

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

**TOZALTI KÖŞE KAYNAĞINDA YAPAY ZEKÂ  
TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK DİKİŞ  
GEOMETRİSİNİN MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Gemi İnşaatı ve Mak. Müh. Nuri AKKAŞ**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜH.  
Enstitü Bilim Dalı : KAYNAK  
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet OĞUR**

**Ağustos 2006**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOZALTI KÖŞE KAYNAĞINDA YAPAY ZEKÂ  
TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK DİKİŞ  
GEOMETRİSİNİN MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnşaatı ve Mak. Müh. Nuri AKKAŞ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : KAYNAK

Bu tez 25/08/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Ahmet OĞUR  
Jüri Başkanı

Doç.Dr. Kenan GENEL  
Üye

Yrd.Doç.Dr. Ramazan YILMAZ  
Üye

## TEŞEKKÜR

Bütün yoğunluğuna rağmen çalışmanın başından sonuna kadar tüm aşamalarında, hiçbir fedakrlıktan kaçınmayarak desteğini esirgemeyen ve daha da önemlisi akademik çalışma konusunda beni teşvik eden ve yreklendiren değerli hocam Sayın Prof.Dr. Ahmet OğUR'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Yrd.Doç.Dr. Durmuş KARAYEL, Yrd.Doç.Dr. Sinan Serdar ÖZKAN, Yrd.Doç.Dr. Naci AğLAR ve Doç.Dr. Kenan GENEL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak bu çalışmanın deney aşamalarının gerçekleştirilmesini sağlayan TIRSAN, BAŞAK TRAKTÖR ve NOKSEL firmalarının değerli yönetici ve çalışanlarına şükranlarımı sunarım.

Nuri AKKAŞ

## İÇİNDEKİLER

|   |     |
|---|-----|
| TEŞEKKÜR .....  | ii  |
| İÇİNDEKİLER.....  | iii |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....  | vii |
| TABLolar LİSTESİ.....   | x   |
| ÖZET.....   | xi  |
| SUMMARY.....  | xii |
| BÖLÜM 1   |     |
| GİRİŞ .....   | 1   |
| BÖLÜM 2   |     |
| TOZALTI KAYNAK YÖNTEMİ.....   | 5   |
| 2.1. Giriş.....   | 5   |
| 2.2. Tozaltı Kaynağının Çalışma Prensibi.....                                   | 6   |
| 2.3. Tozaltı Kaynağının Kullanım Alanları.....                                  | 7   |
| 2.4. Tozaltı Kaynağı ile Kaynak Edilebilen Metal ve Alaşımları.....             | 7   |
| 2.5. Tozaltı Kaynağı ile Kaynak Edilebilen Metallerin Kalınlıkları.....         | 8   |
| 2.6. Tozaltı Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları.....                          | 8   |
| 2.6.1. Tozaltı kaynağının avantajları.....                                      | 8   |
| 2.6.1.1. Yüksek kaynak gücü ve kaynak hızı.....                                 | 9   |
| 2.6.1.2. Derin nüfuziyet.....   | 9   |
| 2.6.1.3. Enerji ekonomisi.....  | 9   |
| 2.6.1.4. Elektrot ekonomisi.....  | 10  |
| 2.6.1.5. Yüksek kaliteli kaynak dikişi.....                                     | 10  |
| 2.6.1.6. Kaynak dikişi kalitesine kaynakçının bir faktör olarak etkimemesi..... | 11  |

|  |    |
|--|----|
| 2.6.1.7.Yüksek ark kararlılığı.....                                | 11 |
| 2.6.1.8 Özel koruyucu donanımlara gerek duyulmaması...             | 11 |
| 2.6.1.9.Sürekli kaynak yapılabilmesi.....                          | 11 |
| 2.6.1.10.Birden çok tel ile kaynak yapılabilmesi.....              | 11 |
| 2.6.2. Tozaltı kaynağının dezavantajları.....                      | 12 |
| 2.7. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Yöntemler.....                  | 12 |
| 2.8. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri ve Tozları.....  | 12 |
| 2.8.1. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak telleri.....           | 12 |
| 2.8.2. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak tozları.....           | 13 |
| 2.9. Tozaltı Kaynağında Dikiş Geometrisi.....                      | 14 |
| 2.9.1. Tozaltı kaynağında dikiş geometrisine etki eden faktörler.. | 15 |
| 2.9.1.1. Akım şiddetinin etkisi.....                               | 15 |
| 2.9.1.2. Kaynak geriliminin etkisi.....                            | 15 |
| 2.9.1.3. Kaynak hızının etkisi.....                                | 17 |
| 2.9.1.4. Kaynak ağız açısının etkisi.....                          | 18 |
| 2.9.1.5. Parçanın bulunduğu düzlemin etkisi.....                   | 18 |
| 2.9.1.6. Akım yoğunluğunun etkisi.....                             | 18 |
| 2.9.1.7. Serbest tel boyunun etkisi.....                           | 18 |
| 2.9.1.8. Kaynak tozunun tane büyüklüğünün etkisi.....              | 18 |

### BÖLÜM 3

|   |    |
|---|----|
| YAPAY ZEKA TEKNOLOJİLERİ.....   | 19 |
| 3.1. Giriş.....   | 19 |
| 3.2. Yapay Sinir Ağları.....  | 20 |
| 3.2.1. Yapay sinir ağı hücresi.....   | 21 |
| 3.2.2. Tek katmanlı ve çok katmanlı YSA'ların yapısı.....                       | 23 |
| 3.2.3. Yapay sinir ağlarının üstünlükleri.....                                  | 24 |
| 3.2.3.1. Sistemin paralelliği ve toplamsal işlevin yapısal olarak dağılımı..... | 24 |
| 3.2.3.2. Genelleme yeteneği.....  | 24 |
| 3.2.3.3. Ağ fonksiyonunun nonlineer oluşu.....                                  | 24 |
| 3.2.4. Bir problemin çözümünde YSA yaklaşımı.....                               | 24 |
| 3.2.5. Yapay sinir ağlarının eğitilmesi.....                                    | 26 |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.2.5.1. Öğretmenli öğrenme.....                                | 26        |
| 3.2.5.2. Öğretmensiz öğrenme.....                               | 27        |
| 3.2.5.3. Takviyeli öğrenme.....                                 | 27        |
| 3.2.6. İleri ve geri beslemeli ağlar.....                       | 28        |
| 3.3. Bulanık Mantık.....  | 28        |
| 3.3.1. Bulanık kümeler.....                                     | 29        |
| 3.3.2. Bulanık çıkarım.....                                     | 30        |
| 3.4. Sinirsel Bulanık Mantık.....                               | 31        |
| 3.4.1. Sinirsel bulanık mantık ağ yapıları.....                 | 32        |
| 3.4.2. Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)..... | 33        |
| <b>BÖLÜM 4</b>  |           |
| <b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>                                 | <b>35</b> |
| 4.1. Giriş.....   | 35        |
| 4.2. Deneysel Çalışmanın Amacı.....                             | 35        |
| 4.3. Deney Şartları.....  | 35        |
| 4.3.1. Bağlantı formu.....                                      | 35        |
| 4.3.2. Esas metal.....  | 35        |
| 4.3.3. Kaynak teli.....   | 36        |
| 4.3.4. Kaynak tozu.....   | 36        |
| 4.3.5. Kaynak makinesi.....                                     | 36        |
| 4.3.6. Karbon eşdeğerinin hesaplanması.....                     | 38        |
| 4.4. Deney Seti.....  | 39        |
| 4.4.1. Parametre seviyeleri.....                                | 39        |
| 4.4.2. Deney setinin hazırlanması.....                          | 39        |
| 4.5. Kaynak Dikişlerinin Makro Fotoğrafları.....                | 41        |
| 4.6. Dikiş Geometrisinin Ölçülmesi.....                         | 41        |
| 4.6.1. Alanların ölçülmesi.....                                 | 42        |
| 4.6.2. Geometri ölçümlerinden elde edilen sonuçlar.....         | 44        |
| <b>BÖLÜM 5</b>  |           |
| <b>DIKİŞ GEOMETRİSİNİN MODELLENMESİ VE SAYISAL ANALİZİ.....</b> | <b>46</b> |
| 5.1. Giriş.....   | 46        |
| 5.2. YSA ile Dikiş Geometrisinin Modellenmesi.....              | 46        |

|   |    |
|---|----|
| 5.3. ANFIS ile Dikiş Geometrisinin Modellenmesi.....                    | 54 |
| 5.4. Modellemeden Elde Edilen Sonuçlar.....                             | 60 |
| 5.4.1. Dikiş kalınlığının modellenmesinden elde edilen<br>sonuçlar..... | 60 |
| 5.4.2. Nüfuziyet alanının modellenmesinden elde edilen<br>sonuçlar..... | 62 |
| <br>  |    |
| BÖLÜM 6.  |    |
| SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....   | 65 |
| <br>  |    |
| KAYNAKLAR.....  | 67 |
| ÖZGEÇMİŞ.....   | 69 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2.1. Tozaltı Kaynak Yönteminin Prensiş Şeması.....  | 6  |
| Şekil 2.2. Tozaltı Kaynak Yönteminde Telin Yanma Miktarı.....   | 9  |
| Şekil 2.3. Tozaltı Kaynak Yönteminde Dolgu Miktarı.....   | 10 |
| Şekil 2.4. Bir Alın Kaynağı Dikiş.....  | 14 |
| Şekil 2.5. Bir Köşe Kaynağı Dikiş.....  | 14 |
| Şekil 2.6. Tozaltı Kaynak Yönteminde Akımın Dikiş Geometrisi Üzerindeki Etkisi.....                       | 16 |
| Şekil 2.7. Tozaltı Kaynak Yönteminde Gerilimin Dikiş Geometrisi Üzerindeki Etkisi.....                    | 16 |
| Şekil 2.8. Tozaltı Kaynak Yönteminde Hızın Dikiş Geometrisi Üzerindeki Etkisi.....                        | 17 |
| Şekil 3.1. Yapay Sinir Ağı Hücresi.....   | 22 |
| Şekil 3.2. Tek Katmanlı Sinir Ağı.....  | 23 |
| Şekil 3.3. Çok Katmanlı Sinir Ağı.....  | 23 |
| Şekil 3.4. Öğretmenli Öğrenme.....  | 27 |
| Şekil 3.5. Öğretmensiz Öğrenme.....   | 27 |
| Şekil 3.6. Bir ve İki Katmanlı İleri Beslemeli Ağlar.....   | 28 |
| Şekil 3.7. Bulanık küme örneği.....   | 30 |
| Şekil 3.8. “3’e Yakın Reel Sayılar” Kümesinin Değişik Üyelik Fonksiyonlarıyla Gösterimi.....              | 31 |
| Şekil 3.9. Sinirsel Bulanık Mantık Sisteminin Birinci Yapısı.....   | 32 |
| Şekil 3.10. Sinirsel Bulanık Mantık Sisteminin İkinci Yapısı.....   | 33 |
| Şekil 3.11. İki Girişli Birinci Dereceden Sugeno Bulanık Sistem Modeli.....                               | 34 |
| Şekil 3.12. İki Girişli Birinci Dereceden Sugeno Bulanık Sistem Modeline Eşdeğer ANFIS Mimari Yapısı..... | 34 |
| Şekil 4.1. Bağlantı Formu.....  | 36 |



|   |    |
|---|----|
| Şekil 4.2. Deneğin Yapıldığı Tozaltı Kaynak Makinesi.....   | 37 |
| Şekil 4.3. Kaynağı Yapılan 16 Nolu Parça.....   | 37 |
| Şekil 4.4. Deneğin Yapıldığı Tozaltı Kaynak Makinesi<br>(Kaynak Esnasında).....                         | 38 |
| Şekil 4.5. Bazı Deneğlere Ait Makro Fotoğraflar.....  | 41 |
| Şekil 4.6. Örnek Makro Fotoğraflar.....   | 41 |
| Şekil 4.7. Dikiş Geometrisi ve Nüfuziyet Alanları.....  | 42 |
| Şekil 4.8. Makro 1: Alan 1 (A1).....  | 43 |
| Şekil 4.9. Makro 1: Alan 2 (A2).....  | 43 |
| Şekil 4.10. Makro 1: (A1) ve (A2) İntegral Çözümü.....  | 43 |
| Şekil 4.11. Yatay Pozisyonda İç Köşe Kaynağında Simetrik Dikiş İçin Telin<br>Parçalara Göre Durumu..... | 44 |
| Şekil 5.1. Program Arayüzü.....   | 47 |
| Şekil 5.2. Dikiş Kalınlığı için Kullanılan YSA Mimarisi.....  | 49 |
| Şekil 5.3. Nüfuziyet Alanı için Kullanılan YSA Mimarisi.....  | 49 |
| Şekil 5.4. Dikiş Kalınlığı için Modelin Sistemi Öğrenmesi.....  | 50 |
| Şekil 5.5. Nüfuziyet Alanı için Modelin Sistemi Öğrenmesi.....  | 50 |
| Şekil 5.6. Dikiş Kalınlığı için Eğitim Setinin Performansı.....   | 51 |
| Şekil 5.7. Dikiş Kalınlığı için Test Setinin Performansı.....   | 51 |
| Şekil 5.8. Nüfuziyet Alanı için Eğitim Setinin Performansı.....   | 52 |
| Şekil 5.9. Nüfuziyet Alanı için Test Setinin Performansı.....   | 52 |
| Şekil 5.10. Dikiş Kalınlığı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk<br>Oranı .....                    | 53 |
| Şekil 5.11. Nüfuziyet Alanı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk<br>Oranı .....                    | 53 |
| Şekil 5.12. Dikiş Kalınlığı için ANFIS Editörü.....   | 54 |
| Şekil 5.13. Nüfuziyet Alanı için ANFIS Editörü.....   | 54 |
| Şekil 5.14. Dikiş Kalınlığı için ANFIS Mimarisi .....   | 55 |
| Şekil 5.15. Nüfuziyet Alanı için ANFIS Mimarisi.....  | 55 |
| Şekil 5.16. Üyelik Fonksiyonu Tipleri.....  | 56 |
| Şekil 5.17. Akım Şiddetinin Üyelik Fonksiyonu.....  | 56 |
| Şekil 5.18. Ark Geriliminin Üyelik Fonksiyonu.....  | 56 |
| Şekil 5.19. Kaynak Hızının Üyelik Fonksiyonu.....   | 56 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 5.20. Dikiş Kalınlığı için Eğitim Setinin Performansı.....                 | 56 |
| Şekil 5.21. Dikiş Kalınlığı için Test Setinin Performansı.....                   | 57 |
| Şekil 5.22. Nüfuziyet Alanı için Eğitim Setinin Performansı.....                 | 57 |
| Şekil 5.23. Nüfuziyet Alanı için Test Setinin Performansı.....                   | 58 |
| Şekil 5.24. Dikiş Kalınlığı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk Oranı....  | 58 |
| Şekil 5.25. Nüfuziyet Alanı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk Oranı..... | 59 |
| Şekil 5.26. Akım ve gerilimin dikiş kalınlığı üzerindeki etkisi.....             | 61 |
| Şekil 5.27. Hız ve gerilimin dikiş kalınlığı üzerindeki etkisi.....              | 61 |
| Şekil 5.28. Hız ve akımın dikiş kalınlığı üzerindeki etkisi.....                 | 62 |
| Şekil 5.29. Gerilim ve akımın dikiş kalınlığı üzerindeki etkisi.....             | 63 |
| Şekil 5.30. Gerilim ve hızın dikiş kalınlığı üzerindeki etkisi.....              | 63 |
| Şekil 5.31. Akım ve hızın dikiş kalınlığı üzerindeki etkisi.....                 | 64 |

## TABLULAR LİSTESİ

|   |    |
|---|----|
| Tablo 2.1. Tozaltı Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilen Parça Kalınlıkları...   | 8  |
| Tablo 4.1. Kaynak İşlemi İçin Kullanılan Esas Metalin Kimyasal Bileşimi.....    | 36 |
| Tablo 4.2. Kaynak İşlemi İçin Kullanılan Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi...    | 36 |
| Tablo 4.3. Kaynak İşlemi İçin Kullanılan Kaynak Tozunun Karakteristikleri..     | 36 |
| Tablo 4.4. Karbon Eşdeğeri ve Ön Tavlama Sıcaklıkları.....                      | 38 |
| Tablo 4.5. Parametre Seviyeleri.....  | 39 |
| Tablo 4.6. Deney Seti.....  | 40 |
| Tablo 4.7. Deney setinden elde edilen veriler.....                              | 45 |
| Tablo 5.1. Dikiş Kalınlığı için Kullanılan Eğitim Seti.....                     | 47 |
| Tablo 5.2. Dikiş Kalınlığı için Kullanılan Test Seti.....                       | 48 |
| Tablo 5.3. Nüfuziyet Alanı için Kullanılan Eğitim Seti.....                     | 48 |
| Tablo 5.4. Nüfuziyet Alanı için Kullanılan Test Seti.....                       | 49 |
| Tablo 5.5. Dikiş Kalınlığı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk Oranı..... | 53 |
| Tablo 5.6. Nüfuziyet Alanı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk Oranı....  | 53 |
| Tablo 5.7. Dikiş Kalınlığı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk Oranı..... | 59 |
| Tablo 5.8. Nüfuziyet Alanı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk Oranı..... | 60 |

## ÖZET

Anahtar Kelimeler : Tozaltı kaynağı, kaynak parametreleri, dikiş geometrisi

Bu çalışmada, dikiş geometrisi ile kaynak parametreleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve dolayısıyla optimum kaynak parametrelerinin seçimi amaçlanmaktadır. Bu maksatla deneysel bir çalışma yapıldı. Deneyde kaynak parametreleri olarak dikiş formu üzerinde en fazla etkiye sahip olan akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızı esas alındı. Diğer parametreler ise sabit tutuldu. Bu üç parametre için hazırlanan deney setinde akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızı sırasıyla dört, üç ve beş seviyeye sahiptir. Böylece St 52-3 malzemedeki yapılmış parçalar kaynatılarak altmış adet numune hazırlandı. Her bir numunenin dikiş geometrisi ayrı ayrı incelenerek kalınlık ve nüfuziyet ölçümleri yapıldı. Elde edilen veriler kullanılarak dikiş geometrisi ile kaynak parametreleri arasındaki ilişki yapay sinir ağları ve sinirsel bulanık mantık metotları ile modellendi. Daha sonra bu modeller kullanılarak dikiş geometrisini oluşturan parametreleri bulabilecek bir algoritma geliştirildi. Her bir modelden elde edilen sonuçların doğruluğu test verileriyle karşılaştırıldı. Böylece geliştirilen model kullanılarak arzu edilen dikiş geometrisi için en uygun kaynak parametreleri kolaylıkla elde edilebilmektedir.

# **MODELING OF THE WELD BEAD GEOMETRY FOR T JOINT IN SUBMERGED ARC WELDING BY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES**

## **SUMMARY**

Keywords: Submerged arc welding, the parameters of welding, bead geometry

In this study, it is aimed to obtain a relationship between the values defining bead geometry and the welding parameters and also to select optimum welding parameters. For this reason, an experimental study has been realized. The welding parameters such as the arc current, arc voltage and welding speed which have the most effect on bead geometry are considered and the other parameters are held as constant. Four, three and five different values for the arc current, the arc voltage and welding speed are used respectively. So, sixty samples made of St 52-3 material prepared. The bead geometry of the samples are analyzed and the thickness and penetration values of the weld bead are measured. Then, the relationship between the welding parameters is modeled by using Artificial Neural Network (ANN) and Neuro-Fuzzy System Approach (ANFIS). Each model is checked for their adequacy by using test data which are selected from experimental results. Then, the models developed are compared with regard to accuracy. Also, the appropriate welding parameters values can be easily selected when the models improve.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Tozaltı kaynağı günümüzde yaygın olarak kullanılan imalat yöntemlerinden biridir. Kaynak bağlantılarından beklenen özellikler kaynak dikiş geometrisine ve özelliklerine doğrudan bağlıdır. Dikiş geometrisi ve özellikleri ise kaynak parametrelerine göre değişmektedir. Kaynak akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızı temel kaynak parametreleri olup, bunun yanı sıra kullanılan akım türü ve kutuplama, tel çapı, toz yığılma yüksekliği, serbest tel uzunluğu, kaynak yapılan düzlemin eğimi ve elektrot açısı gibi parametreler ikincil kaynak parametreleridir. Dolayısıyla iyi bir kaynak dikişi için parametrelerin uygun seçilmesi gerekir. Ayrıca dikiş kalitesiyle beraber maliyetlerde göz önüne alındığında bir optimizasyon problemi ortaya çıkmaktadır. Dikiş geometrisini tanımlayan dikiş kalınlığı, dikiş yüksekliği, nüfuziyet, kep alanı gibi değerlerle akım, voltaj ve hız gibi kaynak parametreleri arasında lineer bir ilişki yoktur. Dolayısıyla çoğu zaman ampirik ifadelerden yararlanılmaktadır. Bu durum parametre değerlerinin optimum seçimi için çoğunlukla yeterli olmamaktadır. Bu yüzden araştırmacılar aradaki ilişkinin belirlenmesi ve parametre değerlerinin optimum seçilebilmesi için yapay zeka teknolojilerine yönelmişlerdir.

Chandel ve arkadaşları tozaltı kaynağında akım şiddeti, elektrot polarizasyonu, elektrot çapı ve elektrot uzantısının; dikiş yüksekliği, dikiş genişliği ve nüfuziyet üzerindeki etkisini teorik olarak tahmin eden bir yazılım geliştirdiler. Hem tozaltı kaynağında hem de metal ark kaynağında kaynak dikiş geometrisini tahmin ettikleri bu yazılım, Yang ve arkadaşlarının kaynak dikiş geometrisini tahmin etmek için geliştirdikleri algoritmaya dayanır. Ancak bu model bead-on-plate için dikiş geometrisini tahmin etmede kullanılır. Giriş değişkenleri akım şiddeti, ark gerilimi, kaynak hızı, elektrot çapı, elektrot uzantısı ve elektrot polarizasyonudur. Chandel (1997)

Ping Li ve arkadaşları yapay sinir ağlarını kullanarak, tozaltı kaynak yöntemiyle yapılan bir alın kaynağında dikiş yüksekliği, dikiş genişliği, nüfuziyet, erime ve kep alanları ile akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızı arasındaki non-lineer ilişkiyi modellediler. Ping Li (1997)

Gunaraj ve Murugan boruların tozaltı ark kaynağında dikiş geometrisini tahmin etmek için “*Responce Surface*” methodunun bir uygulamasını geliştirdiler. Çalışmalarında gerilim, tel besleme hızı, kaynak hızı ve torcun iş parçasına uzaklığı giriş değişkeni olarak; nüfuziyet, kep alanı ve dikiş genişliğini ise çıkış değişkenleri olarak göz önüne aldılar. Gunaraj, Murugan (1999)

Yine Gunaraj ve Murugan “*Responce Surface*” methodunu kullanarak boruların tozaltı kaynağında, proses değişkenlerinin ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB) üzerindeki etkisini incelediler. Çalışmalarında kontrol edilebilir proses değişkenlerinin ısı girişi ve ITAB üzerindeki etkisini, boruların tozaltı kaynağı için geliştirdikleri matematiksel modeli kullanarak hesapladılar ve analiz ettiler. Gunaraj, Murugan (1999)

Tusek iki telle yapılan tozaltı kaynağında erime miktarını hesaplamak için birbirinden farklı dört matematiksel model geliştirdi. Tusek çalışmasında, geliştirdiği matematiksel modellerin, basit, kolay, uygulanabilir ve son derece doğru sonuçlar verdiğini pratikte de test ederek göstermiştir. Tusek (2000)

Wikle III ve arkadaşları tozaltı kaynağında nüfuziyet derinliğinin kontrolü için kızılötesi sensör tekniği kullandı. Çalışmanın sonunda, kaynak proses parametrelerine ait geri beslemeli bir kontrol sistemi kullanarak, bu parametrelerin değişmesi durumunda kızılötesi sensör tekniği sayesinde nüfuziyet derinliğini sabit tutmayı amaçladılar. Wikle (2001)

Tarnng ve arkadaşları tozaltı ark kaynağında proses parametrelerini belirlemek için Taguchi yöntemini kullandı. Onların çalışması yeni bir yaklaşımı içeriyordu. Bu yeni yaklaşımın amacı, çok çeşitli kaynak kalitelerini de içerecek şekilde bir çözüme ulaşmaktı. Tarnng (2002)

Murugan ve Gunaraj boruların tozaltı kaynağında kaynak dikiş geometrisini tahmin ve kontrol etmeye çalıştı. Onlar kaynak dikiş geometrisinin üç kritik ölçüsünü tahmin etmek için beş seviyeli faktöriyel teknikler kullanarak, boruların tozaltı kaynağında matematiksel modeller geliştirdi. Murugan, Gunaraj (2005)

Kanjilal ve arkadaşları regresyon modelini kullanarak, kaynak parametrelerinin ve tozun, esas metalin mekanik özelliklerine ve kimyasal bileşimine birleşik etkisini inceledi. Giriş değişkenleri olarak akım şiddeti, ark gerilimi, kaynak hızı, elektrot uzantısı ve polarizasyonu; çıkış değişkenleri olarak da kimyasal bileşim, eğilme dayanımı, uzama, çentik darbe dayanımı ve sertliği kullandılar. Kanjilal (2005)

Literatürde yer alan çalışmalarda da görüldüğü gibi araştırmacılar bead-on-plate ve alın birleştirmeler üzerinde inceleme yapmışlardır. Her ne kadar her iki yöntemde kaynak parametrelerinin kaynak dikiş geometrisi üzerindeki etkisi hakkında genel bir hüküm verse de bağlantı tipinin değişmesiyle birlikte bu etkide de değişim olacağı açıktır. Bu bakımdan bu çalışmada farklı kalınlıktaki parçaların köşe kaynağı esas alınmıştır.

Bu çalışmada öncelikle kaynak dikişi üzerinde en fazla etkiye sahip olan kaynak parametreleri ve bunlara ait alt ve üst limitler belirlendi. Sonra bu parametreler arasındaki tüm kombinasyonları içeren bir deney seti hazırlandı. Hazırlanan deney seti doğrultusunda 300x120x14 ve 300x125x5 boyutlarında farklı kalınlıktaki St 52-3 malzemeler 'T' formunda kaynatıldı. Kaynak işlemlerinde Geka S2 3,2 mm çapında kaynak teli ve Lincoln 761 kaynak tozu kullanılmıştır. Kaynak işlemleri yapıldıktan sonra parçalar testereyle kesilerek dağlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Dağlanan parçaların stereo mikroskopla makro fotoğrafları çekilmiş ve bu fotoğraflardan dikiş geometrisi ölçülmüştür. Dikiş geometrisini tanımlayan dikiş kalınlıkları ve nüfuziyet alanları ile kullanılan kaynak parametreleri arasındaki ilişki yapay sinir ağları ve bulanık mantık ile modellenmiştir. Daha sonra bu modeller kullanılarak dikiş geometrisini oluşturan parametreleri bulabilecek bir algoritma geliştirilmiş ve böylece arzu edilen dikiş geometrisi için en uygun kaynak parametreleri elde edilmiştir. Ekonomiklik de dikkate alınarak parametreler araştırılırken algoritma



iterasyonlara kaynak hızının maksimum değerini, akım ve gerilimin ise minimum değerlerini esas alarak başlamaktadır.

Bu çalışma; altı bölümden oluşmakta olup, giriş bölümünde ark kaynağında dikiş geometrisi ile bunu etkileyen parametreler arasındaki ilişkiden ve buna bağlı olarak bu parametrelerin seçiminin öneminden bahsedildi. Bununla birlikte literatürdeki çalışmalara kısaca değinilerek bu çalışmanın farkı ortaya konmaya çalışıldı. İkinci bölümde tozaltı kaynağının esasları, çeşitleri, kullanım alanları, avantajları ve dezavantajlarından bahsedildi. Dikiş geometrisi ve buna etkileyen parametreler açıklandı. Üçüncü bölümde yapay sinir ağlarının yapısı, çeşitleri, eğitilmesi ve üstünlüklerinden bahsedilerek yapay sinir ağları ile bir problemi çözerken göz önüne alınması gereken bazı temel noktalar açıklandı. Bununla birlikte bulanık kümeler ve bulanık çıkarım kısaca anlatılarak sinirsel bulanık mantık ağ yapıları ve uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarımdan bahsedildi. Deneysel çalışmanın yer aldığı dördüncü bölümde deneyin amacı, deney şartları, parametre seviyelerinin belirlenmesi ve buna bağlı olarak deney setinin hazırlanması açıklandı. Deneysel çalışmanın sonucu, kaynak dikişinin makro fotoğraflarını ve bunların ölçülmesi ile elde edilen verileri içeren tabloları sunmak suretiyle verildi. Beşinci bölümde dikiş geometrisinin yapay sinir ağları ve uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi ile modellenmesi ve modelleme neticesinde elde edilen sonuçların yorumu sunuldu. Sonuç bölümünde ise dikiş geometrisi ile kaynak parametreleri arasındaki etkileşimin tahmin edilmesi suretiyle istenen kaynak dikişini elde etmek için bu parametrelerin nasıl değişmesi gerektiği açıklanmakta ve ileride bu konuyla ilgili yapılabilecek çalışmalara dikkat çekilmektedir.

## **BÖLÜM 2. TOZALTI KAYNAK YÖNTEMİ**

### **2.1. Giriş**

American Welding Society (AWS) tozaltı ark kaynağını şöyle tanımlar. “Tozaltı kaynak yöntemi, iş parçası ile metal tel elektrot / elektrotlar arasında, bir ark / arklar oluşturarak bunların ısıtılmasını sağlayan ve bu suretle birleşmelerini temin eden bir ark kaynağı prosesidir. Ark ve erimiş metal tanecikli yapıya sahip bir toz örtüsü ile korunur. Basınç kullanılmaz. Dolgu metali, elektrot / elektrotlar ile toz ve metal taneciklerinden elde edilir.” Miller Electric (1982)

Kaynak maliyetini düşürmek, işin yapım süresini kısaltmak ve kaynakçı faktörünün dikişin kalitesine olan etkisini azaltmak için, kaynak prosesinde otomasyona gidilmiştir. Buradaki amaç, elektrot telini mekanik bir tertibat yardımı ile otomatik olarak sürekli ilerletip, ark bölgesine çok yakın bir yerden de akım vererek telin yüklenebileceği akım şiddetini artırmak ve böylece erime gücünü yükseltmektir.

Bu amaçla tozaltı kaynak yöntemi, 1933 yılında ABD'de geliştirilmiş ve 1937 yılından sonra da Avrupa'da uygulama alanına girmiştir. 2. Dünya Savaşı sırasında özellikle Almanya'da geniş çapta uygulanmıştır. Almanya'da LINDE tarafından Gektro-Linde-Rapid-Verfahren diye geliştirilen kaynak yöntemine kısaca Ellira-Verfahren adı verilmiştir.

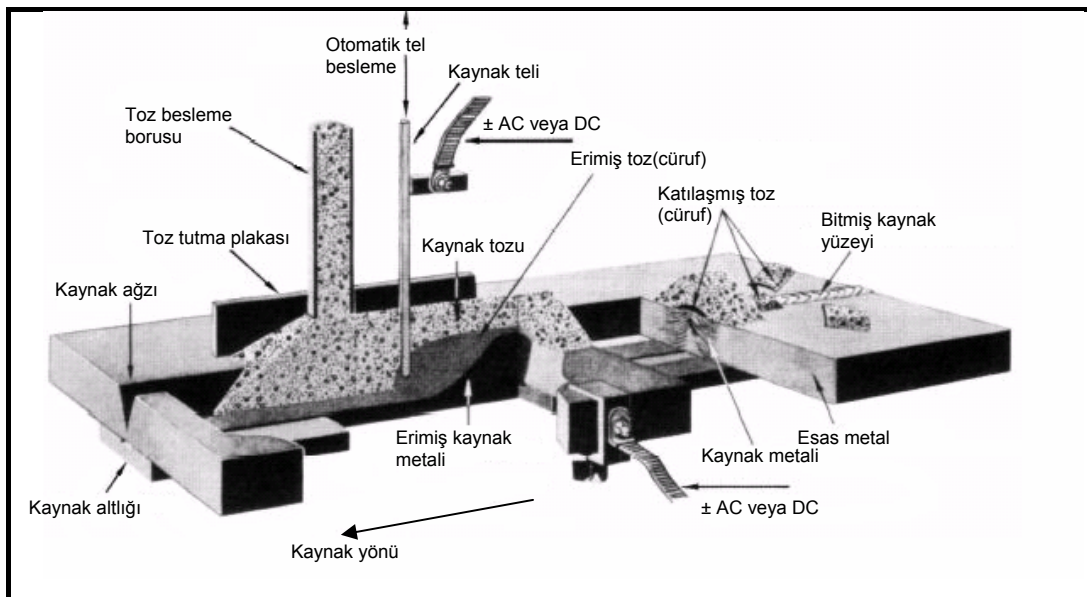
Yüksek erime gücüne ve kaynak hızına sahip olmakla birlikte çeşitli türden çeliklerin kaynağı için de çok uygun olan bu yöntem kazan, profil, gemi ve basınçlı kap üretimi ile dolgu kaynağı işlemlerinde yoğun bir biçimde kullanılmaktadır. Kaluç (2004)

## 2.2.Tozaltı Kaynağının Çalışma Prensibi

Bu kaynak yönteminde, bir bobinden sağılan kaynak teli bir motorun tahrik ettiği makaralar arasından ve bir temas memesinden geçerek kaynak bölgesine gönderilir. Gerekli akımı temas memesinden alan tel ile iş parçası arasında ark oluşur ve ayrı bir kanaldan gelen silikat ve toprak alkali metalleri içeren özel bir toz, ark bölgesini havanın olumsuz etkilerinden korur. Kaynak teli ve iş parçası arasında oluşan arkın sıcaklığından tel ve esas metalin bir bölümü eriyerek istenen birleşmeyi sağlar. Ark, bir toz örtüsü altında bulunduğundan çevreye ışınlam yapmaz ve bu şekilde ark enerjisinin büyük bir bölümü (yaklaşık olarak % 68'i) doğrudan doğruya kaynak için tüketilmiş olur.

Arkın sıcaklığında bir miktar toz da eriyerek dikişi örten bir cüruf durumuna geçer ve bu cüruf henüz çok sıcak olan kaynak dikişini ve banyoyu atmosferin olumsuz etkilerinden koruduğu gibi, içerdiği dezoksidan ve alaşım elementleri yardımıyla kaynak banyosunun dezoksidasyonunu ve kaynak metalinin alaşımlanması gerçekleştirir. Kaluç (2004)

Tozaltı kaynak yönteminin prensip şeması Şekil 2.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Tozaltı Kaynak Yönteminin Prensip Şeması (ESAB 1999)

### 2.3. Tozaltı Kaynağının Kullanım Alanları

Tozaltı kaynak yöntemi;

- Basınçlı kap, kazan ve tank yapımında,
- Ağır otomotiv sanayinde,
- Gemi inşaatında,
- Çelik konstrüksiyon sanayinde,
- Kaynaklı boru imalinde,
- Demiryolu inşasında,
- Kiriş, direk ve uzun kaynak gerektiren kolonların kaynağında,
- Aşınan makine parçalarının tamir ve dolgu işlerinde,
- Profil yapımında (I, H, T profilleri gibi) birleştirme kaynak yöntemi olarak kullanılmaktadır. Damkaş (2003)

### 2.4. Tozaltı Kaynağı ile Kaynak Edilebilen Metal ve Alaşımları

Günümüz endüstrisinde tozaltı kaynak yönteminin birleştirme amacı ile uygulandığı metal ve alaşımları şunlardır:

- % 0.3' e kadar karbon içeren yalın karbonlu çelikler
- Az alaşımlı yüksek mukavemetli ve ince taneli yapı çelikleri
- Krom-Molibdenli çelikler (% 0.5-9 arasında Cr, % 0.5-1 arasında Mo)
- Paslanmaz çelikler
- Nikel esaslı alaşımlar

Gelişen teknoloji ve endüstrinin istemlerine bağlı olarak kullanılan diğer alaşımlar için de uygun kaynak teli ve toz üretimi sonucu kaynakla birleştirme olası görülmektedir. Bugün standartlara uygun olarak üretilen tozların yanı sıra, toz üreticileri bazı alaşımların kaynağı için de özel tozlar üretmektedirler. Kaluç (2004)

## 2.5. Tozaltı Kaynağı ile Kaynak Edilebilen Metallerin Kalınlıkları

Tozaltı kaynak yönteminde, 1,6 mm.den 12 mm.ye kadar olan malzemeler herhangi bir kaynak ağızı açmayı gerektirmeden kaynak yapılabilir. Kaynak ağızı açarak tek pasolu kaynak ile kalınlığı 6,4 mm ile 25 mm arasındaki malzemeler kaynak edilebilir. Çok pasolu teknik kullanıldığında ise pratik olarak bir maksimum limit yoktur. Tozaltı kaynağı ile kaynak edilebilen ana metal kalınlıkları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Tozaltı Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilen Parça Kalınlıkları (Cary 2002)

| Kalınlık<br>Yöntem      | Inch, 005 | ,015 | ,062 | ,125 | 3/16 | 1/4 | 3/8 | 1/2  | 3/4 | 1  | 2  | 4   | 8   |
|-------------------------|-----------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|----|----|-----|-----|
|                         | mm, 13    | ,4   | 1,6  | 3,2  | 4,8  | 6,4 | 10  | 12,7 | 19  | 25 | 51 | 102 | 203 |
| Ağız açmadan tek pasolu |           |      |      |      |      |     |     |      |     |    |    |     |     |
| Ağız açarak tek pasolu  |           |      |      |      |      |     |     |      |     |    |    |     |     |
| Çok pasolu              |           |      |      |      |      |     |     |      |     |    |    |     |     |

## 2.6. Tozaltı Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

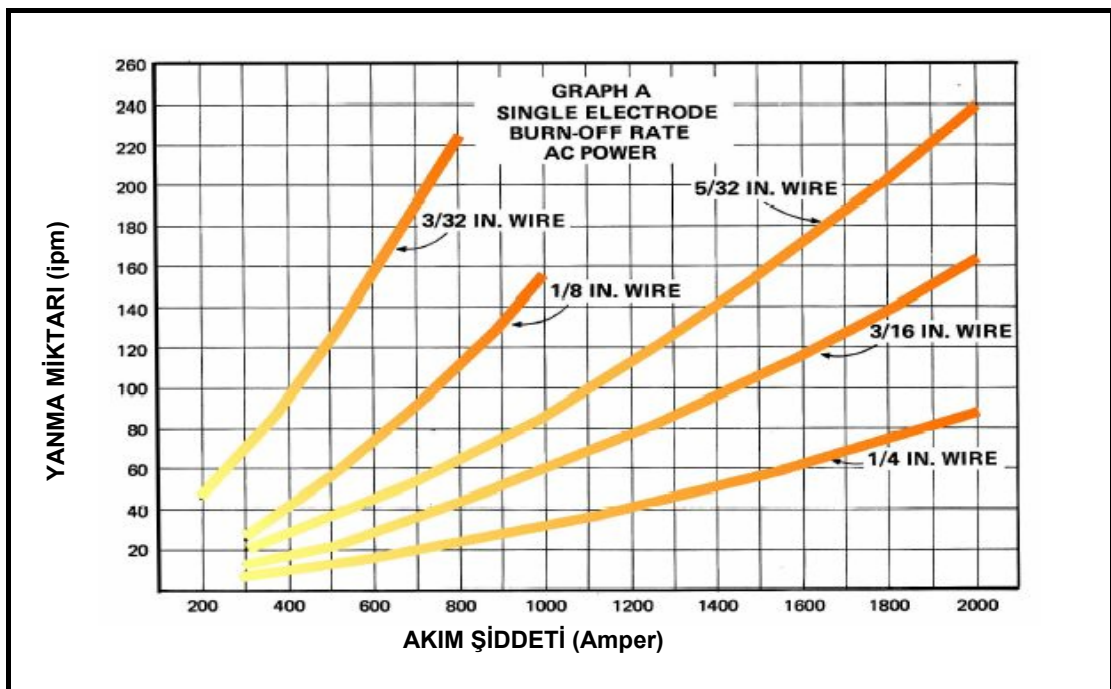
### 2.6.1. Tozaltı kaynağının avantajları

Tozaltı kaynağının avantajlarını şu başlıklar altında toplayabiliriz.

- Yüksek kaynak gücü ve kaynak hızı
- Derin nüfuziyet
- Enerji ekonomisi
- Elektrot ekonomisi
- Yüksek kaliteli kaynak dikişi
- Kaynak dikişi kalitesine kaynakçının bir faktör olarak etkimemesi
- Yüksek ark kararlılığı
- Özel koruyucu donanımlara gerek duyulmaması
- Sürekli kaynak yapılabilmesi
- Birden çok tel ile kaynak yapılabilmesi

### 2.6.1.1. Yüksek kaynak gücü ve kaynak hızı

Tozaltı kaynak yönteminde 200 ile 5000 Amper arasında akım şiddeti ve 6 ile 300 m/saat arasında kaynak hızları kullanılır. Anık (2000) Bu bakımdan, tozaltı kaynak yöntemi alışılmış kaynak yöntemleri ile karşılaştırılamayacak derecede yüksek bir ergime gücü ve kaynak hızına sahiptir. Tozaltı kaynağında tel çapı ve akım şiddetine bağlı olarak, telin yanma miktarı ve elde edilen dolgu miktarı Şekil 2.2.'de ve Şekil 2.3.'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Tozaltı Kaynak Yönteminde Telin Yanma Miktarı (ESAB 1999)

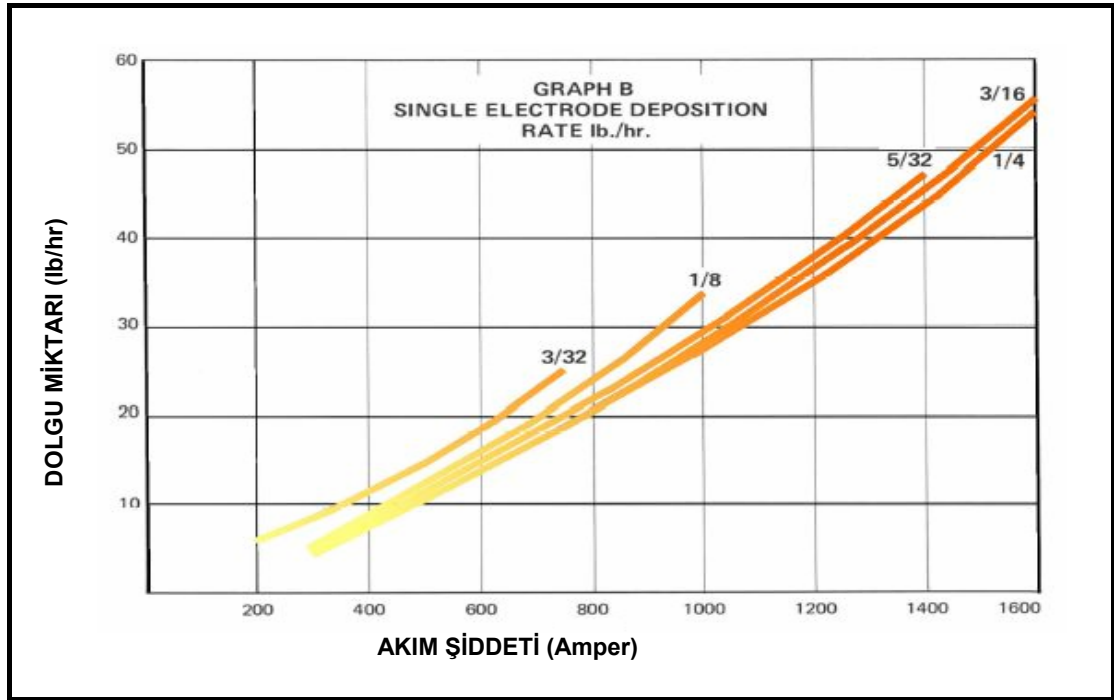
### 2.6.1.2. Derin nüfuziyet

Kaynak akım şiddetinin yüksek olması nedeni ile bu yöntemde kaynak ağzı açmadan iki paso ile 18 mm ve kaynak ağzı açarak da iki paso ile 140 mm kalınlığındaki parçalar rahatlıkla kaynak edilebilmektedir. Anık (2000)

### 2.6.1.3. Enerji ekonomisi

Tozaltı kaynak yönteminde kaynak yerinin toz tarafından gayet iyi bir şekilde örtülmesi sebebiyle elektrik enerjisi kaybı çok azdır. Örtülü elektrot ile yapılan

elektrik ark kaynağında elektrik enerjisinin % 25'i, tozaltı kaynağında ise % 68'i doğrudan kaynak için kullanılmaktadır. Bu nedenle tozaltı kaynak yönteminde büyük bir enerji ekonomisi sağlanmaktadır.



Şekil 2.3. Tozaltı Kaynak Yönteminde Dolgu Miktarı (ESAB 1999)

#### 2.6.1.4. Elektrot ekonomisi

Tozaltı kaynak yönteminde ark, tozaltında yandığından sıçrama kaybı yoktur ve tel elektrot kullanıldığından elektrot kaybı da yoktur; ayrıca yüksek nüfuziyet dolayısı ile daha fazla esas metal ergidiğinden [Kaynak metalinin 2/3'ünü esas metal, 1/3'ünü ilave metal oluşturur. Anık(2000)], elektrot gereksinimi daha azdır.

#### 2.6.1.5. Yüksek kaliteli kaynak dikişi

Kaynak yerinin düzgün ve etkin bir biçimde cürüfla örtülmesi, yavaş soğumayı temin eder. Bu ise kaynak hatalarının meydana gelme imkânını azaltır. Anık (2000) Ayrıca sürekli tel elektrot kullanıldığından tüm dikiş boyunca bir başlama ve bir bitiş noktası vardır. Bu nedenle kaynağın başlangıç ve bitiş noktalarında daha çok rastlanan krater, çatlak gibi kaynak hatalarıyla son derece az karşılaşmaktadır.

#### **2.6.1.6. Kaynak dikiş kalitesine kaynakçının bir faktör olarak etkimemesi**

Tozaltı kaynak yönteminde elektro-mekanik ayar ve kontrol sisteminin varlığı, kaynakçı faktörünü ortadan kaldırmaktadır.

#### **2.6.1.7. Yüksek ark kararlılığı**

Ark bölgesinde oluşan cüruf, arkın sürekliliğini çok iyi bir biçimde koruyabilmektedir. Bu durum özellikle yüksek akım şiddeti ve kaynak hızlarının kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır.

#### **2.6.1.8. Özel koruyucu donanımlara gerek duyulmaması**

Tozaltı kaynağında arkın toz altında olması nedeniyle, görünen ışınlar ve ultraviyole ışınlar etrafa yayılmaz. Bu yüzden gözleri korumak için özel maskeye ihtiyaç duyulmaz. Kaynak sırasında gaz ve toz oluşumu çok az olduğundan özel havalandırma sistemine de gereksinim duyulmaz. Kaynak kafası da, kaynak sırasında ısıdan çok etkilenmediğinden özel bir soğutma tertibatına gerek göstermeden sürekli olarak kullanılabilir.

#### **2.6.1.9. Sürekli kaynak yapılabilmesi**

Tozaltı kaynak torcunun özel raylar veya paletler üzerinde hareket eden bir tertibat üzerinde olması sayesinde, hızı istenilen değerde sabit tutulabildiğinden sürekli kaynak yapma imkânı vardır. Ayrıca çevresel kaynak ve helisel kaynak yapılması da mümkündür.

#### **2.6.1.10. Birden çok tel ile kaynak yapılabilmesi**

Tozaltı kaynak yönteminde; paralel, seri ve tandem yöntemiyle veya bant elektrot kullanarak birden çok tel kullanılabilir. Bu sayede kaynak hızını, transfer olan metal miktarını ve kaynak verimini yükseltmek mümkündür.



### **2.6.2. Tozaltı kaynağının dezavantajları**

- Pahalı makine ve donanıma ihtiyaç duyulduğu için, ilk yatırım masrafları yüksektir.
- İnce saçların kaynağı için uygun bir yöntem değildir.
- Kısa boylu ve karışık şekilli dikişler için yarı otomatik tozaltı makineleri geliştirilmişse de, bunlar tozaltı kaynak yönteminin bütün üstünlüklerini bünyelerinde toplayamamaktadırlar. Karışık şekilli kaynak dikişine sahip çok sayıda yapılması gereken parçalar için özel geliştirilmiş makineler kullanılabilir.
- Tozaltı kaynak yöntemi ile yatay pozisyonda iyi sonuç alınabilmektedir. Dik ve korniş pozisyonu için özel tertibatlar geliştirilmiş olmakla beraber dik pozisyon için günümüzde daha çok elektro cüruf kaynağı tercih edilmektedir. Bu yöntem ile tavan pozisyonunda kaynak yapmanın olanağı yoktur. Kaluç (2004)

### **2.7. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Yöntemler**

Kullanımda büyük avantajlara sahip olması nedeniyle, tozaltı kaynağının kullanım yerlerine göre çeşitli özel tipleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler şunlardır:

- Tandem tozaltı kaynak yöntemi
- Paralel tozaltı kaynak yöntemi
- Seri tozaltı kaynak yöntemi
- Korniş usulü tozaltı kaynak yöntemi
- Bant elektrot ile tozaltı kaynak yöntemi

### **2.8. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri ve Tozları**

#### **2.8.1. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak telleri**

Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak telleri, standartlarda öngörülen bileşimde hazırlanmış ince çaplı çelik tellerden soğuk olarak çekilerek istenen çapa indirgenmiş tellerdir. Tellerin tamamen yuvarlak ve iyi kalibre edilmiş olmalarına ve ölçülerinin verilen toleranslar içinde bulunmalarına dikkat edilmelidir. Çeşitli kullanım yerleri için eski standart olan DIN 8557'ye ve yeni standart olan EN 756'ya göre 1,2 ila 12

mm çapları arasında teller üretmek olanağı var ise de, ISO bunları 1,2-1,6-2-2,5-3-3,2-4-5-6-6,3-8 mm çaplarında sınıflandırmıştır. Günümüz endüstrisinde bu çaplardan 2,5 ile 6 mm arasındakiler en çok tercih edilenlerdir. Bu tellerin çap toleransları da DIN 668'e göre standartlaştırılmıştır. Yalın karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılmak üzere geliştirilen tozaltı kaynak tellerinin yanı sıra, ısıya ve sürtünmeye dirençli çeliklerin, paslanmaz ve yüksek sıcaklığa dirençli çeliklerin, nikel ve nikel alaşımlarının tozaltı kaynağı için geliştirilmiş standart teller de üretilmektedir.

### **2.8.2. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak tozları**

Tozaltı kaynak tekniğinde kullanılan kaynak tozları, örtülü elektrotlardaki örtünün görevini üstlenir ve ayrıca kaynak işlemine fiziksel ve metalürjik etkide bulunur. Fiziksel olarak oluşan cüruf, kaynak banyosunu havaya karşı korur, dikişe uygun bir biçim verir ve çabuk soğumasına engel olur. Metalürjik olaylara esas metal ile kaynak telinin de etkisi vardır. Esas metal, kaynak teli ve tozun bileşimi dikişin kimyasal bileşimine etki eden üç önemli faktördür.

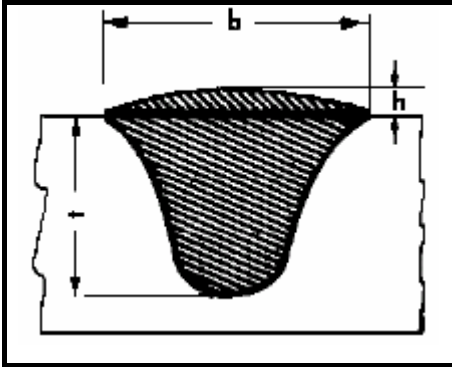
Ülkemizde tozaltı kaynağında alaşımsız, az alaşımlı ve yüksek alaşımlı çelikler için kullanılan tozaltı kaynak tozları konusunda son yıllara kadar Alman Standardı DIN 32522 uygulanmakta iken Avrupa Topluluğu CEN komisyonu tarafından hazırlanan EN 760 yürürlüğe girmiştir.

İyi bir kaynak tozu şu özelliklere sahip olmalıdır:

- Kaynak işlemi sırasında arkın kararlılığını sağlamalıdır.
- Kaynak banyosunu ve esas metali havanın zararlı etkilerine karşı korumalıdır.
- İstenilen kimyasal bileşim ve mekanik özelliklere sahip bir kaynak dikişi vermelidir.
- Parçadan ısının dışa yayılmasını yavaşlatmalıdır.
- Kaynak sırasında katı, sıvı ve gaz fazları arasındaki tüm reaksiyonların (kaynak metali katılaşmaya kadar geçen kısa süre içerisinde) oluşmasını sağlamalıdır.
- Çeşitli kaynak hatalarının oluşmasına neden olabilecek organik maddeleri içermemelidir.

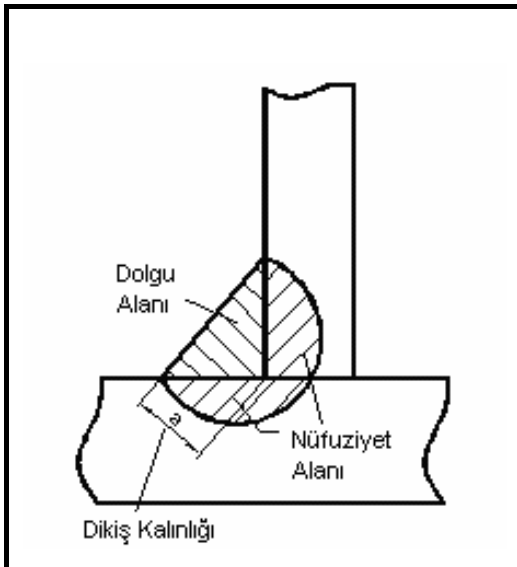
## 2.9. Tozaltı Kaynağında Dikiş Geometrisi

Tozaltı kaynak yönteminde bir alın birleştirmede oluşan dikişin geometrisi Şekil 2.4.'de gösterilmiştir. Böyle bir alın kaynağı neticesinde oluşan dikiş, “dikiş yüksekliği”, “dikiş genişliği” ve “nüfuziyet” ile tanımlanır. Şekilden de görülebileceği gibi dikiş yüksekliği ( $h$ ), dikiş genişliği ( $b$ ) ve nüfuziyet ise ( $t$ ) ile gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Bir Alın Kaynağı Dikişi

Tozaltı kaynak yönteminde bir köşe kaynağı sonucu ortaya çıkan dikişin geometrisi ise Şekil 2.5.'de gösterilmiştir. Bir köşe kaynağı neticesinde oluşan dikiş de, “dikiş kalınlığı” ve “nüfuziyet alanı” ile tanımlanır. Şekilde dikiş kalınlığı ( $a$ ) ve nüfuziyet alanı gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Bir Köşe Kaynağı Dikişi

### 2.9.1. Tozaltı kaynağında dikiş geometrisine etki eden faktörler

Tozaltı kaynağında dikişin geometrisine etki eden başlıca parametreler şunlardır:

- Akım şiddeti
- Akım yoğunluğu
- Ark gerilimi
- Kaynak hızı
- Kaynak ağız açısı
- Parçanın bulunduğu düzlemdeki meyli
- Kaynak tozunun tane büyüklüğü ve cinsi
- Serbest tel boyu

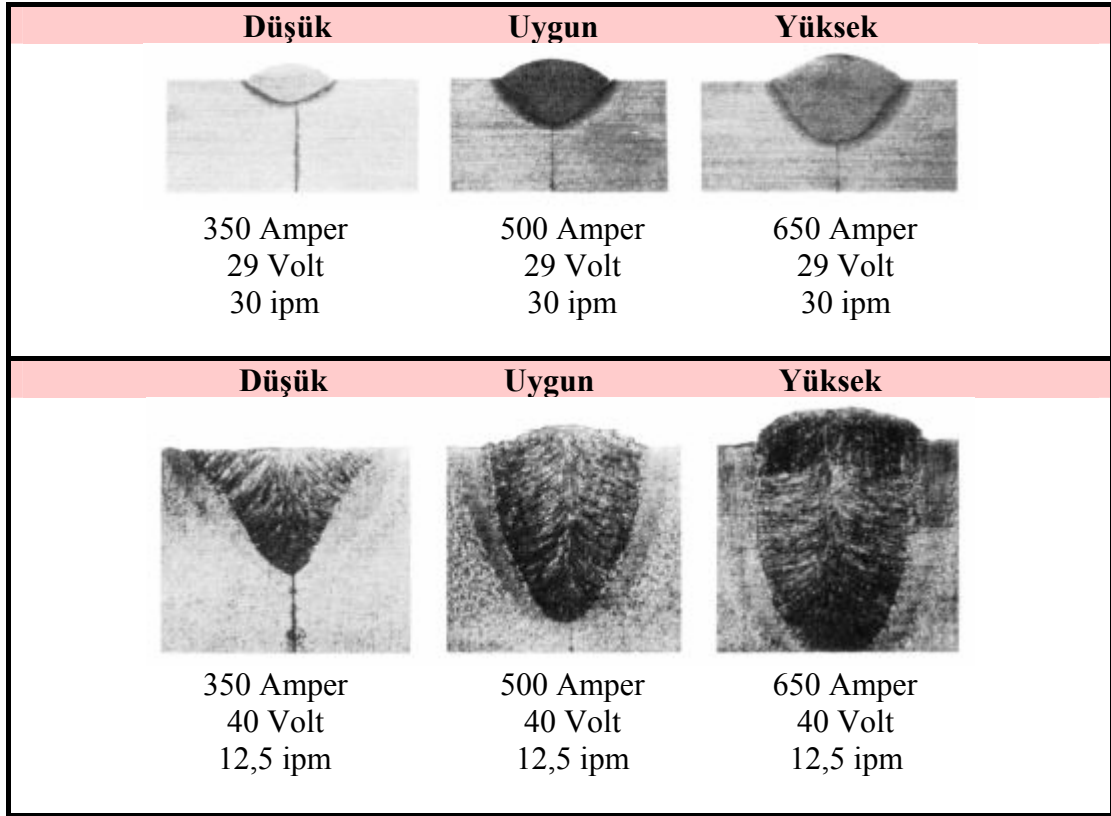
Bu parametrelerden etkisi en fazla olanlar sırasıyla akım şiddeti, ark gerilimi, kaynak hızı, serbest tel boyu ile tozun cinsi ve tane büyüklüğüdür. Kaluç (2004)

#### 2.9.1.1. Akım şiddetinin etkisi

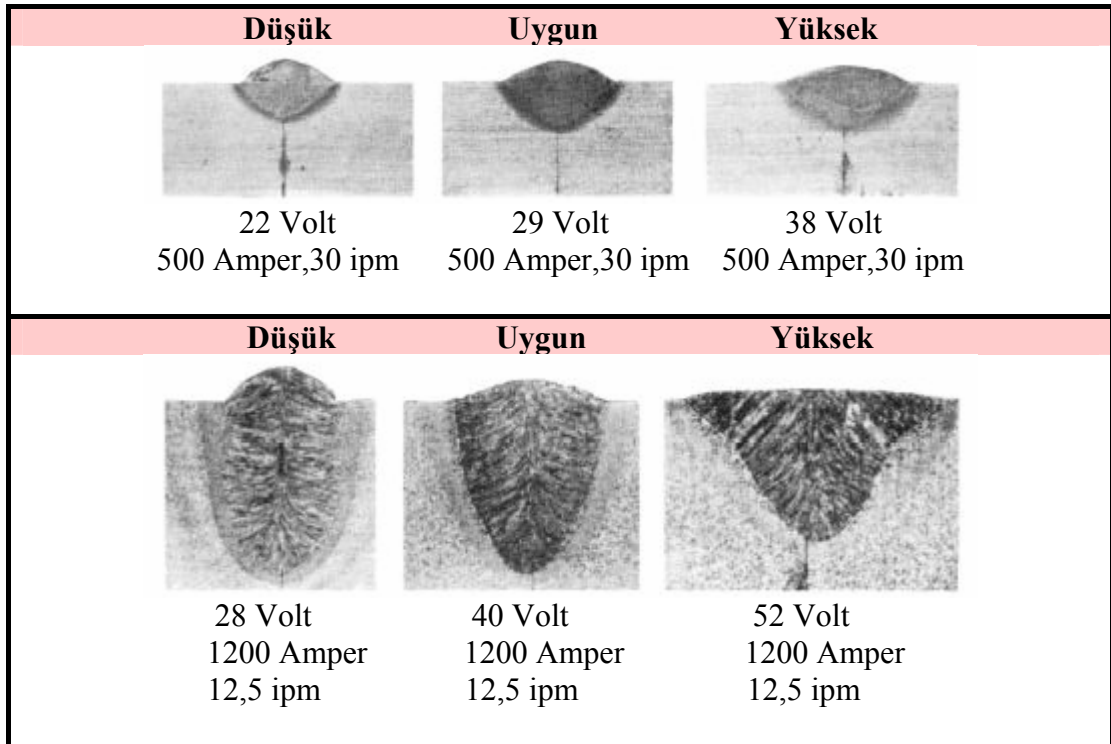
Akım şiddeti, ergiyen elektrot miktarını, nüfuziyet derinliğini ve ergiyen esas metal miktarını etkiler. Akım şiddetindeki artış ile nüfuziyet ve ergime miktarı artar. Şekil 2.6.'da akım şiddetinin dikiş geometrisi üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

#### 2.9.1.2. Kaynak geriliminin etkisi

Kaynak gerilimi, dikiş kesatine ve kaynağın dış görünüşüne etki eder. Kaynak geriliminin arttırılması; düz ve geniş bir dikişe, toz tüketiminin artmasına ve fazla miktarda tozun cüruf haline geçmesine sebep olur. Bu ise kaynak dikişinin kimyasal bileşimine etki eder. Gereğinden fazla gerilim; çatlakların fazlaca görüldüğü bir dikiş geometrisini oluşturur, cüruf temizleme zorluğu yaratır, çok pasolu kaynakta alaşım içeriğini arttırır, konkav (iç bükey) bir yuvarlatma meydana getirir. Oldukça düşük bir gerilim kullanmak ise temizlemesi zor bir cüruf ile yüksek ve dar bir dikiş meydana getirir. Şekil 2.7.'de ark geriliminin dikiş geometrisi üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



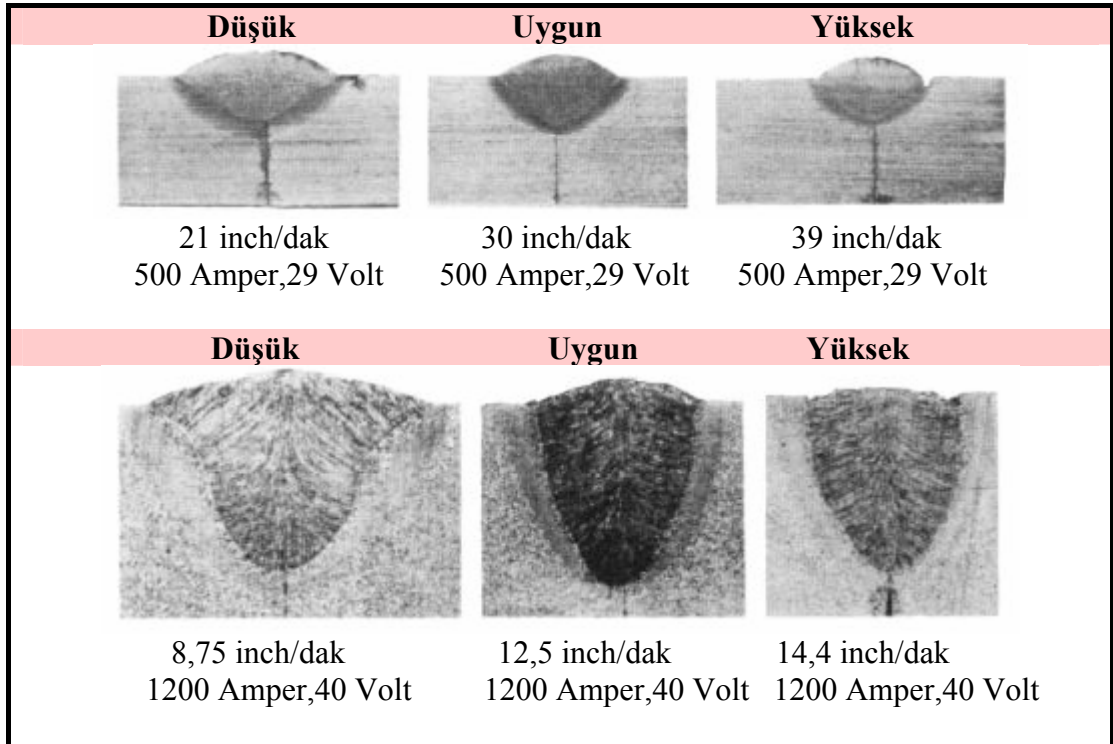
Şekil 2.6. Tozaltı Kaynak Yönteminde Akımın Dikiş Geometrisi Üzerindeki Etkisi (ESAB 1999)



Şekil 2.7. Tozaltı Kaynak Yönteminde Gerilimin Dikiş Geometrisi Üzerindeki Etkisi (ESAB 1999)

### 2.9.1.3. Kaynak hızının etkisi

Düşük hızla yapılan kaynakta, ergiyen ilave metal miktarı artacağı için ergimiş banyonun miktarı büyür. Bu da kaba bir dikiş görünümü ve dikişe cüruf katma gibi problemler oluşturabilir. Kaynak hızının azalması, dikiş boyuna verilen ısı miktarını yükselteceğinden, “ısının tesiri altında kalan bölge” (ITAB) genişler ve normal kaynak hızlarında delinmemesi gereken parçalarda delinme tehlikesi ortaya çıkar. Ayrıca düşük kaynak hızlarında gözenek oluşması riski azalır. Çünkü gaz çıkartan materyallerin buhar haline gelip, ergimiş kaynak banyosundan çıkması için yeterli zamanları vardır. Bununla birlikte gereğinden yavaş kaynak hızlarında yapılan kaynakta ise çatlakların fazlaca görüldüğü dikiş geometrisi oluşur. Son olarak kaynak hızının düşmesi, kullanılan tozun sarfiyatına etki eden önemli parametrelerden birisi olup, ergiyen toz miktarını artırmaktadır. Diğer taraftan kaynak hızı yükseldikçe, nüfuziyet ile dikiş genişliğinin azaldığı görülür. Kaynak hızının artması, dikişlerin daha dikkatli kaynak edilmesini gerektirir. Gereğinden fazla kaynak hızı, ark üflemesini, gözeneği ve çatlağı arttırır, dikişin şeklini bozar. Şekil 2.8.’de kaynak hızının dikiş geometrisi üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Tozaltı Kaynak Yönteminde Hızın Dikiş Geometrisi Üzerindeki Etkisi (ESAB 1999)

#### **2.9.1.4. Kaynak ağız açısının etkisi**

Kaynak ağız açısının artması yani iki parça arasındaki aralığın artması, dikişin nüfuziyetini artırır. Bununla birlikte dikişin yüksekliğinde azalma meydana gelir.

#### **2.9.1.5. Parçanın bulunduğu düzlemin etkisi**

Tozaltı kaynağı esas olarak yatay pozisyonda yapılır. Burada parçanın durumu ve kaynak yönü dikiş geometrisine etki eder. Parçanın bulunduğu yatay düzlemdeki meyli  $6^\circ$ 'yi aşarsa kaynağın yönüne göre dikiş geometrisi de değişir. Örneğin  $6^\circ$ 'den daha büyük meyilli yüzeylerdeki yokuş aşağı yapılan kaynak işlemlerinde nüfuziyet gayet az ve dikiş geniştir. Yokuş yukarı yapılan kaynak işlemlerinde ise nüfuziyet ve dikiş yüksekliği çok fazladır.

#### **2.9.1.6. Akım yoğunluğunun etkisi**

Akım yoğunluğu ( $I / F = \text{Amper} / \text{mm}^2$ ), akım şiddetinin tel kesitine oranıdır. Akım yoğunluğunun artması ile ergime gücü de fazlalaşacağından dikiş yüksekliğinde de bir artma görülür. Çelik (1988)

#### **2.9.1.7. Serbest tel boyunun etkisi**

Serbest tel boyu, kaynak memesinin parçaya olan mesafesi olarak ifade edilir. Pratikte meme ile parça arasındaki ortalama mesafe tel çapının 10 katı olarak alınır. Bu mesafenin büyümesiyle, nüfuziyetin azaldığı ve dikiş yüksekliğinin de arttığı görülmüştür.

#### **2.9.1.8. Kaynak tozunun tane büyüklüğünün etkisi**

Tozun tane büyüklüğü arttıkça nüfuziyet ve dikiş yüksekliği az miktarda azalır. Bununla birlikte dikişin eninde bir miktar artma olur.

## **BÖLÜM 3. YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİ**

### **3.1. Giriş**

Zekâ; olayları, önerileri, bilgileri ve bunların arasındaki ilişkileri anlayabilme yeteneğidir. Yapay zekâ ise 1956 yılında ABD’de “Makine Zekâsı” konferansında ortaya konmuş bir kavramdır. Yapay zekâ, insanların zeki kabul ettikleri bilgisayarların yapılmasıyla ilgili bilgisayar bilimleri alt alanıdır. Yapay zekânın amacı insana özgü olan zeki davranışları incelemek ve bu davranışları bilgisayar sistemine uygulamaktır. Yapay zekâ ile uğraşan araştırmacıların amacı bir anlamda düşündüğü kabul edilen bilgisayar sistemleri geliştirmektir. Burada ki düşünme, bilgisayar programlarının problemleri çözerken gösterdiği yaklaşımların bir insanın davranışına benzemesi anlamındadır. Bir bilgisayar programının bunu başarabilmesi için çözülecek problem alanında yüksek düzeyde bilgiye sahip olması gerekir. Böylece çok dar bir problem alanında insan gibi uzman olan bilgisayar programları geliştirilebilir. Diğer taraftan yapay zekâ veri işlemeden bilgi işlemeye bir geçittir ve böyle sistemlerde de bilginin sunulması ve işlenmesi çok önemli bir özelliktir. Dolayısıyla bilginin çoğu zaman sembollerle daha kolay ifade edilebilmesi ve yapay zekânın da sayılarla değil sembollerle uğraşması göz önünde tutulmalıdır.

Günümüzde yapay zekâ birçok alt dala ayrılmıştır. Çoğu zaman yapay zekâ denildiğinde akla uzman sistemler gelir. Belki de bunun nedeni uzman sistemlerin yapay zekânın diğer alt dallarından daha önce geliştirilmeye başlamış olmasındandır. Fakat son yıllarda yapay zekâ kavramının içeriği değişerek bulanık mantık, genetik algoritmalar ve yapay sinir ağları konularında da yaygın araştırmalar yapılmaktadır. Allahverdi (2002)



Uzman sistemler temelde insan düşüncelerini gerçekleştirmek amacıyla bilgisayar tarafından işlenen bir yazılımdır. Uzman sistemler geliştirilirken uzmanların belli bir konudaki bilgi ve deneyimlerini bilgisayara aktarması amaçlanmaktadır.

Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanan bir matematiksel disiplindir. Bulanık mantık uzun-kısa, sıcak-soğuk yerine, insan mantığında olduğu gibi çok sıcak-sıcak-ılık-az soğuk-soğuk-çok soğuk gibi ara değerlerle çalışmaktadır.

Genetik algoritmalar yapay zekânın gittikçe genişleyen bir kolu olan evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturmaktadır. Genetik algoritma Darwin'in evrim kuramından (doğada en iyinin yaşaması kuralı) esinlenerek oluşturulan, bir veri öbeğinden özel bir veriyi bulmak için kullanılan bir arama yöntemidir. Genetik algoritma geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkânsız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır.

Genel olarak yapay sinir ağları, insan beyninin sinir ağlarını taklit eden bilgisayar programlarıdır. Yapay sinir ağları bir anlamda paralel bilgi işleme sistemi olarak düşünülebilir. Yapay sinir ağlarına bu bilgiler ilgili olaya ait örnekler üzerinde eğitilerek verilir. Böylece örnekler sayesinde açığa çıkarılmış özellikler üzerinde çeşitli genelleştirmeler yapılarak daha sonra ortaya çıkacak ya da o ana kadar hiç rastlanmamış olaylara da çözümler üretilmektedir. Elmas (2003)

### **3.2. Yapay Sinir Ağları**

Yapay sinir ağları (YSA), insan beynindeki sinir hücrelerine benzetilerek tasarlanan basit işlemcilerin birbirine değişik etki seviyeleri ile bağlandığı ve olayları öğrenerek karar verme prensibi üzerine kurulmuş bir sistemdir.

YSA kavramı beynin çalışma ilkelerinin, sayısal bilgisayarlar üzerinde taklit edilmesi fikri ile ortaya çıkmıştır. Yapılan ilk çalışmalar beyni oluşturan biyolojik hücrelerin (nöronların) matematiksel olarak modellenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalar, her bir nöronun komşu nöronlardan bazı bilgiler aldığını ve bu bilgilerin biyolojik nöron

dinamiğinin öngördüğü biçimde bir çıktıya dönüştürüldüğünü göstermiştir. Bugün gelinen noktada ise YSA'lar birçok nöronun belirli biçimlerde bir araya getirilip bir işlevin gerçekleşmesi üzerindeki yapısal olduğu kadar matematiksel ve felsefi sorunlara yanıt arayan bir bilim dalı olmuştur. İnsan beyninin çalışma mekanizmasını taklit etmeye çalışan bu sistemler, birim işlem zamanı nanosaniyeler mertebesinde olan silikon lojik kapılar ile gerçekleştirilebilmektedirler. Buna rağmen insan beyninin birim işlem zamanı milisaniyeler mertebesindeki nöronlarının toplu biçimde ele alındıklarındaki işlevselliklerinden çok uzakta kalırlar. YSA'lar karar hızı açısından insan beyni ile yarışabilecek noktada olmamalarına rağmen karmaşık eşleştirmelerin hassas bir biçimde gerçekleştirilmesi ve yapısal gürbüzlüğe sahip olmaları nedeniyledir ki her geçen gün uygulama alanları genişlemektedir. Efe, Kaynak (2000)

Günümüzde nöronların birbirleriyle elektriksel sinyaller aracılığıyla haberleştiği düşünülmektedir. Bununla birlikte nöronların kimyasal bir ortamda çok yoğun beyinsel faaliyetleri yerine getirdiği bilinmektedir. Dolayısıyla beyin, biyokimyasal işlemlerin gerçekleştiği son derece yoğun bir elektriksel ağ gibi düşünülebilir. Bu ağ çok karmaşık ve çok detaylı bir yapıyla birbirine bağlıdır. Sinir ağına giriş, algı sinirleri ( reseptörler) ile sağlanır. Bu algılayıcılar uyarıyı elektriksel sinyallerle gövdeye yani beyne iletirler. Beynin ürettiği elektriksel darbeler de tepki sinirleri (effector) tarafından organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürülür.

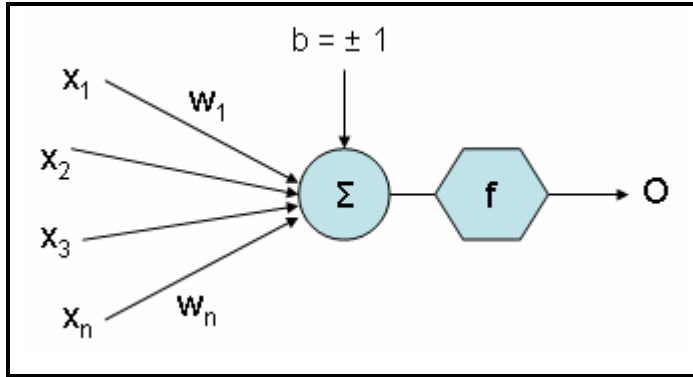
Merkezi sinir ağında bilgiler, alıcı ve tepki sinirleri arasında ileri ve geri besleme yönünde değerlendirilerek uygun tepkiler üretilir. Bu yönüyle biyolojik sinir sistemi, kapalı çevrim denetim sisteminin karakteristiklerini taşır.

### **3.2.1. Yapay sinir ağı hücresi**

Temel bir yapay sinir ağı hücresi (Şekil 3.1.) gerçek bir sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. Bu hücre temel olarak aşağıda ki bileşenlerden oluşur.

-girişler (dış ortamdan ya da diğer nöronlardan alınan veriler)

- ağırlıklar
- toplama fonksiyonu
- aktivasyon fonksiyonu
- çıkışlar



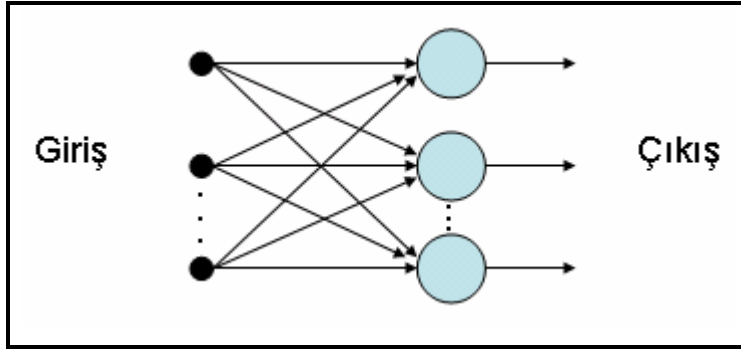
Şekil 3.1. Yapay Sinir Ağı Hücresi

Dış ortamdan alınan veri ağırlıklar aracılığıyla nörona bağlanır. Bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Girişler ve bu girişlerle ilgili ağırlıkların çarpımı ile elde edilen sonuç net girişi verir. Bu işlem toplam fonksiyonu sayesinde gerçekleştirilir. Aktivasyon fonksiyonu ise işlem süresince net çıkışını hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını verir. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Şekil 3.1.'de görülen “b” bias veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılan bir sabittir. “W” ağırlıkları, “x” girişleri ve “f” aktivasyon fonksiyonunu temsil etmektedir.

Ağ yapılarının farklı olmasına rağmen YSA'ların çoğunun işleyişi Şekil 3.1.'deki şematik gösterimde olduğu gibidir. Bu işleyişe göre  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  nöron girişleridir ve her bir giriş toplama işleminden önce  $(w_1, w_2, \dots, w_n)$  ağırlıkları ile çarpılır. Toplam olarak girişler  $(X)$  vektörü ile bunların ağırlıkları ise  $(W)$  vektörü ile gösterilir.  $[Y_{NET}=W.X]$ 'dir. Çok katmanlı perseptron ve geri yayılım modelinde ise  $(W)$ , vektör yerine bir matris olarak tanımlanır.

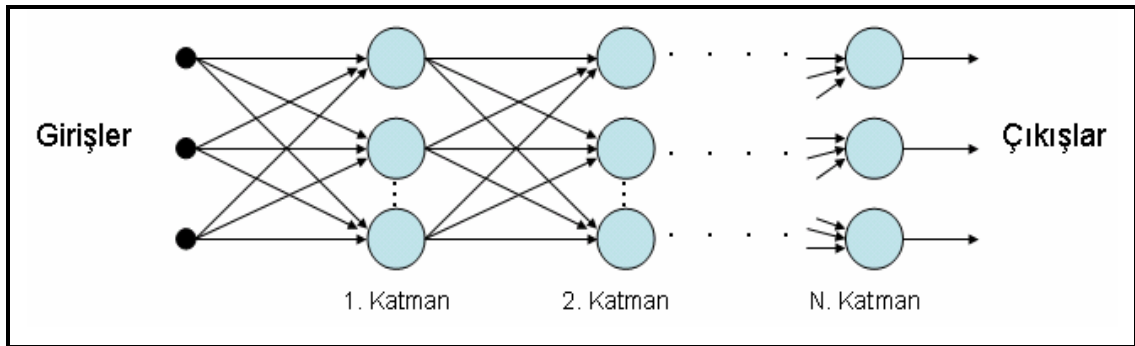
### 3.2.2. Tek katmanlı ve çok katmanlı YSA'ların yapısı

Bir nöral hücre, çok sayıda geri besleme bağlantısı içeren bir ağ içinde yer alır. Basit işleme elemanlarından oluşmuş birçok ağın temel yapısı Şekil 3.2.'deki gibi tek katmanlı bir yapıdır.



Şekil 3.2. Tek Katmanlı Sinir Ağı

Tek katmanlı ağların çeşitli uygulamalarda sınırlı yetenekler gösterdiği ispatlanmıştır. Fakat bu ağlar iki veya daha fazla nöral katmanını bağlayarak oluşturulan çok katmanlı ağların kullanımına yol açmışlardır. Şekil 3.3.'de gösterilen çok katmanlı ağlarda her katmanda sinir sayısı farklı olabilir ve her katmanın çıkışı önceki katmanın çıkışlarından ağırlıklı toplam olarak üretilir. Araştırmacılar çok katmanlı ağların sistematik olarak eğitilmesini sağlayan algoritmalar geliştirmişlerdir. Bu algoritmaların çok katmanlı ağlara uygulanması ile tek katmanlı ağlara kıyasla çok daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3.3. Çok Katmanlı Sinir Ağı

### **3.2.3. Yapay sinir ağlarının üstünlükleri**

YSA'larda bir ağ yapısının çözebileceği problem uzayı, insan beyninin çözebildiği problem uzayının oldukça kısıtlanmış bir alt kümesidir. Bu yüzden YSA'ları çekici kılan aşağıdaki temel özelliklerin algılanışında bu nokta gözden kaçırılmamalıdır.

#### **3.2.3.1. Sistemin paralelliği ve toplamsal işlevin yapısal olarak dağılımı**

Birçok nöron eş zamanlı olarak çalışır ve karmaşık bir işlev çok sayıda küçük nöron aktivitesinin bir araya gelmesinden oluşur. Bu da zaman içerisinde herhangi bir nöronun işlev dışı kalması durumunda ağ başarımının dikkate değer ölçüde etkilenmeyeceği anlamına gelir.

#### **3.2.3.2. Genelleme yeteneği**

Ağ yapısının, eğitim esnasında kullanılan sayısal bilgilerden eşleştirmeyi betimleyen kaba özellikleri çıkarsayarak eğitim sırasında kullanılmayan girdiler için anlamlı yanıtlar üretebilmesidir.

#### **3.2.3.3. Ağ fonksiyonunun nonlineer oluşu**

Yapı üzerinde dağılmış nonlineer alt birimler, istenen eşleştirmenin nonlineer olması durumunda (denetim ya da tanımlama işlemlerinde olduğu gibi) işlevin doğru biçimde yerine getirilebilmesini matematiksel olarak olası kılarlar. Bununla birlikte işlevin doğru biçimde gerçekleştirilebilmesi için yapısal bir esneklik gereklidir. Yani ağ parametreleri başarımı arttıracak ya da maliyeti azaltacak şekilde değiştirilebilmelidir.

### **3.2.4. Bir problemin çözümünde YSA yaklaşımı**

Bir problemin YSA ile çözümünde tasarımcının önüne değişik seçenekler çıkar. İlk seçenek öğrenme mekanizması üzerinedir. Literatürde iki tip öğrenme stratejisinin

varlığından söz edilmektedir. Bunlar öğreticili öğrenme ve öğreticisiz öğrenmedir. Bu iki yaklaşım arasındaki temel farklılık istenen çıkış değerlerinin var olup olmamasıyla ilgilidir. Bir eğitici sistem çıkışlarının istenen değerlerini temin ediyorsa bu tip öğrenme öğreticili öğrenme sınıfına girer. Tasarım koşulları istenen değerlerin temin edilmesine izin vermiyorsa bu tip öğrenme de öğreticisiz öğrenme sınıfına girer. Öğreticisiz öğrenme algoritmaları daha çok sistemin geçmişte karşı karşıya kaldığı veri kümesinin içerdiği istatistiksel bilgilerin çıkarsamasını amaçlar. Bu sayede çok elemanlı veri kümeleri içerisinde deneyim yoluyla bilgi genelleştirilmesi yapılabilir. Bisiklet sürmeyi öğrenen bir çocuk önceki denemelerindeki yanlış hareketlerin sonuçlarını gözlemleyerek bir sonraki denemede bu deneyiminden faydalanır. İstenen denge koşulları her ne kadar kuramsal olarak mevcut ise de pratikte çocuğun bisikleti sürebilmek için yaptıkları önceki hatalarını tekrarlamamaktan öteye gitmez.

Tasarımda ikinci seçenek ağ mimarisi üzerinedir. Eğer ağ üzerinde bilgi akışı sürekli ileri doğru ise bu yapıdaki ağlara ileri beslemeli ağlar denir. Bununla birlikte ağ yapısında geri besleme bağlantıları varsa bu tip ağlara da geri beslemeli ağlar denir.

Tasarımdaki üçüncü seçenek ise öğrenme algoritmasıyla ilgilidir. Literatürdeki öğrenme algoritmalarında öğrenme olgusu, matematik kurallarıyla ölçülebilir büyüklüklere dönüştürülerek bir başarımlı ölçütünün oluşturulmasına ve bu ölçütün zaman içinde artırılmasını sağlayacak parametre değişikliklerinin hesaplanmasına dayanır. Burada parametre güncelleme işlemi için türetilen bilginin hangi yöntemlerle oluşturulduğu tasarım esnekliğinin ana temasıdır.

Bir başka seçenek ise parametre güncelleme işleminin zamanlamasıdır. Burada problemin dayattığı fiziksel gerçekliğin, zamanlamanın seçimi üzerinde bir koşul olabileceği vurgulanmalıdır. Öğreticili öğrenme yaklaşımında parametre güncelleme işlemi normal çalışma esnasında anlık gözlemlerden elde edilen bilgi ile yapılıyorsa buna eşzamanlı öğrenme denir. Eğer sinir ağı daha önceden belirlenen bir giriş-çıkış eşleştirmesini gerçeklemeye çalışıyorsa buna da zamandan bağımsız öğrenme denir.

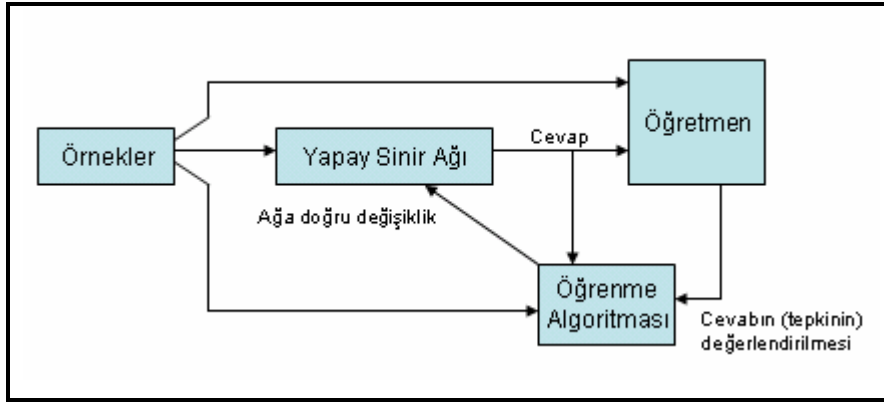
Son olarak parametre güncelleme işlemi için iki seçeneğin varlığından söz edilebilir. Eğer ağ parametreleri eğitim çiftlerinin tamamının ağ üzerinden geçirilip her bir geçişte hesaplanan değişim miktarlarının toplamı ile güncelleniyorsa toplumsal, her bir eğitim çifti için hesaplanan değişim miktarı o anda uygulanıyorsa bireysel güncellemeden bahsedilir. Efe, Kaynak (2000)

### **3.2.5. Yapay sinir ağlarının eğitilmesi**

Yapay sinir ağlarının öğrenme sürecinde ilk önce dış ortamdan girişler alınır. Bu girişler ve aktivasyon fonksiyonu sayesinde bir tepki çıkışı üretilir. Bu çıkış tecrübeyle verilen çıkışla karşılaştırılarak hata bulunur. Çeşitli öğrenme algoritmalarıyla hata azaltılarak gerçek çıkışa yaklaşılmaya çalışılır. Bu çalışma süresince yapay sinir ağının ağırlıkları her bir çevrimde yenilenerek amaca ulaşmaya çalışılır. Amaca ulaşmanın ölçüsü de yine dışarıdan verilen bir değerdir. Eğer yapay sinir ağı verilen giriş-çıkış çiftleriyle amaca ulaşmış ise ağırlık değerleri saklanır. Ağırlıkların sürekli yenilenip istenilen sonuca ulaşılan kadar geçen zamana öğrenme adı verilir. Yapay sinir ağı öğrendikten sonra daha önce verilmeyen girdiler ağa sunulup, sinir ağı çıktısıyla gerçek çıktı sonuçları incelenir. Yapay sinir ağlarında eğitim algoritması; öğretmenli, öğretmensiz ve takviyeli olmak üzere üç kısımda incelenir.

#### **3.2.5.1. Öğretmenli öğrenme**

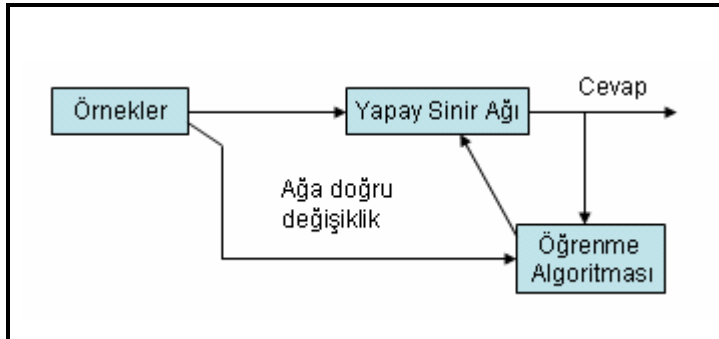
Öğretmenli öğrenmede geniş bilgileri birleştiren ve öğrenmeyi kontrol eden harici bir öğretmen vardır. Öğretmen, performans derecesini gözlemler veya bilgi setini öğretir. Geri yayılım algoritması olarak bilinen LMS (Least Mean Square) algoritması, öğretmenli öğrenme algoritmasına örnek olarak verilebilir. Öğretmenli öğrenmede amaç giriş-çıkış örneklerine göre ağırlıkların değiştirilmesidir. Ağdan sonra minimum hata değeri ile giriş çıkış bilgileri kurularak öğrenme görevi tamamlanır. Dolayısıyla ağ, yeni girişler için çıkışları bulmak amacıyla yeniden kullanılabilir. Şekil 3.4'de öğretmenli öğrenme blok diyagramı gösterilmiştir. Çalışkan (2004)



Şekil 3.4. Öğretmenli Öğrenme

### 3.2.5.2. Öğretmensiz öğrenme

Sistem ağ içinde bulunan bilgilerin dizaynını yapar ve kendi kendini organize eder. Kohonen ağı öğretmensiz öğrenmeye bir örnek olarak verilebilir. Şekil 3.5.'de öğretmensiz öğrenme blok diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Öğretmensiz Öğrenme

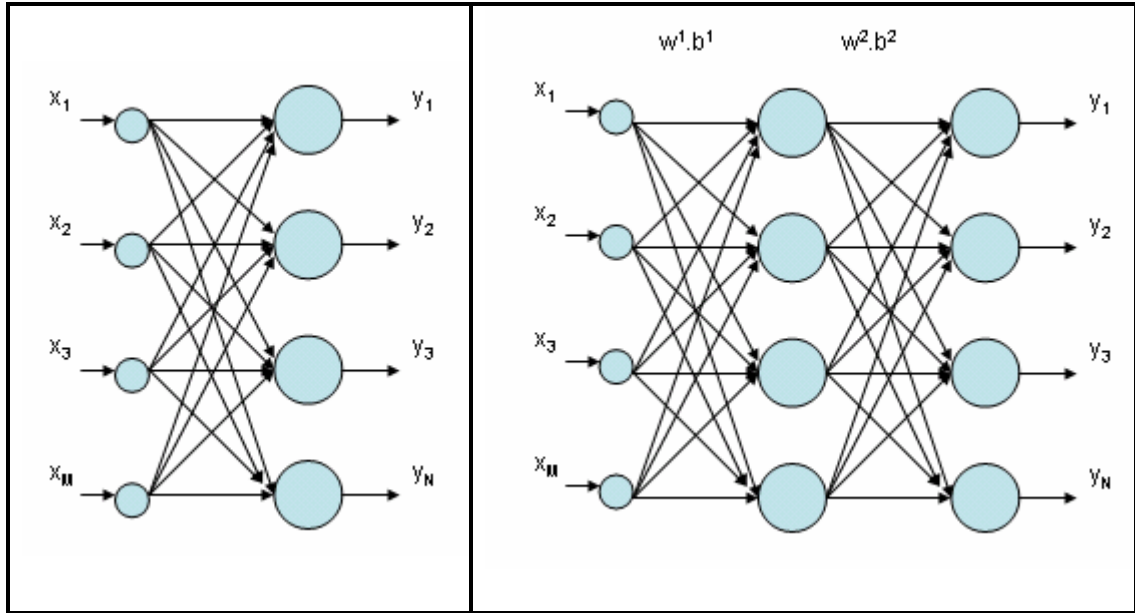
### 3.2.5.3. Takviyeli öğrenme

Takviyeli öğrenmede de bir öğretmene ihtiyaç vardır. Öğretmenli öğretmeden farkı ise ağın ürettiği sonucun sadece doğru veya yanlış olduğunu söyler. Bu ise ağa bir takviye sinyalinin gönderilmesi ile gerçekleşir.



### 3.2.6. İleri ve geri beslemeli ağlar

Giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katmanlı bir yapıya sahiptirler. Önce ağın girişlerine girdiler sunulur. Sonra giriş katmanında ki nöronlar çıktılarını hesaplayarak bir sonraki katmana girdi değeri olarak gönderir. Bu işlem her bir katmanda tekrarlanarak işlem sonuçlandırılır. Giriş katmanı ile çıkış katmanı arasındaki katmanlara gizli katmanlar denir. Uygulamalarda genellikle bir veya iki gizli katman kullanmak yeterli olmaktadır. Şekil 3.6.'da ileri beslemeli ağlara örnek olarak bir ve iki katmanlı ağ yapıları görülmektedir. Geri beslemeli ağlarda ise her katmanın girişleri bir önceki katmanın çıktıları tarafından etkilenebilir. Bununla birlikte kendi kendine geri beslemeye müsaade edilir.



Şekil 3.6. Bir ve İki Katmanlı İleri Beslemeli Ağlar

### 3.3. Bulanık Mantık

Matematiksel olarak modellenmesi zor veya imkânsız olan problemlerin çözümünde genellikle bir uzman kişinin bilgi ve deneyimlerinden yararlanılma yoluna gidilir. Uzman kişi az, çok, pek az, pek çok gibi günlük hayatta çok sık kullanılan dilsel

niteleyiciler doğrultusunda bir denetim gerçekleştirir. Bu dilsel ifadeler doğru bir şekilde bilgisayara aktarılırsa hem uzman kişiye ihtiyaç kalmamakta hem de uzman kişiler arasındaki denetim farklılıkları ortadan kalkmaktadır.

Bulanık mantık için matematiğin gerçek dünyaya uygulanması denilebilir. Çünkü gerçek dünyada her an değişen durumlarda değişik sonuçlar çıkabilir. Sözel ifadelerin matematiksel bir temele dayanılarak bilgisayara aktarılması “bulanık kümeler kuramı” olarak adlandırılır. Bulanık mantık bilinen klasik mantık gibi (0,1) olarak iki seviyeli değil [0,1] aralığında çok seviyeli işlemleri ifade etmektedir. Örneğin odadaki klimanın motorunun otomatik olarak değil de bir insan tarafından denetlendiğini varsayalım. Oda sıcaklığı biraz artarsa işletmen motorun hızını biraz artıracaktır. Oda sıcaklığı çok düşerse motorun hızını çok düşürecektir. Burada kullanılan biraz, çok terimleri dilsel ifadeler olup “bulanık değişkenler” olarak adlandırılırlar.

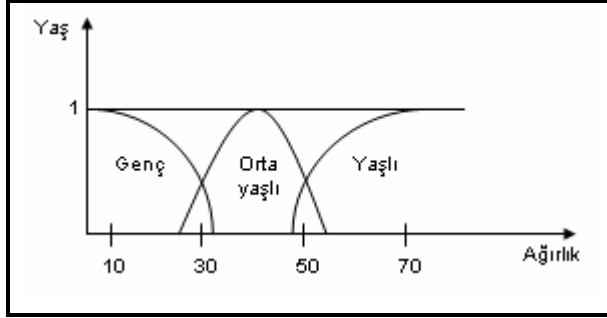
Bulanık mantığın genel özellikleri şu şekilde ifade edilebilir:

- Bulanık mantıkta kesin değerlere dayanan düşünme yerine yaklaşık düşünme kullanılır
- Bulanık mantıkta her şey [0,1] aralığında belirli bir derece ile gösterilir
- Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi dilsel terimler şeklindedir
- Bulanık çıkarım işlemi dilsel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır
- Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir
- Bulanık mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur
- Bulanık mantık tam olarak bilinmeyen veya eksik girilen bilgilere göre işlem yapma yeteneğine sahiptir. Elmas, (2003)

### 3.3.1. Bulanık Kümeler

Bulanık kümeler, doğal dildeki belirsiz ve bulanık kavramların temsil edilebilmesini ve onların matematiksel olarak ifade edilebilmesini mümkün kılmaktadırlar. Yani klasik küme yaklaşımının tersine her değişken verilen kümede belirli bir üyelik derecesine sahiptir. Örneğin 35 yaşındaki bir insana orta yaşlı denmeyeceği gibi o kişi genç de sayılmaz. Bu göreceli bir durumdur. İşte bulanık kümeler Şekil 3.7.’de de gösterildiği

gibi böyle esnek bir düşünüşe imkân sağlar. Kümelerin birbirinden keskin olarak ayrılmaması, aralarında belirli bir örtüşüm olması 35 yaşın bir oranda hem orta yaşlı hem genç olarak düşünülmesine imkân verir.



Şekil 3.7. Bulanık küme örneği

İkinci bir örnek daha verilecek olursa Şekil 3.8.'de “3 e yakın reel sayılar kümesi”ni temsil eden değişik üyelik fonksiyonlarına ait gösterimler sunulmuştur. Bulanık kümelerin kullanışlılığı, farklı kavramlara uygun üyelik derecesi fonksiyonlarını oluşturabilme becerisiyle yakından ilgilidir. Şekilde de görüldüğü gibi fonksiyonlar 3’de en yüksek üyelik derecesini ve 3’ün her iki tarafında simetrik bir şekil almaktadır. Bulanık kümeler üzerine kurulan matematiksel yapı, klasik matematikten daha fazla açıklayıcı bir güce sahip olmasına rağmen kullanılabilirliği uygulama alanlarında karşımıza çıkan kavramlar için uygun üyelik fonksiyonlarının inşa edilmesine bağlıdır. Duran (2004)

### 3.3.2. Bulanık Çıkarım

Klasik mantıkta, verilen önermelerden bir sonuca varmaya çıkarım denmektedir. Klasik mantıkta önermeler kesin ve açıktır. Çıkarım ise önermelerin birbiri ile tam olarak uyduğu zaman yapılabilir. Örneğin;

Önerme: Kuşlar uçar

Önerme: Şahin bir kuştur

Çıkarım: Şahin uçar

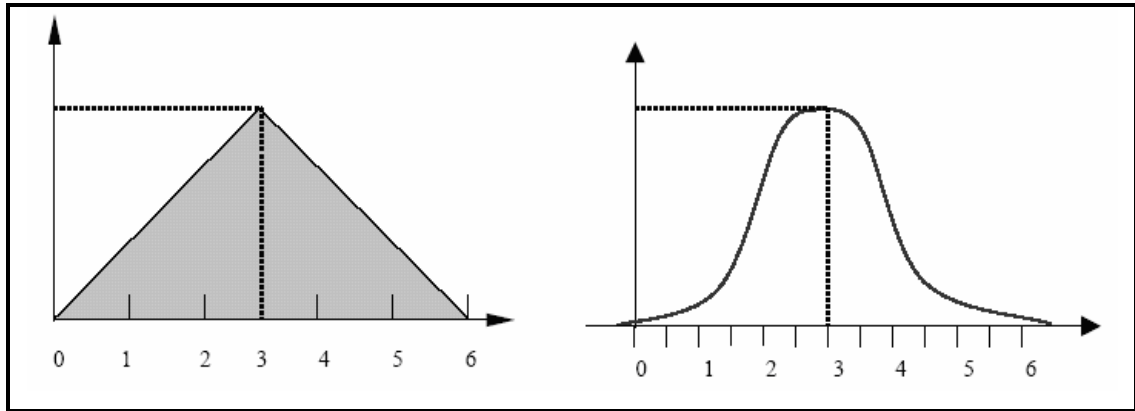
Bulanık sistemlerde girişler orta, soğuk, yüksek gibi dilsel değişkenlerden oluştuğundan dolayı; bu girişler hakkında sonuca varma ve karar verme ancak EĞER – O HALDE (IF– THEN) türünden kuralların uygulanması ile mümkündür. Örneğin;

Bilgi: Hava çok soğuksa çok sıkı giyinirim

Gerçek: Hava biraz soğuk

Çıkarım: Biraz sıkı giyin

Bu örnekten de anlaşılacağı gibi eldeki gerçeğin verilen bilgiden biraz farklı olması bulanık çıkarımda bir problem teşkil etmemektedir. Elmas (2003)



Şekil 3.8. “3’e Yakın Reel Sayılar” Kümesinin Değişik Üyelik Fonksiyonlarıyla Gösterimi (Duran 2004)

### 3.4. Sinirsel Bulanık Mantık

*Bulanık Mantık (BM), Yapay Sinir Ağları (YSA), Genetik Algoritmalar (GA) ve Uzman Sistemler (US)* gibi *Yapay Zekâ* tekniklerinin her birinin kendine özgü yönleri bulunmaktadır. Örneğin YSA; öğrenme, örnekleri tanımda iyi sonuçlar verirken kararların nasıl alındığı konusunda o kadar başarılı değildir. BM ise karar almada çok iyi sonuçlar verirken, karar alma sürecindeki kural oluşturmayı kendiliğinden gerçekleştiremez.

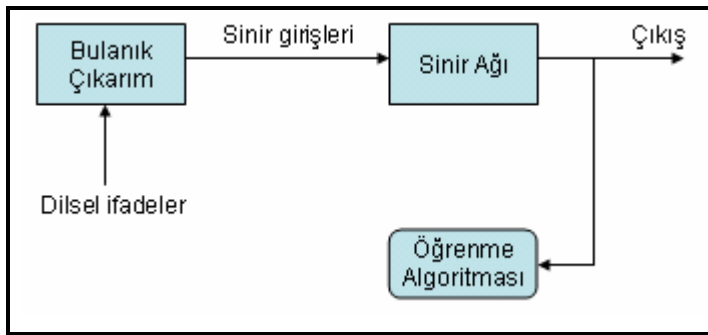
Sinirsel bulanık mantık yaklaşımı, yapay sinir ağlarının öğrenme yeteneği, en uygunu bulma ve bağlantılı yapılar gibi özellikleri ile bulanık mantığın insan gibi karar verme ve uzman bilgisi sağlama kolaylığı gibi özelliklerinin birleştirilmesi fikrine dayanmaktadır.

Modern sinirsel bulanık sistemler genellikle ileri beslemeli çok katmanlıdır. Son yıllarda araştırmacılar tarafından ANFIS, FALCON, FuNe, RuleNet, GARIC, NEFCLASS, NEFCON, NEFPROX diye adlandırılan sinirsel bulanık sistemler kullanılmaktadır. Elmas (2003)

### 3.4.1. Sinirsel bulanık mantık ağ yapıları

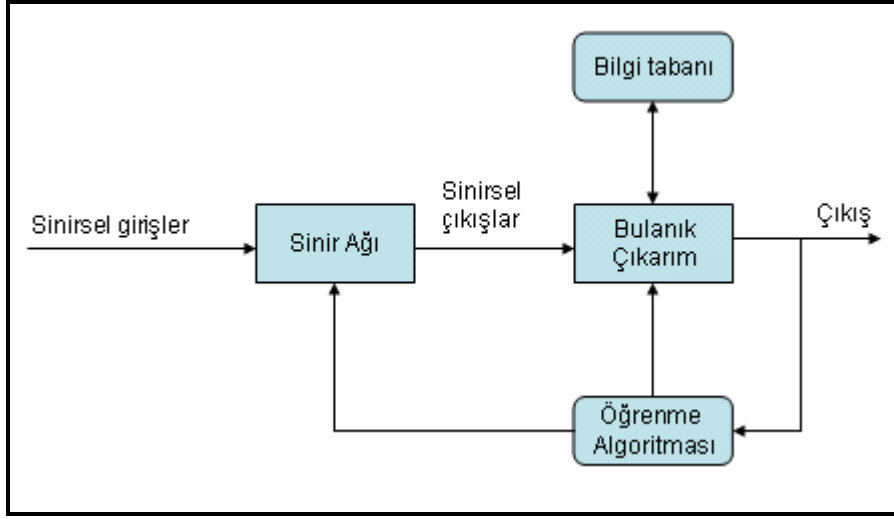
Bulanık mantıkta uzman bilgilerinden oluşturulan kurallar dilsel ifadelerle gösterilebilseler de genellikle tasarım deneme yanılma yöntemiyle yapıldığından uzun zaman almaktadır. Sinirsel bulanık mantıkta ise sinir ağları bulanık mantık sistemlerinin karar verme mekanizmasının üyelik işlevlerini uyarlayarak süreci hızlandırır.

Sinirsel bulanık mantık ağları temel olarak iki yapıdan oluşmaktadır. Bulanık çıkarımın dilsel ifadelerle oluşturduğu çıkışların, çok katmanlı sinir ağına giriş vektörü olarak verildiği ağ yapısı Şekil 3.9.'da gösterilmiştir. Elmas (2003)



Şekil 3.9. Sinirsel Bulanık Mantık Sisteminin Birinci Yapısı

Çok katmanlı sinir ağı çıkışlarının bulanık çıkarım mekanizmasına sürüldüğü ağ yapısı da Şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Sinirsel Bulanık Mantık Sisteminin İkinci Yapısı

### 3.4.2. Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

Açık olarak uyarlamalı ağlara dayanan bulanık çıkarım sistemi veya uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi anlamına gelen ANFIS ismi Adaptive Neuro Fuzzy Inference System özgün isminin baş harflerinden oluşmuştur. ANFIS'in bazı üstün özellikleri aşağıda verilmiştir. Elmas (2003)

- Öğrenme yeteneği
- Paralel işlem
- Yapılandırılmış bilgi temsili
- Diğer tasarım yöntemleriyle daha iyi bütünleşme

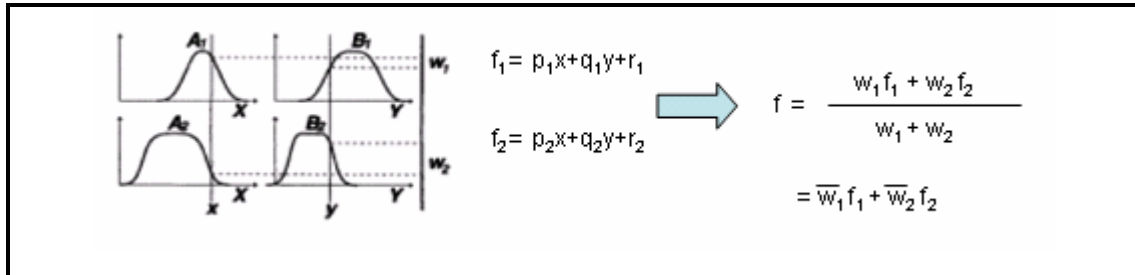
Bulanık sistemlerde bilgi tabanı sistem giriş ve çıkışları arasındaki ilişkilerden oluşturulan bulanık kurallar ile sağlanmaktadır. Üyelik fonksiyonunun şekli, grup parametrelerine ve bu parametrelerin değişimine bağlıdır. İnsan tecrübe ve bilgisinin bulanık çıkarım sistemlerinin model yapısına ve kural tabanına çevrilebilmesi için standart bir metot yoktur. Bu yüzden uyarlamalı ağ yapıları kullanılmaktadır. Uyarlamalı bir ağ tipi mimari girişlerin, giriş üyelik fonksiyonlarını birleştiren parametrelerin ve çıkış üyelik fonksiyonlarını birleştiren parametrelerin haritasını çıkarmaktadır.

Uyarlamalı ağlar ile ilişkili öğrenme kurallarının kullanılması ile üyelik fonksiyonları ile parametreler birleştirilir. Böylece üyelik fonksiyonları bilinen sistem giriş-çıkışları ile tanımlanan modelin öğrenilmesi için otomatik olarak düzenlenir. ANFIS'in üyelik fonksiyonlarının ayarlanması ve hatalı ölçümlerin minimuma indirgenmesi için etkili bir teknik olduğu kanıtlanmıştır. Şekil 3.11.'de Sugeno sistem için mantık mekanizması ve Şekil 3.12.'de ise eşdeğer ANFIS mimari yapısı gösterilmektedir. Şekil 3.12'de iki girişli, iki kurallı ve bir çıkışlı birinci dereceden Sugeno bulanık çıkarımlı sistem için ANFIS mimari yapısı görülmektedir. Her bir giriş değişkeni iki üyelik fonksiyonuna bölünmüştür. İki adet kural aşağıda verilmiştir:

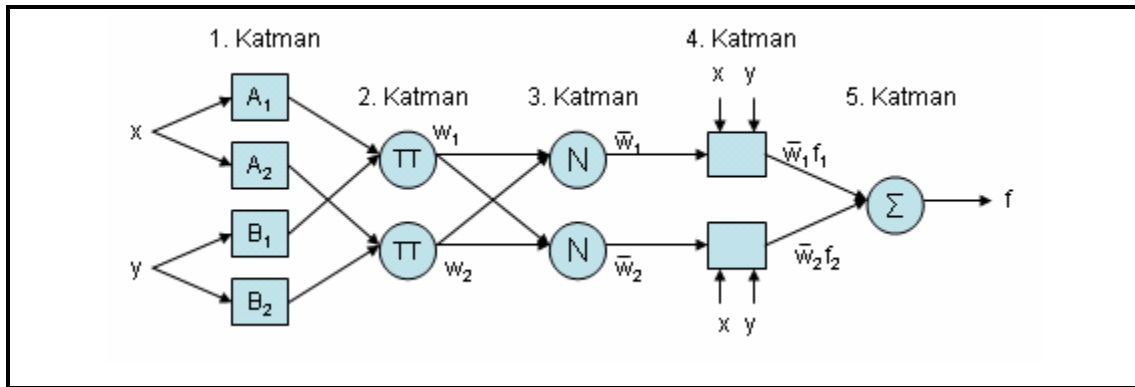
**1. Kural : IF x is  $A_1$  AND y is  $B_1$  THEN  $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$**

**2. Kural : IF x is  $A_2$  AND y is  $B_2$  THEN  $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$**

Aynı katmanların benzer fonksiyonlara sahip oldukları kabul edilmiştir. Köklükaya (2003)



Şekil 3.11. İki Girişli Birinci Dereceden Sugeno Bulanık Sistem Modeli



Şekil 3.12. İki Girişli Birinci Dereceden Sugeno Bulanık Sistem Modeline Eşdeğer ANFIS Mimari Yapısı

## **BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **4.1. Giriş**

Literatürde yer alan çalışmalarda da görüldüğü gibi araştırmacılar alın kaynakları üzerinde inceleme yapmışlardır. Bu çalışmalar, her ne kadar kaynak parametrelerinin kaynak dikiş geometrisi üzerindeki etkisi hakkında genel bir hüküm verse de bağlantı tipinin değişmesiyle birlikte bu etkide de değişim olacağı açıktır. Bu bakımdan bu çalışmada farklı kalınlıktaki parçaların köşe kaynağı esas alınmıştır.

### **4.2. Deneysel Çalışmanın Amacı**

Dikiş geometrisine en fazla etki eden parametrelerden akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızına ait belirlenen değer aralıklarındaki tüm kombinasyonlara ait kaynak işlemlerinin yapılarak bahsi geçen bu parametrelerin optimum seviyelerinin bulunması bu çalışmanın amacıdır. Diğer parametreler sabit tutulmuştur.

### **4.3. Deney Şartları**

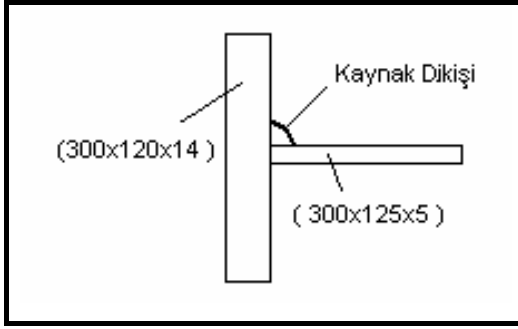
#### **4.3.1. Bağlantı formu**

Deneysel çalışmada biri 14 mm. diğeri 5 mm. kalınlığında olan iki parça “T bağlantı formu üzerinde tek pasolu iç köşe kaynağı” yapılarak birleştirilmiştir (Şekil 4.1).

#### **4.3.2. Esas metal**

Deneysel çalışma esnasında Tablo 4.1.’de kimyasal analizi verilen St52-3 çelik malzeme kullanılmıştır.





Şekil 4.1. Bağlantı Formu

Tablo 4.1. Kaynak İşlemi İçin Kullanılan Esas Metalin Kimyasal Bileşimi

| C    | Mn   | Si   | P     | S     | Cr   | Ni   | Mo   | V     |
|------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|
| 0.20 | 1.29 | 0.20 | 0.022 | 0.039 | 0.04 | 0.09 | 0.01 | 0.002 |

### 4.3.3. Kaynak teli

Deneysel çalışmada kullanılan kaynak telinin cinsi “Geka S2” olup çapı 3,2 mm.dir. Ayrıca serbest tel uzunluğu yaklaşık 30 mm’dir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Kaynak İşlemi İçin Kullanılan Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi

| C    | Si  | Mn | P          | S          | Cu         |
|------|-----|----|------------|------------|------------|
| 0,12 | 0,1 | 1  | max. 0,025 | max. 0,025 | <0,30 coat |

### 4.3.4. Kaynak tozu

Deneysel çalışmada kullanılan kaynak tozunun cinsi “Lincoln 761”dir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. Kaynak İşlemi İçin Kullanılan Kaynak Tozunun Karakteristikleri

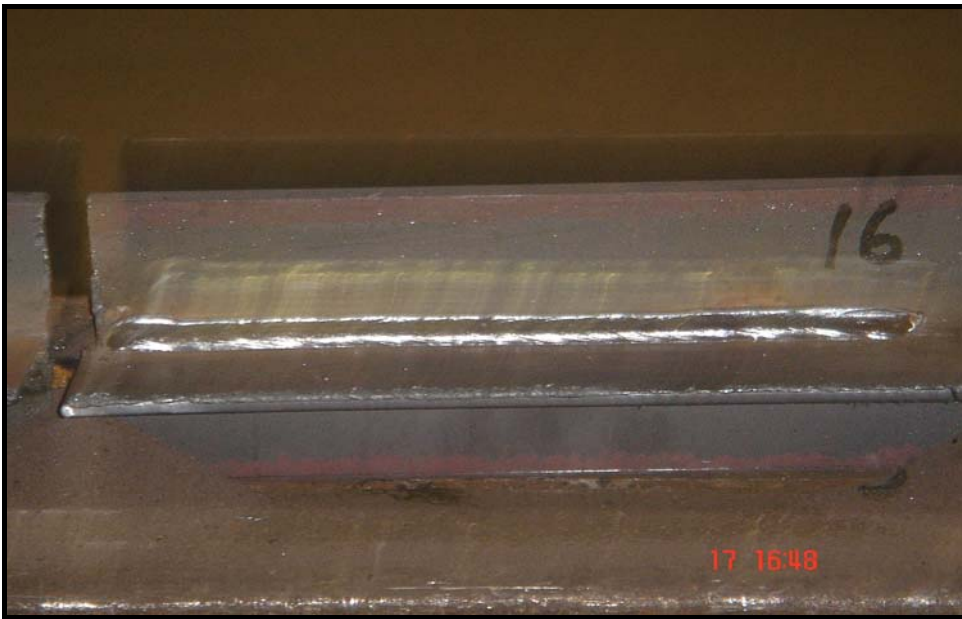
|                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| Maksimum Akım (tek tel) | 800 amper              |
| Akım Türü               | AC / DC (+)            |
| Baziklik (Boniszewski)  | 1                      |
| Katılaşma Hızı          | Düşük                  |
| Yoğunluk                | 1.25 g/cm <sup>3</sup> |
| Tane Boyutu             | 1-16                   |

#### 4.3.5. Kaynak makinesi

Kaynak işlemlerinin yapıldığı tozaltı kaynak makinesi ve kaynağı yapılan bir parça Şekil 4.2., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Deneyin Yapıldığı Tozaltı Kaynak Makinesi



Şekil 4.3. Kaynağı Yapılan 16 Nolu Parça



Şekil 4.4. Deneyin Yapıldığı Tozaltı Kaynak Makinesi (Kaynak Esnasında)

#### 4.3.6. Karbon eşdeğerinin hesaplanması

Kaynak işlemi sırasında, kaynak yapılan bölge hızlı bir ısınma ve soğumaya maruz kalmaktadır. Bu durumun malzeme üzerindeki olumsuz etkisini gidermek amacıyla malzemenin metalürjik özelliklerine uygun ısıl işlemler yapılmaktadır. Bunlardan bir kısmı kaynak işleminden önce uygulanır. Kaynak işleminden önce uygulanan ısıl işlemlerden birisi ön tavlama işlemidir. Malzemenin ön tava tutulup tutulmayacağına karar verebilmek için karbon eşdeğeri hesaplanır. Karbon eşdeğerinden çıkan sonuca göre ön tavlama sıcaklıkları Tablo 4.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Karbon Eşdeğeri ve Ön Tavlama Sıcaklıkları

| Karbon Eşdeğeri (%) | Ön Tavlama Sıcaklığı (oC) |
|---------------------|---------------------------|
| 0.45 ' e kadar      | Ön tav gereksiz           |
| 0.45 – 0.60         | 100 – 200                 |
| 0.60 ' dan yukarı   | 200 – 350                 |

Karbon eşdeğerini çeşitli araştırmacılar değişik şekillerde belirtmişlerdir. Şimdiye kadar 25'den fazla karbon eşdeğeri formülü ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada aşağıdaki formül kullanılmıştır. Albayrak (1997)

H. Kihara, H. Suziki ve H. Tamuraya göre karbon eşdeğeri formülü;

$C_{eş} = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/15 + Cr/5 + Mo/4 + V/2$  'dir. Buna göre;

$C_{eş} = 0.20 + 1.29/6 + 0.20/24 + 0.09/15 + 0.04/5 + 0.01/4 + 0.002/2$

$C_{eş} = 0.44 < 0.45$  olduğundan ön tavlama yapmaya gerek görülmemiştir.

#### 4.4. Deney Seti

##### 4.4.1. Parametre seviyeleri

Deneyde kaynak parametreleri olarak dikiş geometrisi üzerinde en fazla etkiye sahip olan akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızı esas alındı. Diğer parametreler ise sabit tutuldu. Teorik ve pratik bilgilerin ışığında akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızının alabileceği alt ve üst limitler belirlendi. Belirlenen parametre seviyeleri Tablo 4.5.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Parametre Seviyeleri

| Parametre | 1. Seviye | 2. Seviye | 3. Seviye | 4. Seviye | 5. Seviye |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Gerilim   | 24        | 30        | 36        | -         | -         |
| Akım      | 200       | 300       | 400       | 500       | -         |
| Hız       | 30        | 40        | 50        | 60        | 70        |

##### 4.4.2. Deney setinin hazırlanması

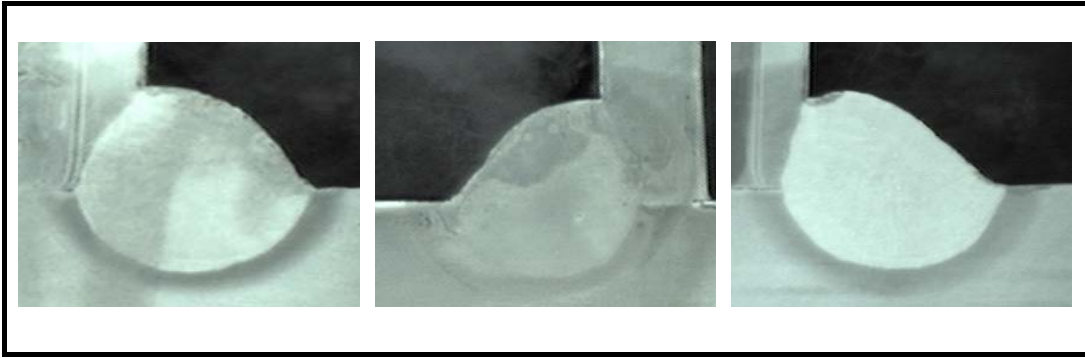
Belirlenen seviyelere göre parametrelerin arasındaki tüm kombinasyonları içeren bir deney seti hazırlandı (Tablo 4.6.).

Tablo 4.6. Deney Seti

| Deney No | Akım Şiddeti ( I ) | Ark Gerilimi ( V ) | Kaynak Hızı ( S ) | Deney No | Akım Şiddeti ( I ) | Ark Gerilimi ( V ) | Kaynak Hızı ( S ) |
|----------|--------------------|--------------------|-------------------|----------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 1        | 200                | 24                 | 30                | 31       | 400                | 24                 | 30                |
| 2        | 200                | 24                 | 40                | 32       | 400                | 24                 | 40                |
| 3        | 200                | 24                 | 50                | 33       | 400                | 24                 | 50                |
| 4        | 200                | 24                 | 60                | 34       | 400                | 24                 | 60                |
| 5        | 200                | 24                 | 70                | 35       | 400                | 24                 | 70                |
| 6        | 200                | 30                 | 30                | 36       | 400                | 30                 | 30                |
| 7        | 200                | 30                 | 40                | 37       | 400                | 30                 | 40                |
| 8        | 200                | 30                 | 50                | 38       | 400                | 30                 | 50                |
| 9        | 200                | 30                 | 60                | 39       | 400                | 30                 | 60                |
| 10       | 200                | 30                 | 70                | 40       | 400                | 30                 | 70                |
| 11       | 200                | 36                 | 30                | 41       | 400                | 36                 | 30                |
| 12       | 200                | 36                 | 40                | 42       | 400                | 36                 | 40                |
| 13       | 200                | 36                 | 50                | 43       | 400                | 36                 | 50                |
| 14       | 200                | 36                 | 60                | 44       | 400                | 36                 | 60                |
| 15       | 200                | 36                 | 70                | 45       | 400                | 36                 | 70                |
| 16       | 300                | 24                 | 30                | 46       | 500                | 24                 | 30                |
| 17       | 300                | 24                 | 40                | 47       | 500                | 24                 | 40                |
| 18       | 300                | 24                 | 50                | 48       | 500                | 24                 | 50                |
| 19       | 300                | 24                 | 60                | 49       | 500                | 24                 | 60                |
| 20       | 300                | 24                 | 70                | 50       | 500                | 24                 | 70                |
| 21       | 300                | 30                 | 30                | 51       | 500                | 30                 | 30                |
| 22       | 300                | 30                 | 40                | 52       | 500                | 30                 | 40                |
| 23       | 300                | 30                 | 50                | 53       | 500                | 30                 | 50                |
| 24       | 300                | 30                 | 60                | 54       | 500                | 30                 | 60                |
| 25       | 300                | 30                 | 70                | 55       | 500                | 30                 | 70                |
| 26       | 300                | 36                 | 30                | 56       | 500                | 36                 | 30                |
| 27       | 300                | 36                 | 40                | 57       | 500                | 36                 | 40                |
| 28       | 300                | 36                 | 50                | 58       | 500                | 36                 | 50                |
| 29       | 300                | 36                 | 60                | 59       | 500                | 36                 | 60                |
| 30       | 300                | 36                 | 70                | 60       | 500                | 36                 | 70                |

#### 4.5. Kaynak Dikişlerinin Makro Fotoğrafları

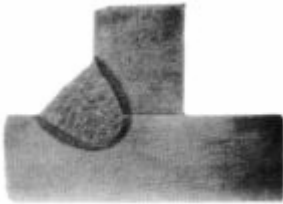


Hazırlanan deney seti doğrultusunda kaynak işlemleri yapıldıktan sonra parçalar testereyle kesilerek kaynak bölgesinden numuneler alınmıştır. Bu numuneler, kaynak bölgesinin yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak bir takım yüzey parlatma işlemlerine tabi tutulmuştur. Sırasıyla 200 – 400 –600 – 800 ve 1000 su zımparaları ile parlatma tezgâhında zımparalanarak elmas pastalı keçe ile yüzeyleri parlatılmıştır. Daha sonra %2 Nital çözeltisi hazırlanarak kaynak dikişinin farklı bölgelerini görebilmek için dağlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Daha sonra stereo mikroskopta makro fotoğrafları dijital fotoğraf makinesi ile çekilmiştir (Şekil 4.5.).



Şekil 4.5. Bazı Deneylere Ait Makro Fotoğraflar

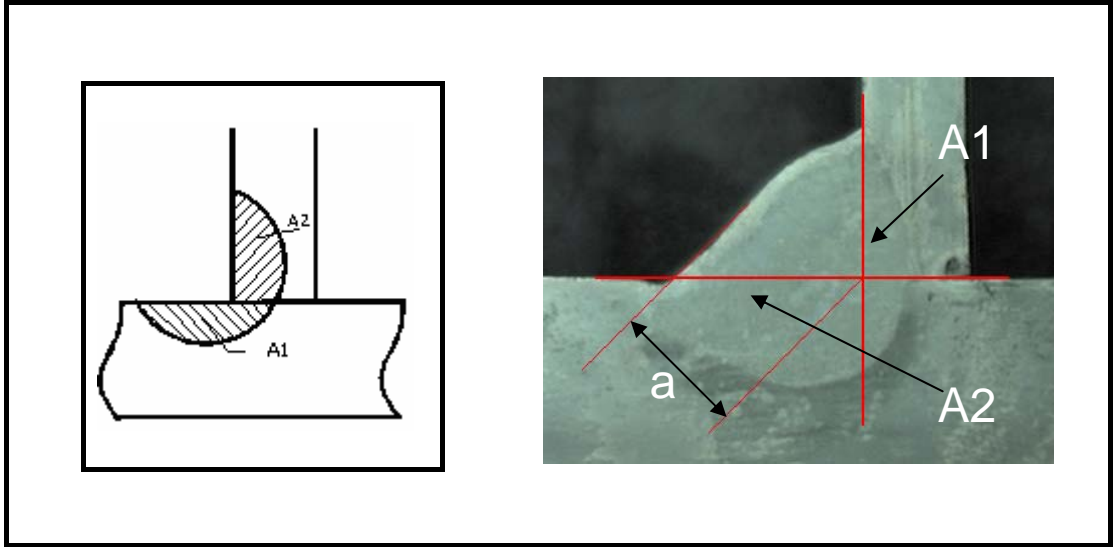
#### 4.6. Dikiş Geometrisinin Ölçülmesi

Yapılan kaynak işlemleri sonucu oluşan kaynak dikiş geometrisine ait makro fotoğraflar incelenerek uygun olmayan deneyler elimine edilmiştir. Şekil 4.6.'da makro fotoğraflarına göre bir kaynağın değerlendirilmesi gösterilmiştir.

| UYGUN   | HATALI  | HATALI  |
|---|---|---|
|  |  |  |
| KONVEKS   | YANMA OLUĞU   | KONKAV  |

Şekil 4.6. Örnek Makro Fotoğraflar

Hatalı kaynakların setten çıkarılmasından sonra modellemeye temel teşkil edecek deneylerin sayısı 31 olarak belirlenmiştir. Kaynak dikiş geometrisinin şematik ve gerçek gösterimleri Şekil 4.7.'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Kaynak Kalınlığı (a), Nüfuziyet Alanı 1(A1) ve Nüfuziyet Alanı 2 (A2)'nin ölçülmesi suretiyle incelenmiştir.



Şekil 4.7. Dikiş Geometrisi ve Nüfuziyet Alanları

#### 4.6.1. Alanların ölçülmesi

Öncelikle nüfuziyet alanlarının sınırları üzerinde ki bazı noktaların koordinatları belirlendi. Sonra bu noktalardan geçen eğriler saptandı. Daha sonra bu eğrileri dolayısıyla nüfuziyet alanlarını tanımlayan denklemler bulundu. Bu denklemlerin integrallerinin alınması suretiyle de nüfuziyet alanları ölçüldü.

Nüfuziyet alanlarını sınırlayan eğriler Excel programında oluşturulmuş ve elde edilen eğrilerin integralleri MATLAB programında çözülmüştür.

Örneğin 1. Makro'ya ait Nüfuziyet Alanı 1 (A1)'i sınırlayan eğrinin denklemi (Şekil 4.8.);

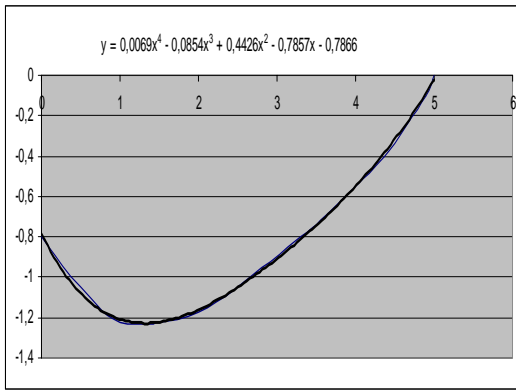
$$y = -0,0109 x^5 + 0,161 x^4 - 0,892 x^3 + 2,3335 x^2 - 2,6859 x - 0,1734$$

ve Nüfuziyet Alanı 2 (A2)'yi sınırlayan eğrinin denklemi de (Şekil 4.9);

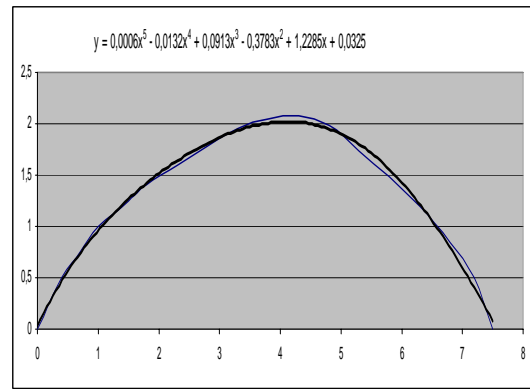
$$y = 0,0006 x^5 - 0,0132 x^4 + 0,0913 x^3 - 0,3783 x^2 + 1,2285 x + 0,0325 \text{ 'dir.}$$

Bu denklemlerin MATLAB programında integralleri alınarak nüfuziyet alanları hesaplanmıştır. Buna göre Şekil 4.10.'da da görüldüğü gibi

$A1 = 4,3438 \text{ mm}^2$  ve  $A2 = 8,9660 \text{ mm}^2$  olarak bulunmuştur.



Şekil 4.8. Makro 1: Alan 1 (A1)



Şekil 4.9. Makro 1: Alan 2 (A2)

```

MATLAB
File Edit Debug Desktop Window Help
C:\MATLAB7\work
Shortcuts How to Add What's New

To get started, select MATLAB Help or Demos from the Help menu.

>> syms x;
>> quadl(vectorize(0.0069*x^4 - 0.0854*x^3 + 0.4426*x^2 - 0.7857*x - 0.7866),0,5)

ans =

-4.3438

>> quadl(vectorize(0.0006*x^5 - 0.0132*x^4 + 0.0913*x^3 - 0.3783*x^2 + 1.2285*x + 0.0325),0,7.5)

ans =

8.9660

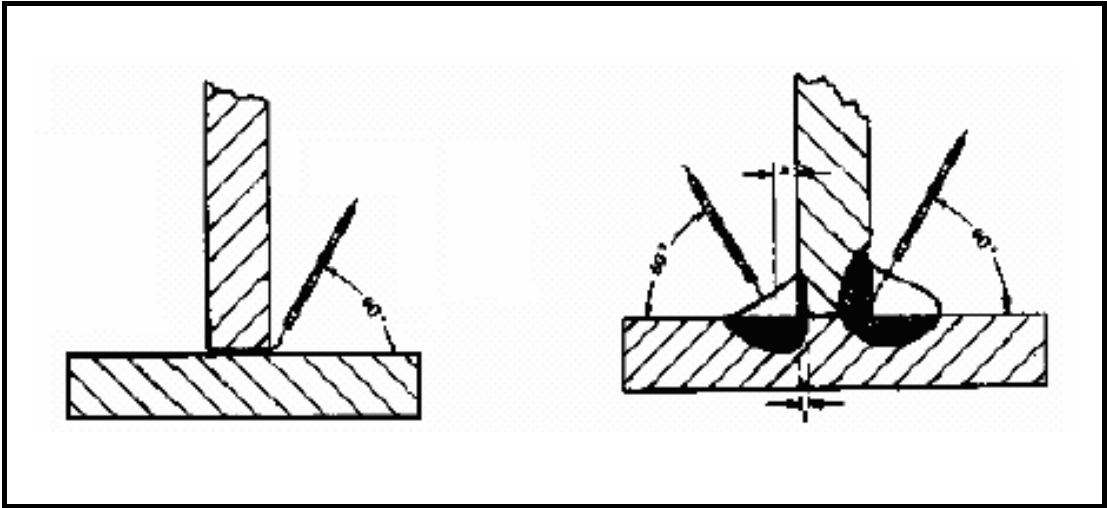
```

Şekil 4.10. Makro 1: (A1) ve (A2) İntegral Çözümü



#### 4.6.2. Geometri ölçümlerinden elde edilen sonuçlar

İç köşe birleştirmeleri oluk veya yatay pozisyonda yapılabilir. Oluk pozisyonunda iç köşe kaynağında parça kalınlıklarına bağlı olarak kaynak torcu, parçalara göre simetrik veya asimetrik pozisyonda olabilir. Böylece parça kalınlıklarına bağlı olarak her parçada değişik nüfuziyet elde edilmiş olur. Yatay pozisyonda kaynakta ise iki taraflı olarak kaynak yapma imkânı vardır. Eşit kalınlıkta levhaların kaynaklanmasında simetrik dikiş elde edilebilmesi için, kaynak teli ile yatay levha arasında  $60^\circ$  lik bir açı olmalıdır. (Şekil 4.11.) Damkaş (2003)



Şekil 4.11. Yatay Pozisyonda İç Köşe Kaynağında Simetrik Dikiş İçin Telin Parçalara Göre Durumu (Damkaş 2003)

Dolayısıyla kaynak torcuyla iş parçaları arasındaki açı nüfuziyet alanlarını doğrudan etkiler. Yatay pozisyonda kaynak yapılan bu çalışmada kaynak torcunun iş parçalarıyla arasındaki açının kayması nedeniyle A1 ve A2 alanlarına ait değerlerde bir uygunsuzluk ortaya çıkmıştır. Ancak modellemeyi güçleştiren bu problem iki alanın toplanmasıyla birlikte büyük ölçüde aşılmıştır. Bu yüzden modellemede esas alınacak kaynak parametreleri akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızı; çıkış parametreleri ise dikiş kalınlığı ve toplam alan (A1+A2)'dir.

Tablo 4.7.'de, deneyde kullanılan kaynak parametreleriyle (akım, gerilim ve hız) elde edilen çıkış parametreleri (dikiş kalınlığı ve toplam nüfuziyet alanı) gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Deney setinden elde edilen veriler

| Deney No | Kaynak Parametreleri |                |              | Çıkış Parametreleri |                                |                                |                     |
|----------|----------------------|----------------|--------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------|
|          | Akım (Amper)         | Gerilim (Volt) | Hız (cm/dak) | Kalınlık (mm)       | Alan 1 (A1) (mm <sup>2</sup> ) | Alan 2 (A2) (mm <sup>2</sup> ) | Toplam Alan (A1+A2) |
| 1        | 200                  | 24             | 30           | 5,02                | 4,34                           | 8,96                           | 13,31               |
| 4        | 200                  | 24             | 60           | 3,67                | 0,51                           | 7,29                           | 7,80                |
| 6        | 200                  | 30             | 30           | 5,31                | 3,20                           | 23,01                          | 26,21               |
| 7        | 200                  | 30             | 40           | 4,27                | 5,26                           | 22,91                          | 28,17               |
| 9        | 200                  | 30             | 60           | 3,74                | 1,72                           | 15,87                          | 17,60               |
| 10       | 200                  | 30             | 70           | 2,99                | 1,55                           | 14,42                          | 15,97               |
| 11       | 200                  | 36             | 30           | 5,44                | 10,60                          | 17,47                          | 28,07               |
| 16       | 300                  | 24             | 30           | 7,47                | 5,87                           | 48,12                          | 53,99               |
| 17       | 300                  | 24             | 40           | 6,79                | 10,45                          | 34,60                          | 45,05               |
| 18       | 300                  | 24             | 50           | 5,90                | 9,48                           | 34,61                          | 44,10               |
| 19       | 300                  | 24             | 60           | 4,04                | 1,28                           | 22,74                          | 24,02               |
| 20       | 300                  | 24             | 70           | 2,91                | 0,92                           | 19,94                          | 20,86               |
| 21       | 300                  | 30             | 30           | 6,57                | 13,36                          | 51,04                          | 64,41               |
| 22       | 300                  | 30             | 40           | 5,28                | 5,01                           | 72,17                          | 77,18               |
| 23       | 300                  | 30             | 50           | 4,88                | 5,43                           | 61,20                          | 66,63               |
| 25       | 300                  | 30             | 70           | 4,20                | 9,49                           | 39,23                          | 48,72               |
| 27       | 300                  | 36             | 40           | 6,15                | 10,85                          | 60,58                          | 71,43               |
| 29       | 300                  | 36             | 60           | 5,06                | 11,50                          | 42,69                          | 54,19               |
| 32       | 400                  | 24             | 40           | 7,98                | 4,73                           | 51,13                          | 55,86               |
| 33       | 400                  | 24             | 50           | 7,37                | 15,22                          | 37,55                          | 52,78               |
| 35       | 400                  | 24             | 70           | 6,55                | 8,28                           | 39,84                          | 48,13               |
| 36       | 400                  | 30             | 30           | 8,38                | 15,06                          | 113,80                         | 128,86              |
| 37       | 400                  | 30             | 40           | 7,10                | 7,85                           | 103,21                         | 111,07              |
| 40       | 400                  | 30             | 70           | 4,79                | 7,43                           | 55,21                          | 62,64               |
| 42       | 400                  | 36             | 40           | 7,39                | 11,43                          | 92,70                          | 104,14              |
| 44       | 400                  | 36             | 60           | 5,78                | 12,17                          | 58,36                          | 70,54               |
| 45       | 400                  | 36             | 70           | 5,11                | 9,90                           | 46,87                          | 56,77               |
| 52       | 500                  | 30             | 40           | 11,98               | 10,29                          | 106,65                         | 116,94              |
| 53       | 500                  | 30             | 50           | 11,42               | 9,44                           | 80,99                          | 90,43               |
| 54       | 500                  | 30             | 60           | 8,54                | 1,11                           | 81,20                          | 82,31               |
| 55       | 500                  | 30             | 70           | 7,22                | 7,81                           | 63,48                          | 71,29               |

## **BÖLÜM 5. DİKİŞ GEOMETRİSİNİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ**

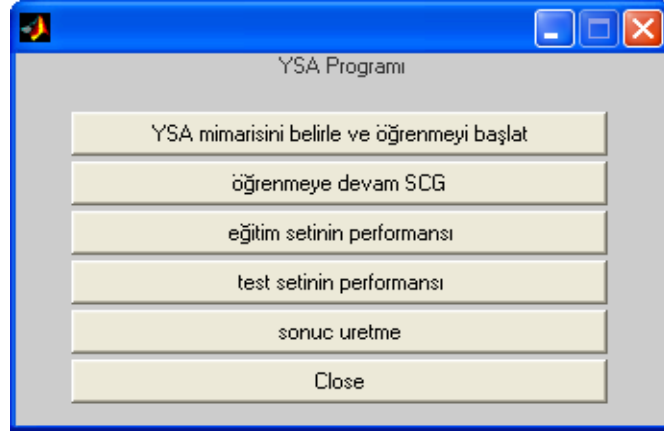
### **5.1. Giriş**

Kaynak prosesinde arzu edilen kaynak kalitesine ulaşmak için parametrelerin uygun değerlerinin tayini oldukça zordur. Bunun sebebi daha önce de belirtildiği gibi dikiş geometrisi ile kaynak parametreleri arasında lineer bir ilişkinin olmamasıdır. Diğer yandan arzu edilen kaynak kalitesine ulaşmak için, dikiş geometrisinin kontrol altına alınabilmesi gereklidir. Bu da ancak kaynak parametrelerinin en uygun değerlerinin bulunması yoluyla sağlanabilir. Günümüzde yapay zekâ teknolojilerinin kullanımıyla bahsedilen parametreler gibi aralarında doğrusal ilişkiler bulunmayan parametrelerden oluşan nonlinear ve kaotik sistem davranışlarının ya da proseslerin incelenmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışmada dikiş geometrisi, Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) kullanılarak modellendi ve her iki yapay zekâ yöntemiyle elde edilen sonuçlar mukayese edildi.

### **5.2. YSA ile Dikiş Geometrisinin Modellenmesi**

Tozaltı kaynak yönteminde dikiş geometrisinin YSA modellemesi, MATLAB programının YSA modülü kullanılarak yapıldı ve sistemin kolaylıkla uygulanabilmesi için Şekil 5.1.'de görülen arayüzden yararlanıldı. Bu programda Backpropagation algoritması tercih edilmiştir.

Giriş verileri kaynak parametreleri olan akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızından oluşmaktadır. Çıkış değişkenleri ise dikiş kalınlığı ve nüfuziyet alanıdır. Modelleme, çıkış değişkenleri ayrı ayrı ele alınarak yapılmıştır. Her iki çıkış değişkeninin modellemesinde de eğitim seti için 27, test seti için de 4 deney verisi kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Program Arayüzü

Dikiş kalınlığının modellenmesinde kullanılan eğitim ve test setleri Tablo 5.1. ve Tablo 5.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Dikiş Kalınlığı için Kullanılan Eğitim Seti

| No | Akım Şiddeti<br>(Amper/1000) | Ark Gerilimi<br>(Volt/100) | Kaynak Hızı<br>(mm/dak.100) | Kalınlık<br>(mm/100) |
|----|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1  | 0.2                          | 0.24                       | 0.3                         | 0.0502               |
| 2  | 0.2                          | 0.24                       | 0.6                         | 0.0367               |
| 3  | 0.2                          | 0.30                       | 0.3                         | 0.0531               |
| 4  | 0.2                          | 0.30                       | 0.4                         | 0.0427               |
| 5  | 0.2                          | 0.30                       | 0.6                         | 0.0374               |
| 6  | 0.2                          | 0.30                       | 0.7                         | 0.0299               |
| 7  | 0.2                          | 0.36                       | 0.3                         | 0.0544               |
| 8  | 0.3                          | 0.24                       | 0.3                         | 0.0747               |
| 9  | 0.3                          | 0.24                       | 0.4                         | 0.0679               |
| 10 | 0.3                          | 0.24                       | 0.6                         | 0.0404               |
| 11 | 0.3                          | 0.24                       | 0.7                         | 0.0291               |
| 12 | 0.3                          | 0.30                       | 0.3                         | 0.0657               |
| 13 | 0.3                          | 0.30                       | 0.5                         | 0.0488               |
| 14 | 0.3                          | 0.30                       | 0.7                         | 0.0420               |
| 15 | 0.3                          | 0.36                       | 0.4                         | 0.0615               |
| 16 | 0.3                          | 0.36                       | 0.6                         | 0.0506               |
| 17 | 0.4                          | 0.24                       | 0.4                         | 0.0798               |
| 18 | 0.4                          | 0.24                       | 0.5                         | 0.0737               |
| 19 | 0.4                          | 0.24                       | 0.7                         | 0.0655               |
| 20 | 0.4                          | 0.30                       | 0.4                         | 0.0710               |
| 21 | 0.4                          | 0.30                       | 0.7                         | 0.0479               |
| 22 | 0.4                          | 0.36                       | 0.4                         | 0.0739               |
| 23 | 0.4                          | 0.36                       | 0.6                         | 0.0578               |
| 24 | 0.4                          | 0.36                       | 0.7                         | 0.0511               |
| 25 | 0.5                          | 0.30                       | 0.4                         | 0.1198               |
| 26 | 0.5                          | 0.30                       | 0.5                         | 0.1142               |
| 27 | 0.5                          | 0.30                       | 0.7                         | 0.0722               |

Tablo 5.2. Dikiş Kalınlığı için Kullanılan Test Seti

| No | Akım Şiddeti<br>(Amper/1000) | Ark Gerilimi<br>(Volt/100) | Kaynak Hızı<br>(mm/dak.100) | Kalınlık<br>(mm/100) |
|----|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1  | 0.3                          | 0.24                       | 0.5                         | 0.0590               |
| 2  | 0.3                          | 0.3                        | 0.4                         | 0.0528               |
| 3  | 0.4                          | 0.3                        | 0.3                         | 0.0838               |
| 4  | 0.5                          | 0.3                        | 0.6                         | 0.0854               |

Nüfuziyet alanının modellenmesinde kullanılan eğitim ve test setleri de Tablo 5.3. ve Tablo 5.4.'de gösterilmiştir. Tablolardan da görüldüğü gibi akım ve nüfuziyet 1000; gerilim, hız ve kalınlık ise 100 ile bölünmüştür. Dolayısıyla modellemenin sonunda aynı oranlarla çarpılacaktır.

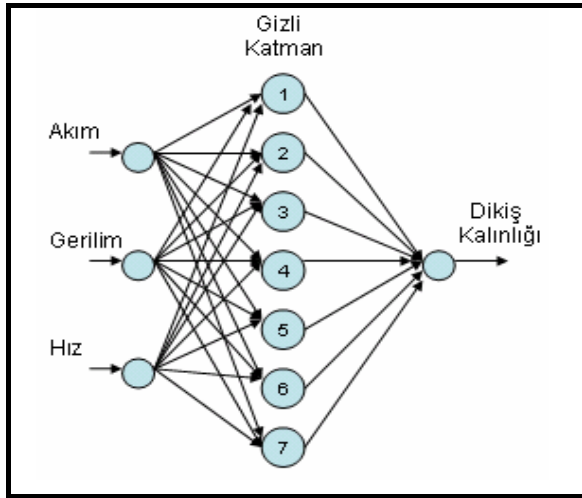
Tablo 5.3. Nüfuziyet Alanı için Kullanılan Eğitim Seti

| No | Akım Şiddeti<br>(Amper/1000) | Ark Gerilimi<br>(Volt/100) | Kaynak Hızı<br>(mm/dak.100) | Kalınlık<br>(mm/100) |
|----|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1  | 0.2                          | 0.24                       | 0.3                         | 0.3502               |
| 2  | 0.2                          | 0.24                       | 0.6                         | 0.6367               |
| 3  | 0.2                          | 0.3                        | 0.3                         | 0.3531               |
| 4  | 0.2                          | 0.3                        | 0.4                         | 0.4427               |
| 5  | 0.2                          | 0.3                        | 0.6                         | 0.6374               |
| 6  | 0.2                          | 0.3                        | 0.7                         | 0.7299               |
| 7  | 0.2                          | 0.36                       | 0.3                         | 0.3544               |
| 8  | 0.3                          | 0.24                       | 0.3                         | 0.3747               |
| 9  | 0.3                          | 0.24                       | 0.4                         | 0.4679               |
| 10 | 0.3                          | 0.24                       | 0.5                         | 0.5590               |
| 11 | 0.3                          | 0.24                       | 0.6                         | 0.6404               |
| 12 | 0.3                          | 0.24                       | 0.7                         | 0.7291               |
| 13 | 0.3                          | 0.3                        | 0.4                         | 0.4528               |
| 14 | 0.3                          | 0.3                        | 0.5                         | 0.5488               |
| 15 | 0.3                          | 0.3                        | 0.7                         | 0.7420               |
| 16 | 0.3                          | 0.36                       | 0.4                         | 0.4615               |
| 17 | 0.4                          | 0.24                       | 0.5                         | 0.5737               |
| 18 | 0.4                          | 0.24                       | 0.7                         | 0.7655               |
| 19 | 0.4                          | 0.3                        | 0.3                         | 0.3838               |
| 20 | 0.4                          | 0.3                        | 0.4                         | 0.4710               |
| 21 | 0.4                          | 0.3                        | 0.7                         | 0.7479               |
| 22 | 0.4                          | 0.36                       | 0.4                         | 0.4739               |
| 23 | 0.4                          | 0.36                       | 0.7                         | 0.7511               |
| 24 | 0.5                          | 0.3                        | 0.4                         | 0.5198               |
| 25 | 0.5                          | 0.3                        | 0.5                         | 0.6142               |
| 26 | 0.5                          | 0.3                        | 0.6                         | 0.6854               |
| 27 | 0.5                          | 0.3                        | 0.7                         | 0.7722               |

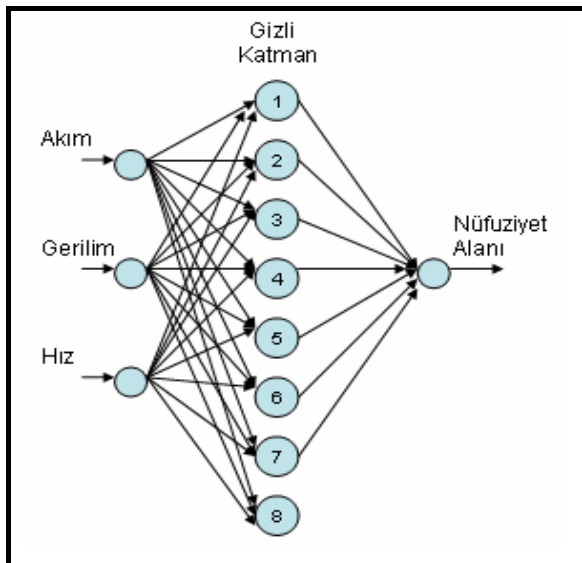
Tablo 5.4. Nüfuziyet Alanı için Kullanılan Test Seti

| No | Akım Şiddeti<br>(Amper/1000) | Ark Gerilimi<br>(Volt/100) | Kaynak Hızı<br>(mm/dak.100) | Kalınlık<br>(mm/100) |
|----|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1  | 0.3                          | 0.3                        | 0.3                         | 0.3657               |
| 2  | 0.3                          | 0.36                       | 0.6                         | 0.6506               |
| 3  | 0.4                          | 0.24                       | 0.4                         | 0.4798               |
| 4  | 0.4                          | 0.36                       | 0.6                         | 0.6578               |

Şekil 5.1.'deki arayüzden de görüldüğü gibi önce her iki çıkış değişkeni için ayrı ayrı YSA mimarileri belirlendi. Dikiş kalınlığı ve nüfuziyet alanı için kullanılan YSA mimarileri Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.'de gösterilmiştir.

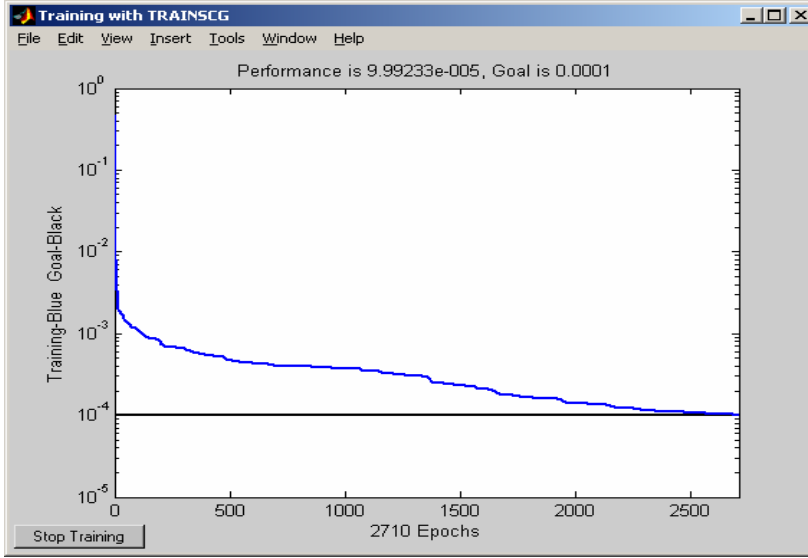


Şekil 5.2. Dikiş Kalınlığı için Kullanılan YSA Mimarisi



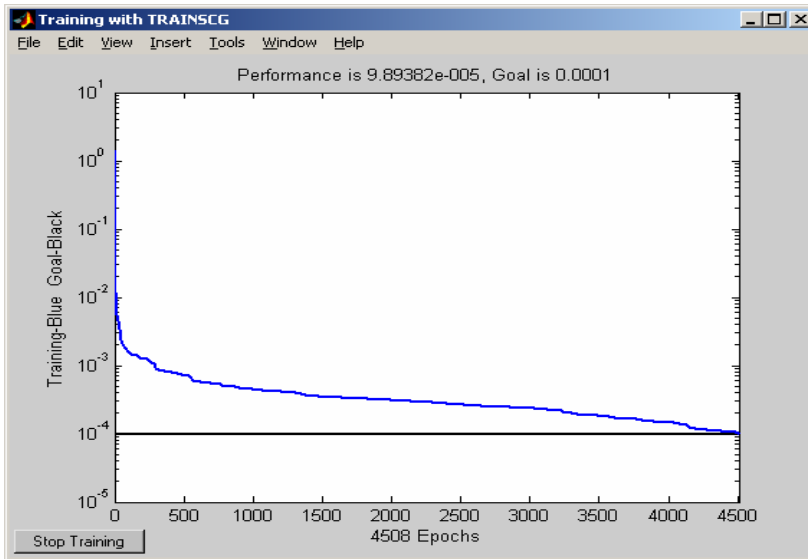
Şekil 5.3. Nüfuziyet Alanı için Kullanılan YSA Mimarisi

YSA mimarilerine ait şekillerden de görüldüğü gibi, dikiş kalınlığı için kullanılan mimarideki gizli katmanda 7 nöron ve nüfuziyet alanı için kullanılan mimarideki gizli katmanda 8 nöron vardır. Önce eğitim seti kullanılarak, modelin sistemi öğrenmesi sağlandı. Şekil 5.4.'de görüldüğü gibi, dikiş kalınlığı için 2710 iterasyon sonucunda öğrenme gerçekleşti.



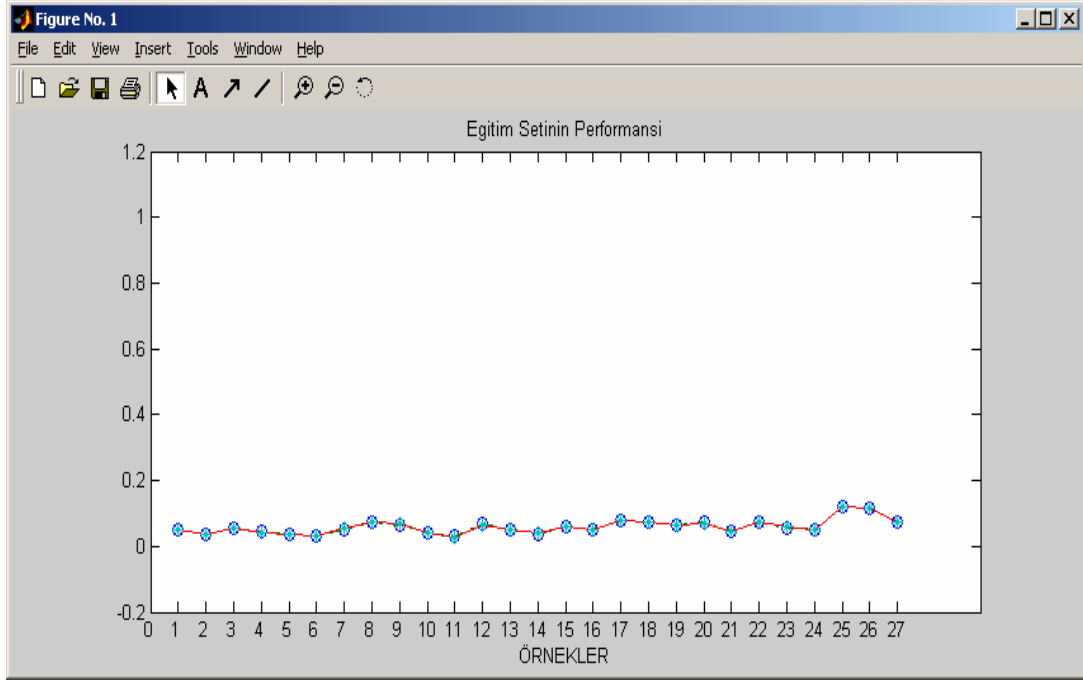
Şekil 5.4. Dikiş Kalınlığı için Modelin Sistemi Öğrenmesi

Sonra nüfuziyet alanı için modelin sistemi öğrenmesi amacıyla, modele 4508 iterasyon yaptırıldı ( Şekil 5.5.)

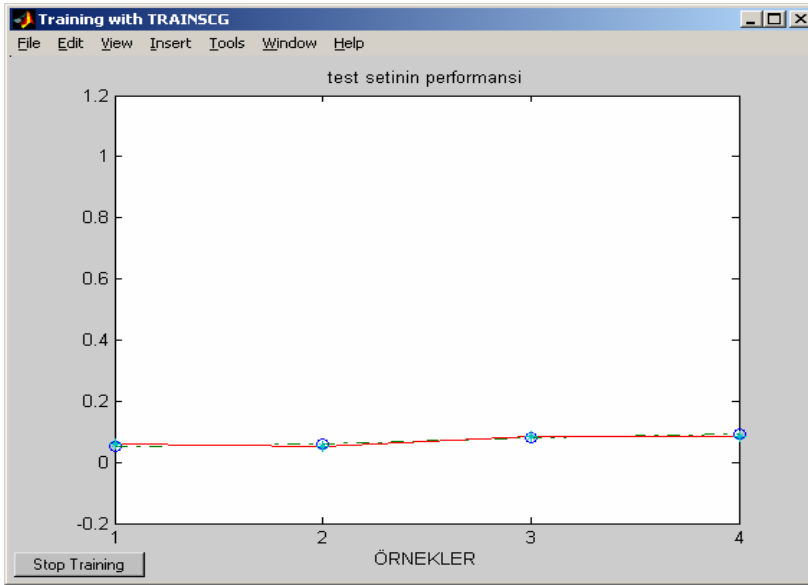


Şekil 5.5. Nüfuziyet Alanı için Modelin Sistemi Öğrenmesi

Buna göre kaynak kalınlığı için eğitim ve test setlerinin performansları Şekil 5.6. ve Şekil 5.7.'de gösterilmiştir.



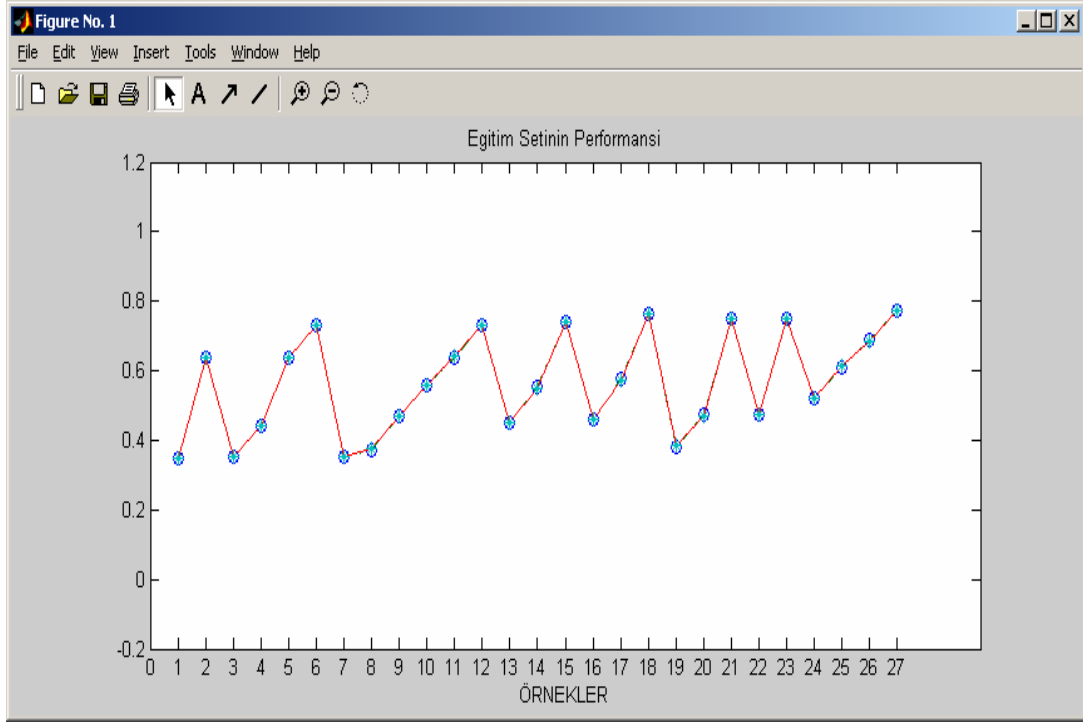
Şekil 5.6. Dikiş Kalınlığı için Eğitim Setinin Performansı



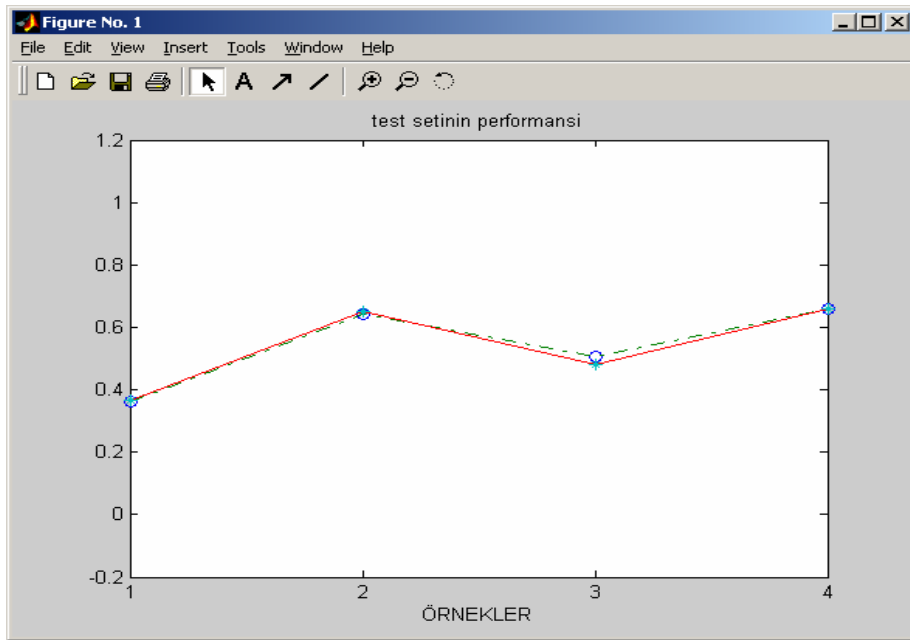
Şekil 5.7. Dikiş Kalınlığı için Test Setinin Performansı

Nüfuziyet alanı için eğitim ve test setlerinin performansları ise Şekil 5.8. ve Şekil 5.9.'da gösterilmiştir.





Şekil 5.8. Nüfuziyet Alanı için Eğitim Setinin Performansı



Şekil 5.9. Nüfuziyet Alanı için Test Setinin Performansı

Dikiş kalınlığı için oluşturulan modelin doğruluğunu göstermek amacıyla test setinde yer alan deney verilerinin bulunduğu ekran görüntüleri Şekil 5.10.'da gösterilmiştir. Şekil 5.10'da ki ekran görüntülerinde de görüldüğü gibi Tablo 5.5.'deki sonuçlar elde edilmiştir.

|   | 1        | 2       | 3        | 4        |
|---|----------|---------|----------|----------|
| 1 | 0.051287 | 0.05839 | 0.078478 | 0.093694 |

Şekil 5.10. Dikiş Kalınlığı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk Oranı

Tablo 5.5. Dikiş Kalınlığı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk Oranı

| No | Akım Şiddeti | Ark Gerilimi | Kaynak Hızı | Kalınlık (Deneysel) | Kalınlık (Teorik) | Hata Oranı | Ortalama Hata Oranı |
|----|--------------|--------------|-------------|---------------------|-------------------|------------|---------------------|
| 1  | 0.3          | 0.24         | 0.5         | 0.059               | 0.051             | 0.014      | 0.095               |
| 2  | 0.3          | 0.3          | 0.4         | 0.0528              | 0.058             | 0.090      |                     |
| 3  | 0.4          | 0.3          | 0.3         | 0.0838              | 0.078             | 0.070      |                     |
| 4  | 0.5          | 0.3          | 0.6         | 0.0854              | 0.093             | 0.081      |                     |

Nüfuziyet alanı için elde edilen verilerin doğruluğunu göstermek amacıyla test setinde yer alan deney verilerinin bulunduğu ekran görüntüleri Şekil 5.11.'de gösterilmiştir.

|   | 1       | 2       | 3      | 4       |
|---|---------|---------|--------|---------|
| 1 | 0.36219 | 0.64068 | 0.5047 | 0.65732 |

Şekil 5.11. Nüfuziyet Alanı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk Oranı

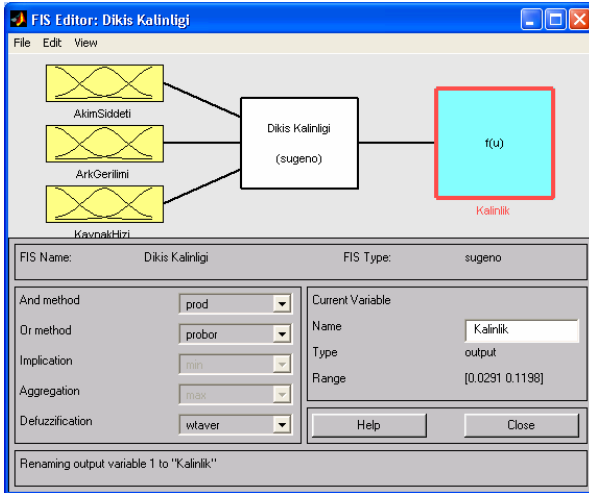
Şekil 5.11.'de de görüldüğü gibi nüfuziyet alanı için kullanılan test verilerinin doğrulukları ile ilgili Tablo 5.6.'daki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 5.6. Nüfuziyet Alanı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk Oranı

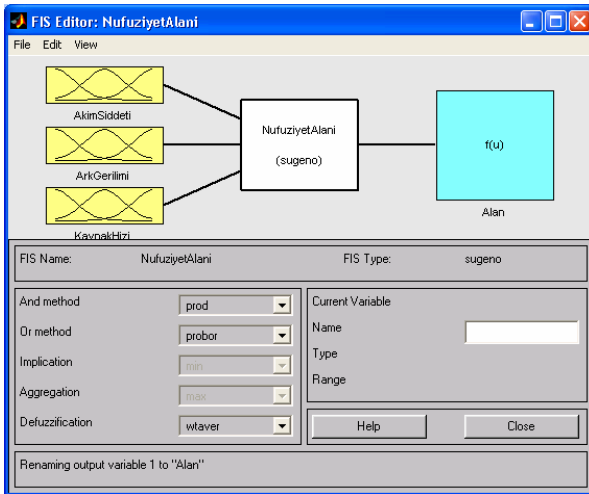
| No | Akım Şiddeti | Ark Gerilimi | Kaynak Hızı | Alan (Deneysel) | Alan (Teorik) | Hata Oranı | Ortalama Hata Oranı |
|----|--------------|--------------|-------------|-----------------|---------------|------------|---------------------|
| 1  | 0.3          | 0.24         | 0.5         | 0.3657          | 0.362         | 0.010      | 0.018               |
| 2  | 0.3          | 0.3          | 0.4         | 0.6506          | 0.640         | 0.016      |                     |
| 3  | 0.4          | 0.3          | 0.3         | 0.4798          | 0.504         | 0.048      |                     |
| 4  | 0.5          | 0.3          | 0.6         | 0.6578          | 0.657         | 0.001      |                     |

### 5.3. ANFIS ile Dikiş Geometrisinin Modellenmesi

Tozaltı kaynak yönteminde dikiş geometrisinin ANFIS modellemesi, MATLAB programının ANFIS modülü kullanılarak yapıldı. Giriş verileri YSA modellemesinde olduğu gibi akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızından oluşmaktadır. Çıkış değişkenleri ise dikiş kalınlığı ve nüfuziyet alanıdır. Modelleme, YSA'da olduğu gibi çıkış değişkenleri ayrı ayrı ele alınarak "3 giriş, 1 çıkış" şeklinde yapılmıştır (Şekil 5.12. ve Şekil 5.13.). Her iki çıkış değişkeninin modellemesinde de eğitim seti için 27, test seti için de 4 deney verisi kullanılmıştır (Tablo 5.1., Tablo 5.2., Tablo 5.3. ve Tablo 5.4.). sonuçların karşılaştırılabilirliği bakımından giriş ve çıkış verilerinin YSA ile aynı düzende kullanılmasına özellikle özen gösterildi.

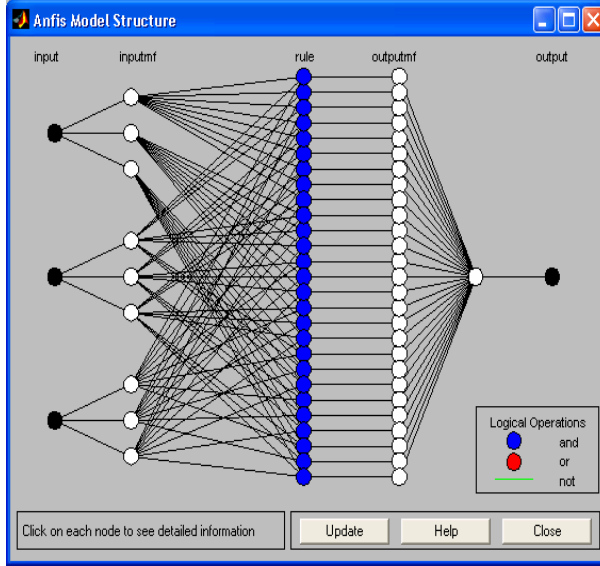


Şekil 5.12. Dikiş Kalınlığı için ANFIS Editörü

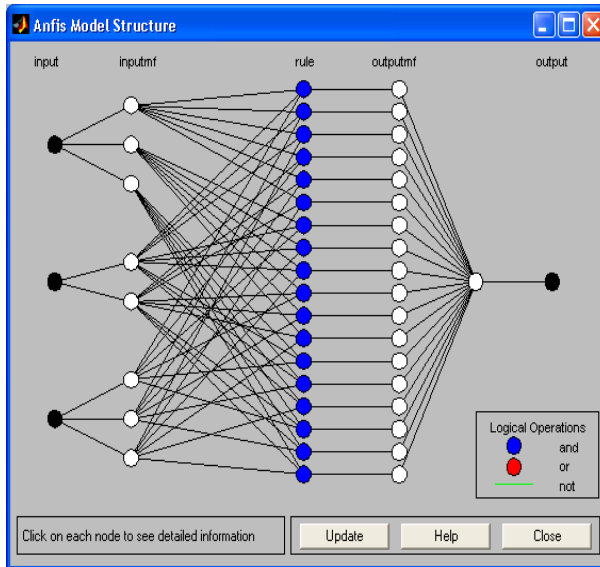


Şekil 5.13. Nüfuziyet Alanı için ANFIS Editörü

Kullanılan ANFIS mimarileri; dikiş kalınlığı için Şekil 5.14.'de ve nüfuziyet alanı için ise Şekil 5.15.'de verilmektedir.

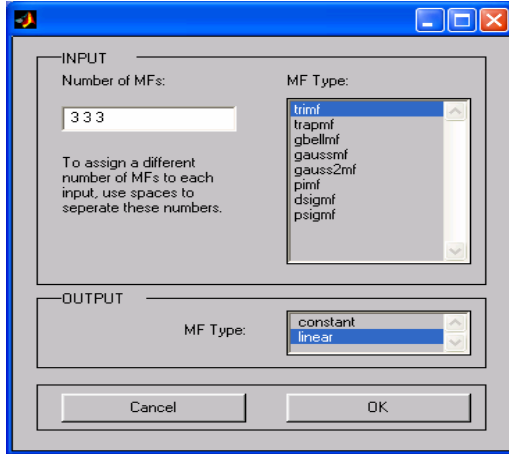


Şekil 5.14. Dikiş Kalınlığı için ANFIS Mimarisi

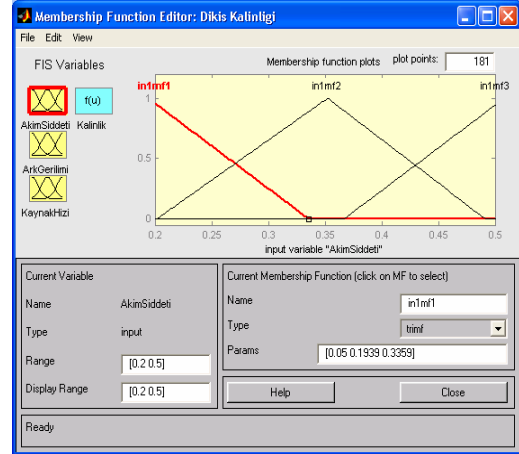


Şekil 5.15. Nüfuziyet Alanı için ANFIS Mimarisi

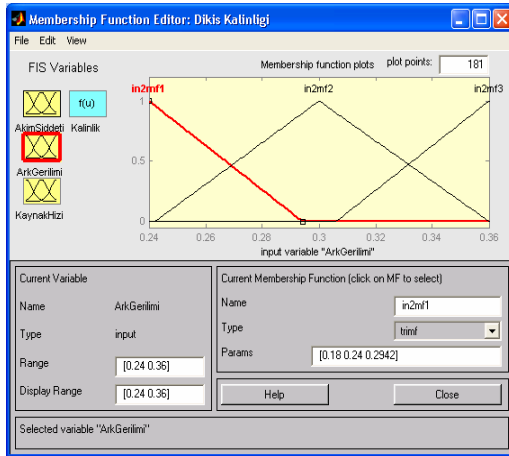
Şekil 5.16.'da da görüldüğü gibi dikiş kalınlığı ve nüfuziyet alanı için kullanılan girişlerin üyelik fonksiyon tipi üçgen, çıkışın üyelik fonksiyon tipi ise lineerdir. Dikiş kalınlığının modellenmesinde giriş parametrelerinden akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızı için üyelik fonksiyonları sırasıyla Şekil 5.17., Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'da gösterilmiştir.



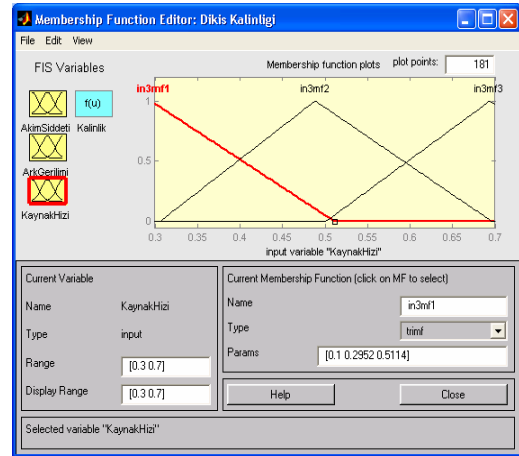
Şekil 5.16. Üyelik Fonksiyonu Tipleri



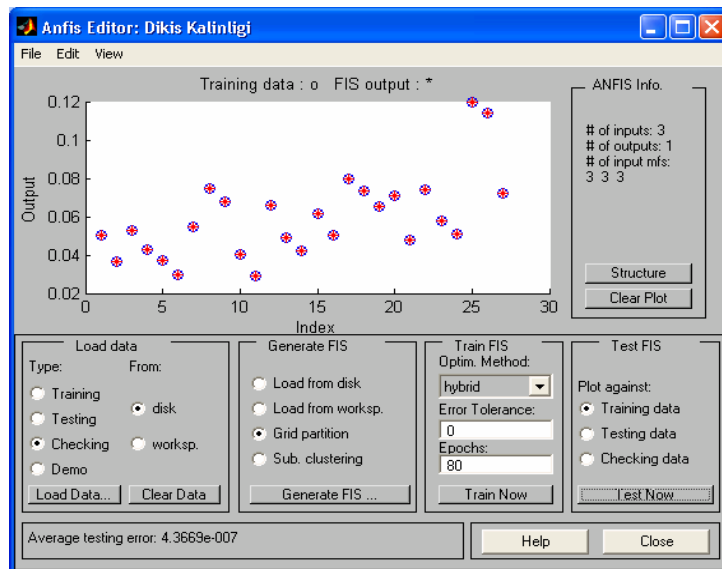
Şekil 5.17. Akım Şiddetinin Üyelik Fonksiyonu



Şekil 5.18. Ark Geriliminin Üyelik Fonksiyonu

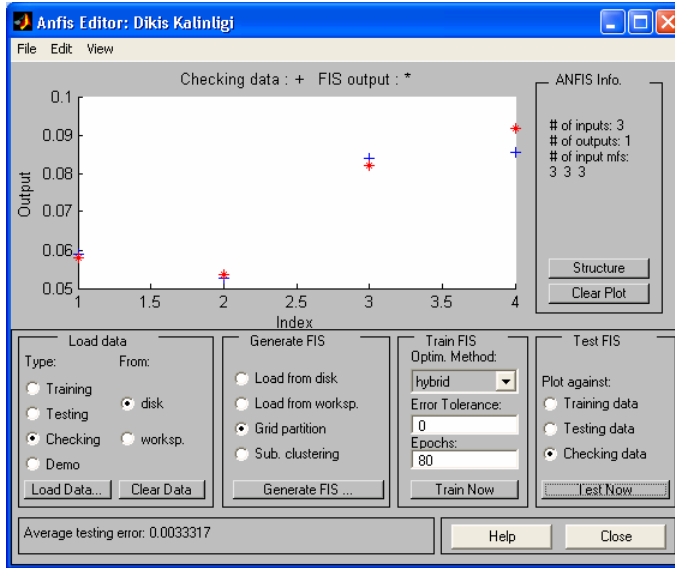


Şekil 5.19. Kaynak Hızının Üyelik Fonksiyonu



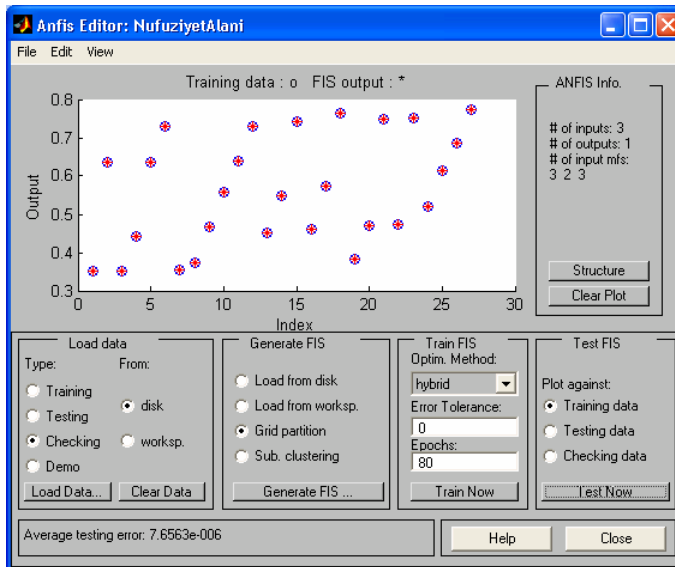
Şekil 5.20. Dikiş Kalınlığı için Eğitim Setinin Performansı

Dikiş kalınlığı için eğitim ve test setlerinin performansları Şekil 5.20. ve Şekil 5.21.'de gösterilmiştir.



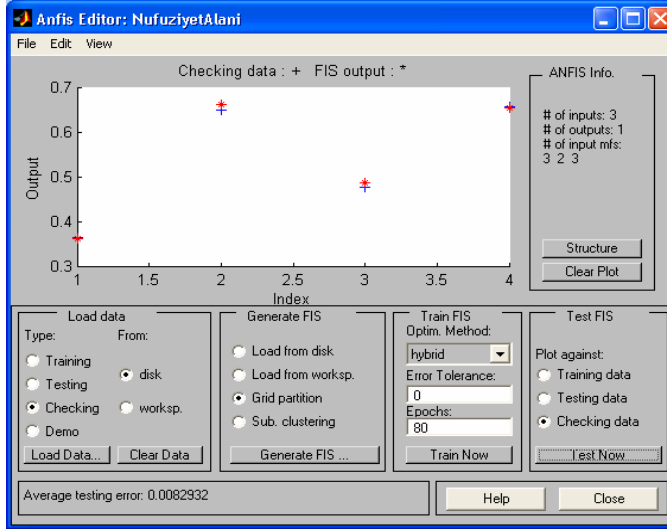
Şekil 5.21. Dikiş Kalınlığı için Test Setinin Performansı

Nüfuziyet alanı için eğitim ve test setlerinin performansları ise Şekil 5.22. ve Şekil 5.23.'de gösterilmiştir.

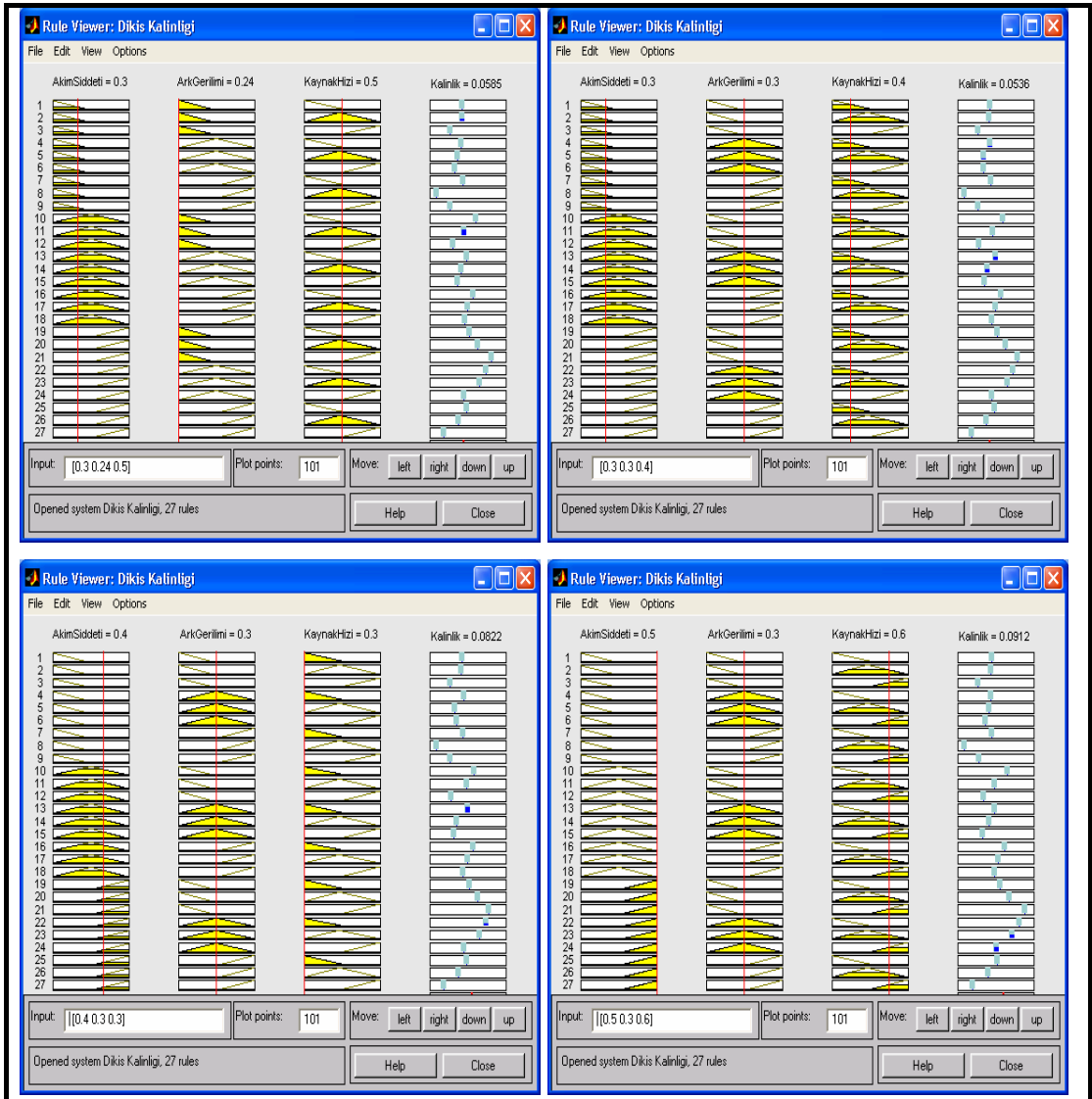


Şekil 5.22. Nüfuziyet Alanı için Eğitim Setinin Performansı

Dikiş kalınlığı için oluşturulan modelin doğruluğunu göstermek amacıyla test setinde yer alan deney verilerinin bulunduğu ekran görüntüleri Şekil 5.24.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.23. Nüfuziyet Alanı için Test Setinin Performansı



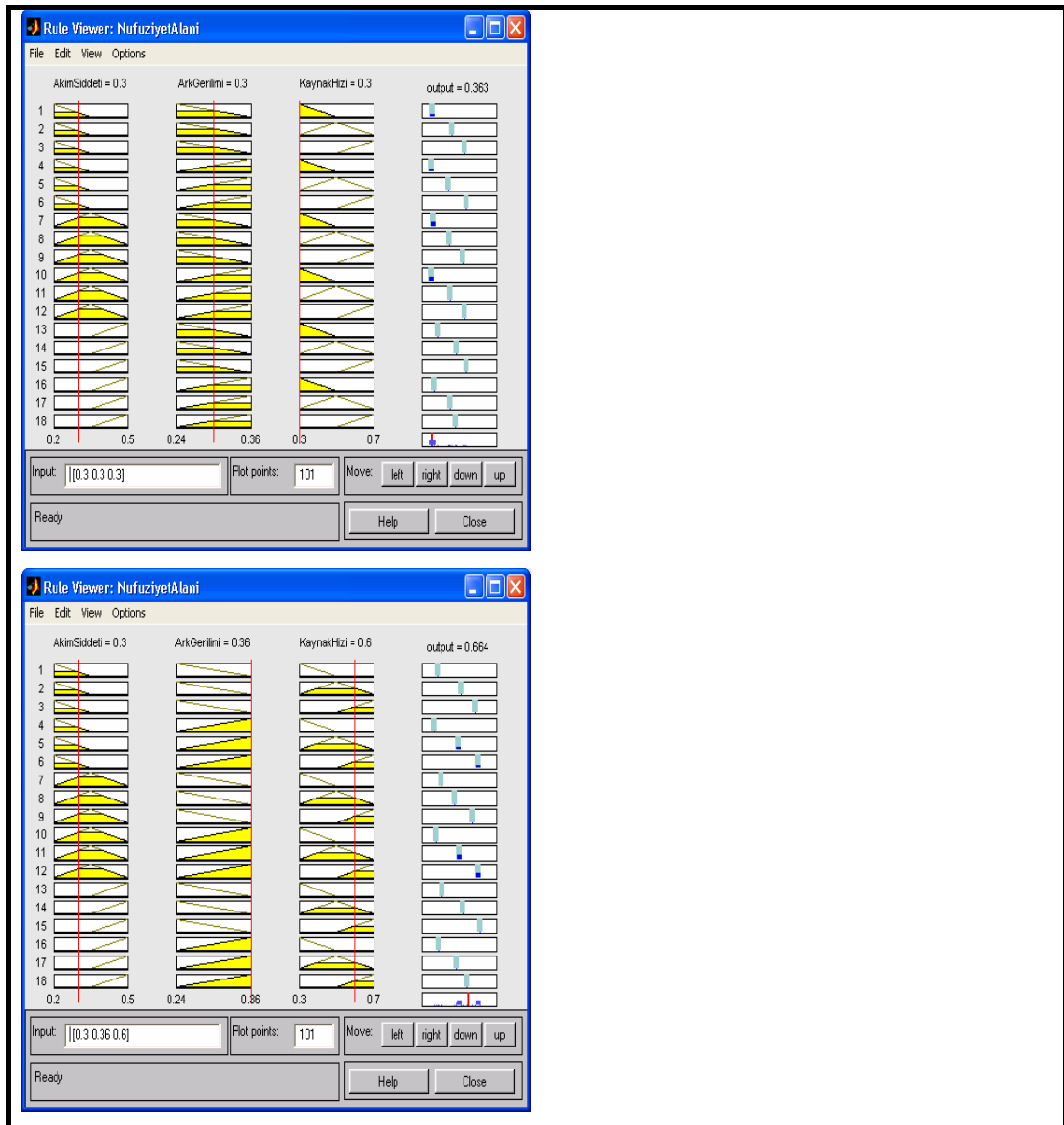
Şekil 5.24. Dikis Kalınlığı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk Oranı

Şekil 5.24.'de de görüldüğü gibi Tablo 5.7.'deki sonuçlar elde edilmiştir.

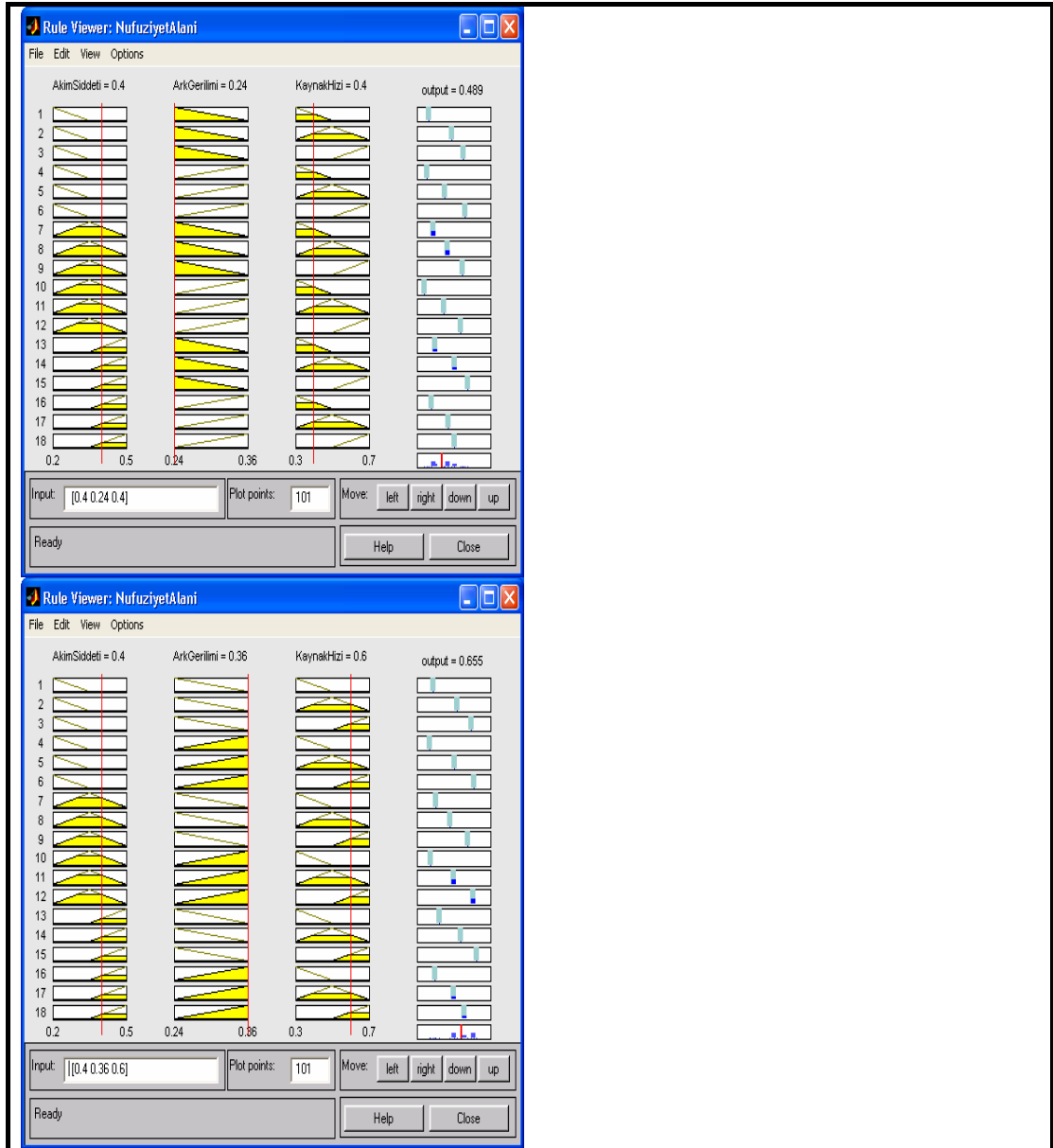
Tablo 5.7. Dikiş Kalınlığı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk Oranı

| No | Akım Şiddeti | Ark Gerilimi | Kaynak Hızı | Kalınlık (Deneysel) | Kalınlık (Teorik) | Hata Oranı | Ortalama Hata Oranı |
|----|--------------|--------------|-------------|---------------------|-------------------|------------|---------------------|
| 1  | 0.3          | 0.24         | 0.5         | 0.059               | 0.0585            | 0.008      | 0.026               |
| 2  | 0.3          | 0.3          | 0.4         | 0.0528              | 0.0536            | 0.014      |                     |
| 3  | 0.4          | 0.3          | 0.3         | 0.0838              | 0.0822            | 0.019      |                     |
| 4  | 0.5          | 0.3          | 0.6         | 0.0854              | 0.0912            | 0.063      |                     |

Nüfuziyet Alanı için oluşturulan modelin doğruluğu ise test setinde yer alan deney verilerinin bulunduğu ekran görüntülerinde görülmektedir (Şekil 5.25.).







Şekil 5.25. Nüfuziyet Alanı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk Oranı

Şekil 5.25.'deki ekran görüntülerine bağlı olarak elde edilen doğruluk oranları Tablo 5.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.8. Nüfuziyet Alanı için Kullanılan Test Verilerinin Doğruluk Oranı

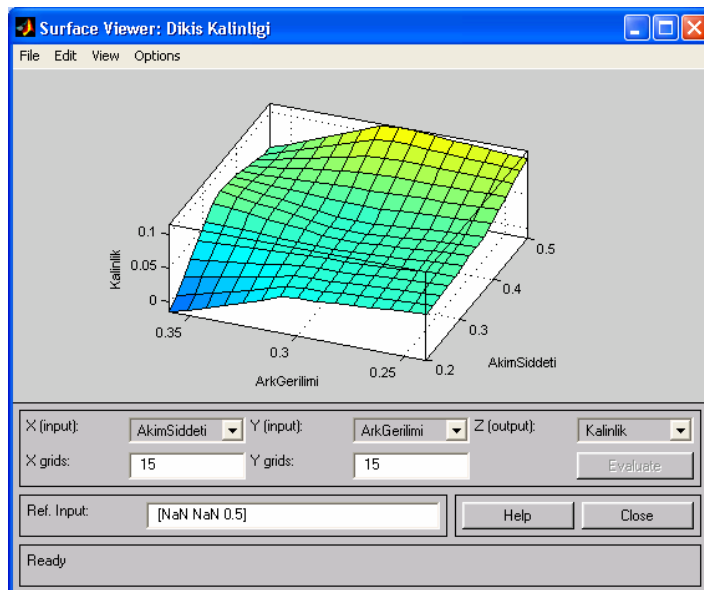
| No | Akım Şiddeti | Ark Gerilimi | Kaynak Hızı | Alanı (DeneySEL) | Alan (Teorik) | Hata Oranı | Ortalama Hata Oranı |
|----|--------------|--------------|-------------|------------------|---------------|------------|---------------------|
| 1  | 0.3          | 0.3          | 0.3         | 0.3657           | 0.363         | 0.007      | 0.012               |
| 2  | 0.3          | 0.36         | 0.6         | 0.6506           | 0.664         | 0.020      |                     |
| 3  | 0.4          | 0.24         | 0.4         | 0.4798           | 0.489         | 0.018      |                     |
| 4  | 0.4          | 0.36         | 0.6         | 0.6578           | 0.655         | 0.004      |                     |

## 5.4. Modellemeden Elde Edilen Sonuçlar

Test performans diyagramlarından da görüldüğü gibi hem YSA ile hem de ANFIS ile çok iyi sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, ANFIS çıktılarının YSA çıktıklarına nazaran deneysel verilere daha çok yaklaştığı görülmüştür. Bu yüzden dikiş kalınlığı ve nüfuziyet alanı ile kaynak parametreleri arasındaki etkileşimin, ANFIS modellemesi sonucunda elde edilen grafiklerle açıklanması tercih edilmiştir. Ayrıca modelleme yapılırken giriş ve çıkış değerleri belirli oranlarda küçültülmüştür. Bu sebeple YSA ve ANFIS çıktıları aynı oranlarda büyütülmelidir. Bu oran nüfuziyet alanı ve akım şiddeti için 1000; ark gerilimi, kaynak hızı ve dikiş kalınlığı için 100'dür.

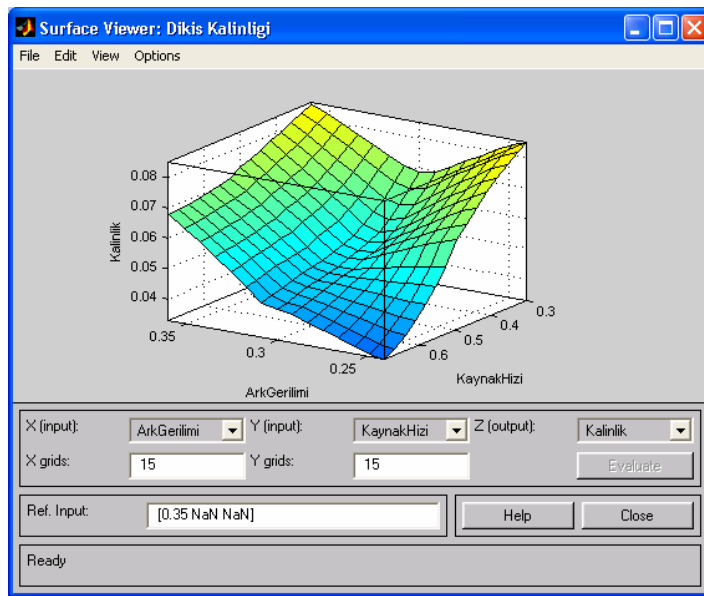
### 5.4.1. Dikiş kalınlığının modellenmesinden elde edilen sonuçlar

Ark gerilimi ile akım şiddetinin dikiş kalınlığı üzerindeki etkisi Şekil 5.26.'da, ark gerilimi ile kaynak hızının dikiş kalınlığı üzerindeki etkisi Şekil 5.27.'de, akım şiddeti ile kaynak hızının dikiş kalınlığı üzerindeki etkisi ise Şekil 5.28.'de gösterilen grafiklerle açıklanmıştır. Şekil 5.26.'da akım şiddetindeki bir artış ve ark gerilimindeki bir düşüşle dikiş kalınlığında artış elde edilmiştir. Maksimum dikiş kalınlığı, ark geriliminin 0.3'e yakın bir değerinde ve akım şiddetinin maksimum olduğu noktada elde edilmiştir. Ayrıca minimum dikiş kalınlığı, ark geriliminin maksimum ve akım şiddetinin de minimum olduğu noktada çıkmıştır.



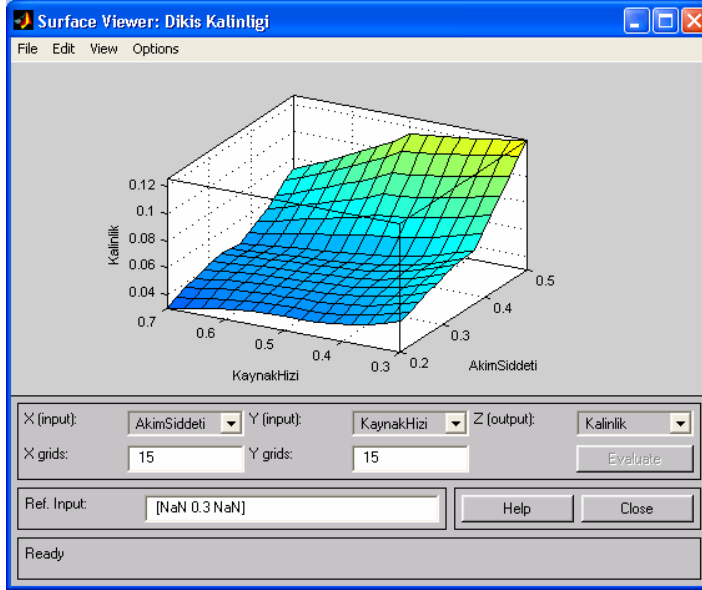
Şekil 5.26. Akım ve gerilimin dikiş kalınlığı üzerindeki etkisi

Şekil 5.27.'de ark gerilimi ile kaynak hızı arasındaki etkileşim neticesinde dikiş kalınlığı üzerinde oluşan etki gösterilmiştir. Kaynak hızı ve ark gerilimindeki bir düşüşle birlikte dikiş kalınlığında artış görülmüştür. Minimum dikiş kalınlığı, ark geriliminin minimum ve kaynak hızının maksimum olduğu noktada çıkmıştır. Buna rağmen maksimum dikiş kalınlığı, kaynak hızının minimum ve ark geriliminin maksimum olduğu değerlerde elde edilir.



Şekil 5.27. Hız ve gerilimin dikiş kalınlığı üzerindeki etkisi

Şekil 5.28.'de akım şiddeti ile kaynak hızı arasındaki etkileşim neticesinde dikiş kalınlığı üzerinde oluşan etki gösterilmiştir. Kaynak hızındaki bir düşüş ve akım şiddetindeki bir artışla birlikte dikiş kalınlığında artış meydana gelmiştir. Minimum dikiş kalınlığı kaynak hızının maksimum ve akım şiddetinin minimum olduğu değerlerde ortaya çıkmıştır. Maksimum dikiş kalınlığı ise akım şiddetinin maksimum ve kaynak hızının minimum olduğu değerlerde elde edilmiştir.

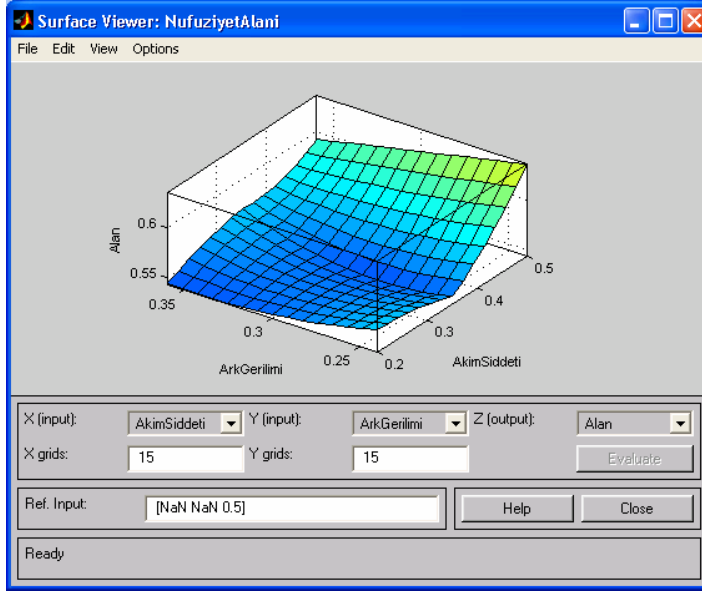


Şekil 5.28. Hız ve akımın dikiş kalınlığı üzerindeki etkisi

#### 5.4.2. Nüfuziyet alanının modellenmesinden elde edilen sonuçlar

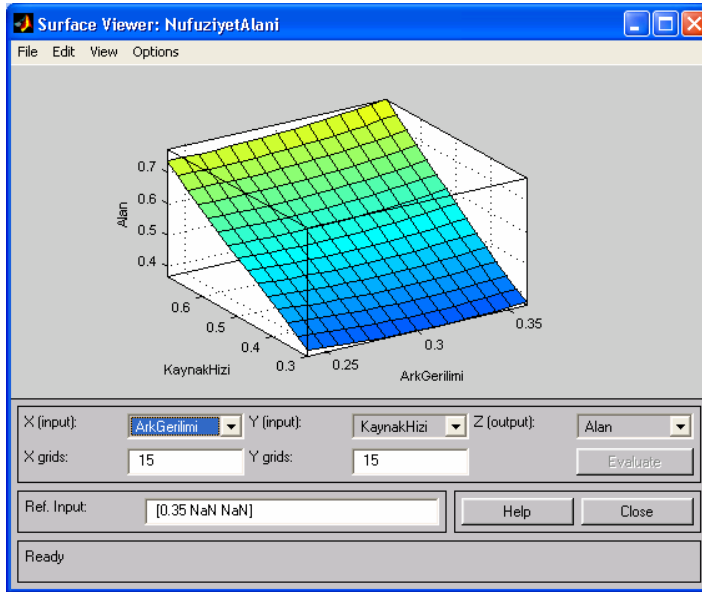
Ark gerilimi ile akım şiddetinin nüfuziyet alanı üzerindeki etkisi Şekil 5.29.'da, ark gerilimi ile kaynak hızının nüfuziyet alanı üzerindeki etkisi Şekil 5.30.'da, akım şiddeti ile kaynak hızının nüfuziyet alanı üzerindeki etkisi ise Şekil 5.31.'de gösterilen grafiklerle açıklanmıştır.

Şekil 5.29.'da akım şiddetinin minimum olduğu noktada ark geriliminin 0.31 ile 0.35 arasındaki değerlerinde nüfuziyet alanının değişmediği görülmektedir. Minimum nüfuziyet alanı ark gerilimi maksimum ve akım şiddeti minimum olduğunda ortaya çıkar. Maksimum nüfuziyet alanı ise ark geriliminin minimum ve akım şiddetinin maksimum olduğu noktada elde edilir.



Şekil 5.29. Gerilim ve akımın nüfuziyet alanı üzerindeki etkisi

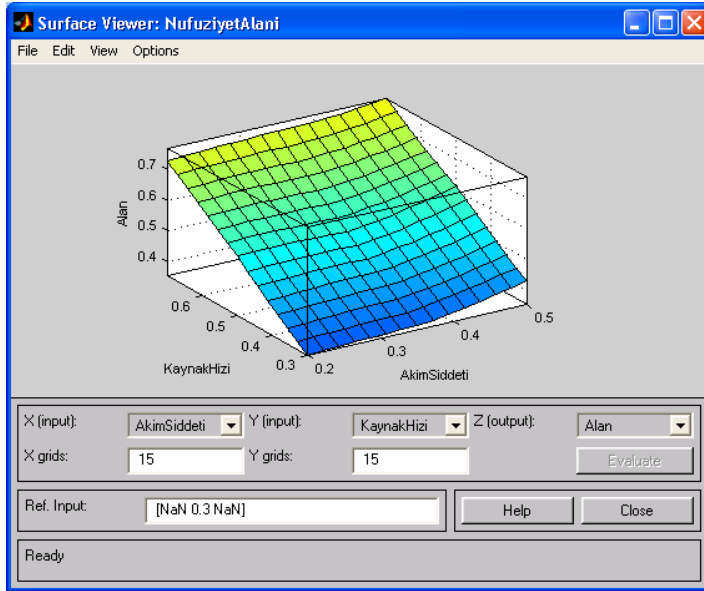
Şekil 5.30.'da ark gerilimi ve kaynak hızında bir artış ile birlikte nüfuziyet alanı da artar. Böylece maksimum nüfuziyet alanı, kaynak hızı ve ark geriliminin maksimum olduğu noktalarda elde edilir. Nüfuziyet alanının minimum değeri, kaynak hızının minimum ve ark geriliminin 0,3 olduğu noktada elde edilmektedir.



Şekil 5.30. Gerilim ve hızın nüfuziyet alanı üzerindeki etkisi

Şekil 5.31.'de akım şiddeti ve kaynak hızında bir artışla birlikte nüfuziyet alanı da artar. Nüfuziyet alanının minimum değeri, akım şiddeti ve kaynak hızının minimum

olduğu yerdedir. Buna karşılık nüfuziyet alanının maksimum değeri, akım şiddeti ve kaynak hızının maksimum değerlerinde elde edilmektedir.



Şekil 5.31. Akım ve hızın nüfuziyet alanı üzerindeki etkisi

## BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tozaltı kaynağında, arzu edilen kaynak bağlantısını elde edebilmek için kaynak parametrelerin uygun seçilmesi son derece önemlidir. Bu kapsamda dikiş geometrisini belirleyen parametrelerin optimum değerlerinin seçilmesi gereklidir. Ancak dikiş geometrisi ile kaynak parametreleri arasında lineer bir ilişkinin olmaması sebebiyle bu parametrelerin optimum değerlerinin belirlenmesi oldukça zordur. Bu yüzden araştırmacılar aradaki ilişkinin belirlenmesi ve parametre değerlerinin optimum seçilebilmesi için yapay zeka teknolojilerine yönelmişlerdir.

Bu çalışmada Yapay zekâ teknolojileri kullanılarak tozaltı kaynağında dikiş geometrisi modellendi. Geliştirilen model sayesinde kaynak parametrelerinin dikiş geometrisi üzerindeki etkileri analiz edildi. Literatürde yer alan benzer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada aynı kalınlıktaki parçaların alın kaynağı yerine farklı kalınlıktaki parçaların köşe kaynağı esas alındı.

Çalışmada öncelikle kaynak dikişi üzerinde en fazla etkiye sahip olan kaynak parametreleri ve bu parametrelere ait alt ve üst limitler belirlendi. Sonra bu parametreler arasındaki tüm kombinasyonları içeren bir deney seti hazırlandı. Hazırlanan deney seti doğrultusunda 300x120x14 ve 300x125x5 boyutlarında farklı kalınlıktaki St 52-3 malzemeler ‘T’ formunda kaynatıldı. Kaynak işlemleri yapılan bu parçalar orta kısmından (dikişin en uygun olduğu kısım) kesildi. Kesilen yüzeyler zımparalanarak dağlandı ve böylece yüzeyler fotoğraflanmaya hazır hale getirildi. Sonra stereo mikroskopla makro fotoğrafları çekildi ve bu fotoğraflardan dikiş geometrisi ölçüldü. Dikiş geometrisinin ölçümünde mümkün olan en hassas ölçümü yapabilmek amacıyla kalınlık ve nüfuziyet alanlarının koordinatları, dikişin makro fotoğrafları üzerinden ölçüldü. Bu koordinatlar kullanılarak her iki parçada ki nüfuziyet alanlarını sınırlayan eğriler ve bu eğrilerin denklemleri elde edildi. Elde edilen bu denklemlerin integralleri alınmak suretiyle de nüfuziyet alanları ölçüldü.

Bununla birlikte deneyler esnasında kaynak torcunun kayması nedeniyle her iki parçada oluşan nüfuziyet alan değerlerinde bir uygunsuzluk ortaya çıktı. Modellemeye engel teşkil eden bu uygunsuzluğu aşmak amacıyla nüfuziyet alanları ayrı ayrı değil toplam olarak modellemeye katıldı. Bir başka ifadeyle nüfuziyet alanı çıkış değişkeni için her iki parçadaki nüfuziyet alanının toplanmasıyla elde edilen değer esas alındı.

Daha sonra dikiş geometrisini tanımlayan kaynak kalınlıkları ve nüfuziyet alanları ile kullanılan kaynak parametreleri arasındaki ilişki yapay sinir ağları ve uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi ile modellendi. Bu modeller kullanılarak teorik sonuçlar elde edildi. Modeller deney verileriyle eğitildi ve farklı algoritmalar kullanılarak test edildi. Optimum sonuçları veren algoritma seçildi. Teorik sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırıldı. ANFIS çıktılarının YSA çıktısına kıyasla deneysel verilere daha yakın olduğu görüldü.

Sonuç olarak arzu edilen dikiş geometrisini elde etmek için gerekli olan kaynak parametrelerinin optimum değerlerini tahmin edebilen bir model geliştirildi. Bir başka deyişle dikiş kalınlığının veya nüfuziyet alanının arzu edilen bir değeri için kaynak parametrelerinin alacağı değer teorik olarak belirlendi. Teorik olarak elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, kaynak parametrelerinin dikiş kalınlığı için %98 ve nüfuziyet alanı için %99 doğrulukla tahmin edilebildiği görülmektedir.

Bu çalışma tozaltı kaynağı için zeki kontrol sistemleri geliştirmeye yardımcı olabilir. Geliştirilen sistem kullanılarak, arzu edilen dikiş kalınlığı ve nüfuziyet alanı için kaynak parametreleri otomatik olarak seçilebilir. Bu durum, özellikle farklı kaynak kalınlıklarının söz konusu olduğu karmaşık yapıların tek operasyonla otomatik olarak kaynatılması hallerinde büyük önem taşır. Operasyon önceden hazırlanmış bir programla, uygun bir nümerik kontrol sistemiyle denetlenebilir. Böylece daha verimli ve kaliteli bir işlem gerçekleşmiş olur.



## KAYNAKLAR

ALBAYRAK, M. (1997). Kaynak Dikişlerinin Kontrol ve Muayenesi, İGDAŐ, İstanbul

ALLAHVERDİ, N. (2002) Uzman Sistemler, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul

ANIK, S., ANIK, S., VURAL, M. (2000). 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul

CARY, H. B. (2002). Modern Welding Tecnology, Fifth Edition Columbus, Ohio.

CHANDEL, R. S., SEOW, H. P. and CHEONG, F. L. Effect of increasing deposition rate on the bead geometry of submerged arc welds, Journal of Materials Processing Technology, 72, 124–128 ( 1997)

ÇALIŞKAN, E. (2004) Gaz konsantrasyonlarının saptanmasında bulanık mantık ve yapay sinir ağı tabanlı algoritmaların kullanılması, Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

ÇELİK, A. (1988) Tozaltı Kaynak Parametrelerinin Kaynak Dikişine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

DAMKAŞ, R. (2003). Tozaltı kaynağında kaynak ağızı açmadan ve kaynak ağızı açarak ulaşılabilecek nüfuziyet derinliğinin tespit edilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

DURAN, F.M. (2004) Kadavradan böbrek naklinde organ tahsis problemine bulanık mantık yaklaşımı, Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

EFE, Ö., KAYNAK, O. (2000) Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

ELMAS, Ç. (2003) Bulanık Mantık Denetleyiciler (Kuram, Uygulama, Sinirsel Bulanık Mantık), Seçkin Yayıncılık, Ankara

GUNARAJ, V. and MURUGAN, N. Application of response surface methodology for predicting weld bead quality in submerged arc welding of pipes, Journal of Materials Processing Technology, 88, 266–275 (1999)

GUNARAJ, V. and MURUGAN, N. Prediction and comparison of the area of the heat-affected zone for the bead-on-plate and bead-on-joint in submerged arc welding of pipes, *Journal of Materials Processing Technology*, 95, 246–261 (1999)

[http://www.esabna.com/EUWeb/SA\\_handbook/585sa1\\_1.htm](http://www.esabna.com/EUWeb/SA_handbook/585sa1_1.htm)

KALUÇ, E., *Kaynak Teknolojisi El Kitabı. Cilt 1: Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri*, Makine Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi, Yayın No: 356, 2004

KANJİLAL, P., PAL, T.K. and MAJUMDAR, S.K. Combined effect of flux and welding parameters on chemical composition and mechanical properties of submerged arc weld metal, *Journal of Materials Processing Technology*, 171, 23–31 (2005)

KURU, E. (2003) Adaptif bulanık mantık yöntemi kullanılarak harmoniklerin sınıflandırılması ve adaptif filtre yaklaşımı ile temel bileşenin belirlenmesi, Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

MURUGAN, N. and GUNARAJ, V. Prediction and control of weld bead geometry and shape relationships in submerged arc welding of pipes, *Journal of Materials Processing Technology*, 168, 478–487 (2005)

PİNG Lİ, FANG, M. T. C. and LUCAS, J. Modelling of submerged arc weld beads using self-adaptive offset neural networks, *Journal of Materials Processing Technology*, 71, 288–298 (1997)

TARNG, Y. S., JUANG, S. C. and CHANG, C. H. The use of grey-based Taguchi methods to determine submerged arc welding process parameters in hardfacing, *Journal of Materials Processing Technology*, 128, 1–6 (2002)

The Miller Electric MFG. CO. (1982) *The Handbook Of SAW*, Rev. 11/85

TUSEK, J. Mathematical modeling of melting rate in twin-wire welding, *Journal of Materials Processing Technology*, 100, 250–256 (2000)

WIKLE III, H. C., KOTTİLİNGAM, S., ZEE, R. H. and CHİN, B. A. Infrared sensing techniques for penetration depth control of the submerged arc welding process, *Journal of Materials Processing Technology*, 113, 228-233 (2001)

## **ÖZGEÇMİŞ**

1975 yılında Sakarya'da doğdu. Orta öğrenimini Adapazarı Atatürk Lisesinde tamamladı. 1999 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2000 yılında Başak Traktör fabrikasında çalışmaya başladı. 2002 yılında Sakarya Üniversitesinde yüksek lisansa başladı. 2003 yılında Sakarya Üniversitesine nakil oldu. Halen Sakarya Üniversitesinde iş hayatına devam etmektedir.