pdf>)
- Hahn, Charles K., Charles A. Watts, Kee Young Kim. (1990). “The Supplier Development Program: A Conceptual Model.” *Journal of Purchasing and Materials Management*, 26/2, 2–7.
- Hair J. F., Hult G.T., Sarstedt M. (2014). *A Primer on Partial Least Square Structural Equation Modelin (PLS-SEM)*, SAGE Publications, Inc.
- Handfield, R.B., Nichols, E.L. (1999). “Introduction to Supply Chain Management”. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. Harding, G., *The Tragedy of Commons. Science*,162, 1245– 1248.
- Haykin S. (1999). *Neural Network A Comprehensive Foundation*, Pearson Prentice Hall.
- Hellendoorn H., Thomas C. (1993). Defuzzification in Fuzzy Controllers, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 1,109-123.
- Hervani, A., Helms M., Sarkis, J. (2005). “Performance Measurement For Green Supply Chain Management”, *Benchmarking*, 4/12,330-352.
- Hristev R.M. (1998). *The ANN Book* [Elektronik Sürüm], GNU Public License, (Edition 1), Boston USA.

- Hu, Clark (2002). *Advanced Tourism Demand Forecasting: ANN and Box-Jenkins Modelling*, Purdue University, MI, USA.
- Hunt K.J., Sbarbaro D., Zbikowski R., Gawthrop P. J. (1992). “Neural Networks for Control System – A Survey”, *International Federation of Automatic Control*, 28/6, 1083-1112.
- Ishak A., Wijiaya T. (2015). “Rubber Spare Parts Supplier Selection Model Using Artificial Network: Multi-Layer Perceptron”, *ICOEMIS*, 173, 313-320.
- Jain A.K., Mao J., Modiuddin K.M (1996). “Artificial Neural Networks: A Tutorial”, *Computer*, 29-3/31:44.
- Jang J.S., Sun R.C. (1993). “Functional Equivalence Between Radial Basis Function Networks And Fuzzy Inference Systems”, *IEEE Transactions On Neural Networks*, 4/1.
- Jang J-S. R., Gulley N. (1997). *MATLAB Fuzzy Logic Toolbox, Fuzzy Logic Toolbox User’s Guide 1*, Copyright 1984, The MathWorks, Inc.
- Jang Jyh-Shing R. (1993). “ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 23/3, 665:685.
- Jang Jyh-Shing R. (1996). “Input Selection for ANFIS Learning”, *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Proceedings of IEEE 5th International Fuzzy System.
- Jang Jyh-Shing R., Sun Chuen-Tsai, Mizutani E. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*, Prentice Hall.
- Jantzen J. (1988). Tutorial On Fuzzy Logic, Technical University of Denmark, Department of Automation, Bldg 326, DK-2800 Lyngby, DENMARK. Tech. report no 98-E 868.
- Ji L., Gallo K. (2006). “An Agreement Coefficient for Image Comparison”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72/7, 823:833.
- Juang F. C., Lin C.T. (1998). “An On-Line Self Constructing Neural Fuzzy Inference Network and It’s Applications”, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 6, 12-32.
- Kafkan İ., Balkan E., Şalk M., (2013) “*Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) ve Jeofizikte Kullanım Alanları: Sismoloji Örneği*”, DEÜ Mühendislik Fakültesi , İzmir.
- Kannan D., Khodaverdi R., Olfat L., Jafarian A., Diabat A. (2013). “Integrated Fuzzy Multi Criteria Decision Making Method and Multi-Objective Programming Approach for Supplier Selection and Order Allocation in a Green Supply Chain.” *Journal of Cleaner Production* 47, 355–367.
- Karaali F.Ç, Ülengin F. (2008). “Yapay Sinir Ağları ve Bilişsel Haritalar Kullanılarak İşsizlik Oranı Öngörü Çalışması”, *ITU Dergisi/D Mühendislik*, 7/3, 19-20.

- Karahan M. (2015). "Turizm Talebinin Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Tahmin Edilmesi", *Süleyman Demirel Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20/2, 195-209.
- Karası S., Altan A., Saraç Z. Hacıoğlu R. (2018). "Zaman Serisi Verilerini Kullanarak Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Bitcoin Fiyat Tahmini", *28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*.
- Karymshakov, K., Abdykaparov Y. (2012). "Forecasting Stock Index Movement with Artificial Neural Networks: The Case of Istanbul Stock Exchange", *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14/2, 231-242.
- Kasabov N., e Qun Song (1999). "Dynamic Evolving Fuzzy Neural Networks with 'm-out-of-n' Activation Nodes for On-Line Adaptive Systems", *Technical Report TR99/04*, Departement of Information Science, University of Otago.
- Kasabov N.K. (1996). *Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering*, A Bradford Book The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England.
- Kaya, E.Ö. (2010), "Sürdürülebilir Kalkınma Sürecinde Bankaların Rolüve Türkiye'de Sürdürülebilir Bankacılık Uygulamaları", *İşletme Araştırmaları Dergisi* 2/3,75-94.
- Khanmohammadi S., Jassbi J (2014). "A Fuzzy Approach for Risk Analysis with Application in Project Management", *FIS Theory and Applications* ,41:62.
- Kıyak, E., & Kahvecioğlu, A. (2003). "Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması". *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1/2, 63-72.
- Klir G.J., Wierman M.J. (1998). *Uncertainty-Based Information*, Heidelberg, Germany: Physica-Verlag.
- Klir, G. J., Yuan, B. (1995). *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, Prentice Hall, New Jersey.
- Kohonen T. (1990). "The Self-Organizing Map", *Proceedings of The IEEE*, 78/9.
- Krenker A., Bester J., Kos A. (2011). "Introduction to Artificial eural Networks", *Artificial Neural Networks-Methodological Advantages and Biomedical Application*, Inch Tech, 3-19.
- Kul S. (2014). "İstatistik Sonuçlarının Yorumu: P Değeri Güven Aralığı Nedir?", *Türk Toraks Derneği*, 11-13.
- Kuo R.J., Wang Y.C., Tien F.C. (2010). "Integration of Artificial Neural Network and MADA Methods for Green Supplier Selection", *Journal of Cleaner Production*, 18/12, 1161–1170.
- Küçükkocaoğlu, G., Benli, Y. ve Küçüksözen, C. (2007). "Finansal Bilgi Manipülasyonunun Tespitinde Yapay Sinir Ağı Modelinin Kullanımı", *İMKB Dergisi*, 9/36, 1-23.

- Küçükkocaoğlu, G., Benli, Y., Küçüksözen, C. (2007). “Finansal Bilgi Manipülasyonunun Tespitinde Yapay Sınır Ağı Modelinin Kullanımı”, *İMKB Dergisi*, 9/36, 1-23.
- Lau, H.C.W., Lee, C.K.M., Ho, G.T.S., Pun, K.F. ve Choy, K.L. (2006). “A Performance Benchmarking System to Support Supplier Selection”, *International Journal of Business Performance Management*, 8/2–3, 132–151.
- Lee E.K., Ha S., Kim S.K. (2001). “Supplier Selection and Management System Considering Relationship in Supply Chain Management”, *IEE Transactions On Engineering Mangement*, 48/3, 307-318.
- Lin T. C., Lee C. S. (1991). “Neural Network Based Fuzzy Logic Control and Decision System”, *IEEE Transactions on Computers*, 40/12, 1320-1336.
- Luo X., Wu, C., Rosenberg D., Barnes, D. (2009). “Supplier Selection in Agile Supply Chains: An Information Processing Model and an Illustration”, *Journal of Purchasing & Supply Management*, 15, 249–262.
- Maniak R., Midler C., Beaume R., Pechmann F. (2013). “Featuring Capability: How Carmakers Organize to Deploy Innovative Features across Products”, *Journal of Product Innovation Management*, 31/1, 114-127.
- May R. J., Maier H. R., Dandy G. C. (2010). “Data Splitting for Artificial Neural Networks Using SOM-Based Stratified Sampling”, *Neural Networks*, 23/2, 283–294.
- McCulloch W.S., Walter P. (1943). “A Logical Calculus of The Ideas Immanent in Nervous Activity”, *Bulletin of Matematical Biophysic*, 5, 115-133.
- Mead C. (1989). *Analog VLSI and Neural Systems*, Reading, Mass., AddisonWesley.
- Mendel J.M (2011). *Uncertain Rule-Based Fuzzy Systems Introduction and New Directions*, Pearson Education.
- Morim A., Reis P., Consenza C.A., Sa Fortes L. E. (2013). “Thing Fuzzy System-Developing New Pricing Strategy Methods For Consumer Goods Using Fuzzy Logic”, *International Journal of Fuzzy Logic System*, 7/1, 1-17.
- Nauck D. (1994). “A Fuzzy Perceptron as a Generic Model for Neuro-Fuzzy Approaches”. *Proc. Fuzzy-Systems*, 2 nd GI-Workshop, Munich.
- Nidditch P.H. (1960). *Elementary Logic of Science and Mathematics*, University Tutorial Press Ltd., London.
- Nishat, F. M. (2010). “Sustainable Supply Chains: A Study of Interaction Among the Enablers”, *Business Process Management Journal*, 16(3), 508-529.
- Ofluoğlu M., Miran B. (2014). “Bulanık Mantık Yöntemiyle En İyi Tedarikçi Seçimi Sorunu: Türkiye’deki Hazır Giyim Firmalarına Yönelik Bir Uygulama Çalışması”, *Journal of Textiles and Engineer*, 21, 96.

- Özbek H., Keskin S. (2007). “Standart Sapma mı Yoksa Standart Hata mı”, *Van Tıp Dergisi*, 14/2, 64-67.
- Özdemir A. (2007). “*Tedarikçi Seçiminde Karar Modelleri ve Bir Uygulama Denemesi*”, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- Özdemir A. (2010). “Ürün Grupları Temelinde Tedarikçi Seçim Probleminin Ele Alınması ve Analitik Hiyerarşi Süreci ile Çözümlemesi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2/1, 55-84.
- Öztemel E. (2006). *Yapay Sinir Ağları (2. Baskı)*, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Pagell, M., Wu, Z. (2009). “Building a More Complete Theory of Sustainable Supply Chain Management Using Case Studies of Ten Exemplars”, *Journal of Supply Chain Management*, 45/2, 37–56.
- Paksoy T. (2010). *Lojistik ve Tedarik Zinciri Yönetimi Dersi ders notları*, Selçuk Üniversitesi Endüstri Mühendisliği.
- Paksoy, T., Yapıcı, Pehlivan N., Özceylan, E. (2013). *Bulanık Küme Teorisi*, Nobel Yayın, Ankara.
- Tsao, E., Bezdek, J., Pal, N. (1994). Fuzzy Kohonen Clustering Networks, *Pattern Recognit.*, 27, 757-764.
- Peter P., Rogers, Kazı F., Jalal, John A. B. (2007). *An Introduction to Sustainable Development*, Earthscan.
- Pezzoli K. (1996). *Sustainable Development a Transdisciplinary Overview of The Literature*, Urban Studies Planning, University of California.
- Ragazzi S., Crescentini A., Castelli L. (2012). “Evaluation and Monitoring of Innovation in School: A Case Study”, *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 69, 414–421.
- Rezaee Z., Tsui J., Cheng, P., Zhou G. (2019). *Business Sustainability in Asia: Compliance, Performance, and Integrated Reporting and Assurance*, (1 st Edition). John Wiley & Sons, Inc. New Jersey.
- Rojas R., (1996). *Neural Networks A Systematic Introduction*, Springer -Verlag, Berlin.
- Ross T.J. (2010). *Fuzzy Logic With Engineering Applications*, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom.
- Ross T.J. (2014). *Fuzzy Logic With Engineering Applications*, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.

- Roy, Sudipta Sahar – Mitra, Sarbani (2015), “Corporate Triple Bottom Line Reporting: An Empirical Study on the Indian Listed Power Companies”, *SDMIMD Journal of Management*, 6, 33-45.
- Sapena O., Botti V., (2003). “Application Of Neural Networks to Stock Prediction in Pool Companies”, *Applied Artificial Intelligence*, 17/7,661-673.
- Sarıkaya M., Kara F. Z., (2007). “Sürdürülebilir Kalkınmada işletmenin Rolü: Kurumsal Vatandaşlık”, *Yönetim ve Ekonomi Celal Bayar Üniversitesi İİBF*, 14/2, 221-233.
- Sarkis, J. (2003). “A Strategic Decision Framework for Green Supply Chain Management”, *Journal Of Cleaner Production*, 11/4, 397-409.
- Savitz A.W., Weber K. (2006). *The Triple Bottom Line*, Wiley and Sons, Inc.
- Saygılı, Y.S. (2008). “İstatistiksel Yöntemlerle Yapay Sinir Ağları Uygulamalarının Karşılaştırılması: Millî Savunma Bakanlığı Bütçesinin Öngörülmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu, Ankara.
- Seuring, S. and Muller, M. (2008). “From a Literature Review to a Conceptual Framework for Sustainable Supply Chain Management”, *Journal of Cleaner Production*, 16/15, 1699-1710.
- Shahri H. H. (2008). *A Machine Learning Approach to Data Cleaning in Databases and Data Warehouses*, Handbook of Research on Fuzzy Information Processing in Databases / Jose Galindo, editör, Information Science Reference.
- Sharma, R. K., Kumar, D., and Kumar, P. (2005), “Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling”, *International Journal of Quality and Reliability Management*, 22/9,986-1004.
- Shrivastava (1995a), “The Role of Corporations in Achieving Ecological Sustainability”, *Academy of Management Review*, 20/4,936-60.
- Sönmez, M., (2006). “A review and Critique of Supplier Selection Process and Practices”, Occasional Papers Series Paper 2006:1 ISBN 1 85901 1977.
- Starzewski J. T. (2012). *Advanced Concepts in Fuzzy Logics and Systems with Membership Uncertainty*, Springer, Heidelberg.
- Starik M., Rands G.P. (1995). “Weaving an Integrated Web: Multilevel and Multisystem Perspectives of Ecologically Sustainable Organizations”, *Academy of Management Review*,20/4, 908-35.
- Stergiou C., Siganos D., *Neural Networks*, (Erişim Adresi: <https://srii.sou.edu.ge/neural-networks.pdf>.)
- Stock J. R., Boyer S.L., (2009). “Developing a Consensus Definition of Supply Chain Management: A Qualitative Study”, *International Journal Of Physical Distribution&Logistics Management*, 39/8, 690-711.

- Sulzberger S., Tschichold N., Vestli S. (1993). "FUN: Optimization of Fuzzy Rule Based Systems Using Neural Networks", *Proceedings of IEEE Conference on Neural Networks*, San Francisco, 312-316.
- Suparta W., Alhasa K.M., (2016). *Modeling of Tropospheric Delays Using ANFIS*, Springer Briefs in Meterology, Springer International Publishing AG Switzerland.
- Şen S. (2007). "*Tedarik Zinciri Yönetiminde Tedarikçi Seçimi Sistemine Ait Bir Karar Destek Modeli Geliştirilmesi ve Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi*", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şen, Z. (2004). *Mühendislikte Bulanık Mantık ile Modelleme Prensipleri*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Tano S., Oyama T., Arnould T. (1996). "Deep Combination of Fuzzy Inference and Neural Network in Fuzzy Inference", *Fuzzy Sets and Systems*, 82/2, 151-160.
- Tavana M., Fallahpour A., Di Caprio D., Santos- Artega F.J. (2016). "A Hybrit Intelligent Fuzzy Predictive Model with Simulation for Supplier Evaluation and Section", *Expert System with Applications*,61,129-144.
- Tay M, K., Lim P., (2006). "Fuzzy FMEA with a Guided Rules Reduction System for Prioritization of Failures", *International Journal of Quality and Reliability Management*, 23-8/1047:1066.
- Teece, D.J., Pisano, G., Shuen, A. (1997). "Dynamic Capabilities and Strategic Management", *Strategic Management Journal*, 18/7, 509-533.
- Toraman, C. (2008). Demir-Çelik Sektöründe Yapay Sinir Ağları ile Hisse Senedi Fiyat Tahmini: Erdemir A.Ş. ve Kardemir A.Ş. Üzerine Bir Tahmin Uygulaması. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 39,44-57.
- Tortum A., Yayla N., Gökdağ M (2009). "The Modeling of Mode Choices of Intercity Freight Transportation with The Artificial Neural Networks and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System", *Expert System with Applications*, 36,6199-6217.
- Tosun S. (2014). "*Tedarikçi Seçiminde Kullanılan Modeller*", (Erişim Adresi: <http://www.suleymantosun.com/tedarikci-seciminde-kullanilan-modeller/>)
- Tu J.V. (1996). "Advantages and Disadvantages of Using Artificial Neural Networks versus Logistic Regression for Predicting Medical Outcomes", *Journal of Clinical Epidemiology*. 49/11,1225-1231.
- TUSIAD (2020). "7 Adımda Sürdürülebilir Tedarik Zinciri", (Erişim Adresi: <https://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/7254-7-adimda-surdurulebilir-tedarik-zinciri>)
- Türer S., Bayraktar D., Bolat B. (2009). "Tedarikçi Değerlendirme Süreci İçin Bir Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı: Gıda Sektöründe Bir Uygulama", *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 20/2,31-40.

- Türkoğlu M. (2016). “*Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Tedaikçi Seçimi ve Bir Uygulama*”, Bartın Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Türkoğlu M. (2016). “*Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Tedaikçi Seçimi ve Bir Uygulama*”, Bartın Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Ünver Ö. (1996). *Uygulamalı İstatistik Yöntemler*, İkinci Baskı, Siyasal Kitabevi, Ankara.
- Ünver, Ö. (1996), *Uygulamalı İstatistik Yöntemler*, İkinci Baskı, Siyasal Kitabevi, Ankara.
- Veerabathiran R., Srinath K.A, (2012). “Application of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP”, *IJEST*, 4/7, 3472-3480.
- Vieira J., Mota A., Morgado-Dias F. (2004). “Neuro- Fuzzy Systems: A Survey”, *WSEAS Transactions on Systems*, 3/2,414-419.
- Vupa Ö., Gürünlü Alma Ö. (2008). “Doğrusal Regresyon Çözümlemesinde Çoklu Bağlantı Probleminin Sapan Değer İçeren Küçük Örneklerde Bir Simülasyon Çalışması ile Saptanması ve Sonuçları”, *Sabancı Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Dergisi*, 32,41-51.
- Wang J. (2020). “Supplier Evaluation and Selection Based on BP Neural Network”, *Advantages in Intelligent Systems and Computing*, 627-634.
- Wang Li-Xin (1997). *A Course In Fuzzy Systems And Control*, Prentice-Hall International, Inc.
- Wayan S., Alhasa K.M (2016). *Modeling of Tropospheric Delays Using*, Springer.
- Wei, S., Zhang, J., Li, Z. 1997. “A Supplier–Selecting System Using a Neural Network”, *IEEE International Conference on Intelligent Processing Systems*, 468- 471.
- Werbos P. (2016). *Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in Behavioral Sciences*, Harvard University Cambridge, Massachusetts.
- Widrow B., Lehr M. A. 1990. “30 Years of Adaptive Neural Networks: Perceptron, Madaline, and Backpropagation”, *Proceedings of The IEEE*, 78/9,1415- 1442.
- Willmott C.J., Robeson S.M., Matsuura K. (2011). “A Refined Index of Model Performance”, *International Journal of Climatology*, 32/3,2088-2094.
- Winkler M., Deller S., Marcouiller D. (2015). “Recreational Housing and Community Development: A Triple Bottom Line Approach”, *Growth and Change*, 46/3,481-500.
- Wu, D. (2009). “Supplier selection: A hybrid Model Using DEA, Decision Tree and Neural Network”, *Expert Systems with Applications*, 36, 9105–9112.

- Yakut, E., Elmas, B., Yavuz (2014). “Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Makineleri Yöntemleriyle Borsa Endeksi Tahmini”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19/1, 139-157.
- Yen J., Langari R. (1998). *Fuzzy Logic Intelligence, Control, and Information*, Prentice Hall, USA.
- Yıldız B. (2001). “Finansal Başarısızlığın Öngörülmesinde Yapay Sinir Ağı Kullanımı ve Halka Açık Şirketlerde Ampirik Bir Uygulama”, *İstanbul Menkul Kıymetler Borsası Dergisi*, V/17: 51-67.
- Yılmaz M., Arslan E. (2005). “Bulanık Mantığın Jeolojik Problemlerin Çözümünde Kullanılması”, *2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 512-522.
- Yüzer Ali F. (2004). *İstatistik*, Anadolu Üniversitesi Yayını, Yayın No:1448, Eskişehir.
- Zadeh L.A (1965). “Fuzzy Sets”, *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zadeh L.A (2008). “Is There a Need for Fuzzy Logic”, *Information Sciences*,178/13, 2751-2779.
- Zhang G., Zhao Z. (2012). “Green Packaging Management of Logistics Enterprises”, *Physics Procedia*, 24, 900-905.
- Zhao, J., Bose, B. K. (2002). “Evaluation of Membership Functions for Fuzzy Logic Controlled Induction Motor Drive”, *Proceedings of the 2002 28th Annual Conference of the IEEE*.