

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PROJEKSİYON KAYNAĞI İLE DUAL FAZ ÇELİĞE CIVATA  
KAYNATILMASI VE TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE  
PARAMETRE OPTİMİZASYONU**

**SAMET DEMİR**

**KOCAELİ 2019**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

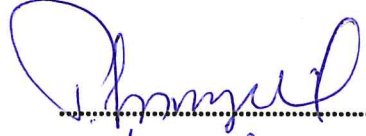
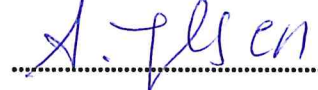

**PROJEKSİYON KAYNAĞI İLE DUAL FAZ ÇELİĞE**  
**CIVATA KAYNATILMASI VE TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE**  
**PARAMETRE OPTİMİZASYONU**

**SAMET DEMİR**

**Prof.Dr. Tamer SINMAZÇELİK**  
**Danışman, Kocaeli Üniv.**

**Prof.Dr. Adalet ZEREN**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

**Dr.Öğr.Üyesi İlknur KOCAŞ KOZBE**  
**Jüri Üyesi, T.C. İstanbul Gedik Üniv.**

  
.....  
  
.....  
  
.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 14.06.2019**

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Dünya da ve ülkemizde giderek ivme kazanan araç hafifletme çalışmaları kapsamında otomotiv sektöründe giderek kullanımı artan ultra sert malzemelerin kaynak yöntemleri üzerine yapılmış çalışmaların kısıtlı olduğu görülmüştür.

Bu çalışma da araçlarda yüksek adetler de bulunan cıvata kaynağının ultra sert malzemeler üzerindeki davranışı incelenmiştir. Taguchi metodu kullanılarak farklı makinalarda yapılan deneyler ile kaynak parametre optimizasyonu sağlanmıştır.

Bu spesifik konuda çalışmalarında bana yönlendirmeleriyle destek olan değerli hocam Prof. Dr. Tamer Sınmazçelik'e, taguchi modellemelerindeki desteğinden ötürü Doç. Dr. Timur Canel'e, deneyler ve analizler konusunda tesis kullanımına olanak sağlayan çalıştığım kurum Toyotetsu Otomotiv'e ve bu süreçte beni her zaman destekleyen değerli eşim ve oğluma teşekkür ve sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Haziran-2019

Samet DEMİR

## İÇİNDEKİLER

|  |      |
|--|------|
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....  | i    |
| İÇİNDEKİLER .....  | ii   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....   | iv   |
| TABLolar DİZİNİ .....  | vi   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                     | vii  |
| ÖZET.....  | viii |
| ABSTRACT .....   | ix   |
| GİRİŞ .....  | 1    |
| 1. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI.....  | 2    |
| 1.1. Direnç Punta Kaynağı Prensibi .....                                 | 2    |
| 1.2. Projeksiyon (Kabartı) Kaynağı Prensibi: .....                       | 5    |
| 1.2.1. Cıvata kaynağında kabartının önemi.....                           | 6    |
| 1.2.1.1. Nokta kabartı .....   | 8    |
| 1.2.1.2. Uzun kabartı .....  | 8    |
| 1.2.1.3. Halka biçimli kabartı .....                                     | 8    |
| 1.2.2. Kabartılı kaynak işleminin esası .....                            | 9    |
| 1.2.3. Kabartılı direnç kaynağının üstünlükleri.....                     | 10   |
| 1.2.4. Kabartılı direnç kaynağında kullanılan kaynak makineleri.....     | 10   |
| 1.2.4.1. Projeksiyon kaynağında kullanılan timer tipleri.....            | 11   |
| 1.2.5. Direnç ve projeksiyon kaynağı tarihçesi .....                     | 12   |
| 1.2.6. Direnç kaynağı avantajları .....                                  | 13   |
| 1.2.7. Direnç kaynağı dezavantajları .....                               | 13   |
| 1.2.8. Direnç kaynağı uygulama alanları.....                             | 13   |
| 1.2.9. Direnç kaynak periyotları.....                                    | 14   |
| 1.2.9.1. Sıkıştırma evresi .....   | 14   |
| 1.2.9.2. Kademeli artış (rampa) evresi .....                             | 14   |
| 1.2.9.3. Kaynak uygulama evresi .....                                    | 14   |
| 1.2.9.4. Tutma evresi .....  | 15   |
| 1.2.9.5. Ayrılma evresi .....  | 15   |
| 1.2.10. Direnç kaynağı parametreleri .....                               | 15   |
| 1.2.10.1 Kaynak akımı: .....   | 16   |
| 1.2.10.2.Kaynak kuvveti:.....  | 17   |
| 1.2.10.3.Kaynak zamanı .....   | 19   |
| 1.2.11. Kaynakla birleştirilecek metalin kimyasal bileşimi .....         | 21   |
| 1.2.12. Elektrot uçları .....  | 22   |
| 1.2.13. Elektrot ve iş parçasının temas durumları .....                  | 22   |
| 1.2.14. Kaynak edilecek parçaların yüzeylerinin etkisi.....              | 23   |
| 2. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE DİRENÇ KAYNAĞI .....                              | 25   |
| 2.1. Türkiye de Otomotiv Sanayi ve Yeni Nesil Çeliklerin Kullanımı ..... | 25   |
| 2.2. Otomotiv de Direnç Kaynağı .....                                    | 25   |
| 2.3. Otomotivden Beklentiler ve Kullanılan Sac Malzemeler.....           | 27   |
| 2.4. Gelişmiş Yüksek Mukavemetli Çelik (AHSS) Türleri.....               | 29   |
| 2.4.1. Kompleks fazlı (CP) çelikler.....                                 | 31   |
| 2.4.2. Ferritik bey nitik (FB) çelikler .....                            | 32   |

|   |    |
|---|----|
| 2.4.3. Sıcak şekillendirilmiş (HF) çelikler .....                           | 33 |
| 2.4.4. İkizlemeye dayalı plastisite (TWIP) çelikleri.....                   | 33 |
| 2.4.5. Dönüşüme dayalı plastisite (TRIP) çelikleri .....                    | 34 |
| 2.4.6. Dual faz (DP) çelikler.....  | 35 |
| 2.4.6.1. Dual fazlı çeliklerin genel özellikleri ve kullanım alanları ..... | 38 |
| 2.4.7. Martenzitik çelikler .....   | 40 |
| 3.DENEYSSEL KISIM TEORİĞİ.....  | 42 |
| 3.1. Projeksiyon Kaynağı Test Yöntemleri .....                              | 42 |
| 3.1.1. Basma testi .....  | 42 |
| 3.1.2. Eğme testi .....   | 43 |
| 3.2. Deneysel Kısım İçeriği .....   | 43 |
| 3.3. Cıvata Ayakları Mikroskop Görüntüleri .....                            | 44 |
| 3.4. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....                                  | 44 |
| 3.5. Deney Numunesinin Boyutları .....                                      | 45 |
| 3.6. Deney Numunelerinin Hazırlanması .....                                 | 46 |
| 3.7. Deneylerde Kullanılacak Ekipman Bilgisi .....                          | 49 |
| 3.7.1. Kaynak denemesinde kullanılan elektrotlar .....                      | 49 |
| 3.7.2. Basma test numunesi .....  | 48 |
| 3.7.3. Diğer kullanılan kalite laboratuvarı ekipmanları .....               | 49 |
| 3.7.3.1. Pikrik asit banyosu .....  | 49 |
| 3.7.3.2. Optik mikroskopisi.....  | 50 |
| 3.7.3.3. Sertlik ölçüm cihazı .....   | 50 |
| 3.7.4. Proses yeterliliği analizi .....                                     | 52 |
| 4.ÖN DENEMELER.....   | 54 |
| 4.1. Taguchi Yöntemi Öncesi Yapılan Ön Analizler - 1 .....                  | 54 |
| 4.2. Taguchi Yöntemi Öncesi Yapılan Ön Analizler - 2 .....                  | 57 |
| 4.3. Taguchi Yöntemi Öncesi Yapılan Ön Analiz Denemeleri - 3.....           | 60 |
| 4.4. Diğer Değişkenlerin Etkilerinin İncelenmesi .....                      | 65 |
| 4.5. Kaynaklı Parça Metalografik İncelemeleri.....                          | 65 |
| 5.TAGUCHİ DENEMELERİ .....  | 67 |
| 5.1. Taguchi Denemeleri .....   | 67 |
| 5.1.1. Performans karakteristikleri ölçüm sisteminin belirlenmesi .....     | 67 |
| 5.1.2. Performans karakteristiklerini etkileyen faktörlerin seçimi .....    | 67 |
| 5.1.3. Faktörler .....  | 67 |
| 5.1.4. Varyans analizi .....  | 68 |
| 5.1.5. 35 kVA makine taguchi denemeleri.....                                | 70 |
| 5.1.5.1. 35 kVA taguchi dizine ait denemelerin yorumu.....                  | 71 |
| 5.1.6. 50 kVA makine taguchi denemeleri.....                                | 73 |
| 5.1.6.1.50 kVA taguchi dizine ait denemelerin yorumu.....                   | 74 |
| 5.1.7. 125 kVA kaynak makinası denemeleri .....                             | 76 |
| 5.1.7.1. 125 kVA taguchi dizine ait denemelerin yorumu.....                 | 77 |
| 5.1.7.2. 125 kVA doğrulama deneyi.....                                      | 79 |
| 6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....  | 81 |
| KAYNAKLAR .....   | 84 |
| KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....  | 88 |
| ÖZGEÇMİŞ .....  | 89 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Şekil 1.1.  | Nokta direnç kaynak makinesi temel bileşenleri .....                   | 2  |
| Şekil 1.2.  | Elektrik direnç kaynağı makinesi.....                                  | 3  |
| Şekil 1.3.  | Elektrik direnç kaynağında meydana gelen dirençler .....               | 4  |
| Şekil 1.4.  | Nokta direnç kaynağında bölgeler, dirençler ve sıcaklık dağılımı ..... | 4  |
| Şekil 1.5.  | Kabartılı punta kaynağı prensibi .....                                 | 5  |
| Şekil 1.6.  | Cıvata projeksiyon kaynağı .....                                       | 6  |
| Şekil 1.7.  | Cıvata projeksiyon kaynağı kesitleri.....                              | 6  |
| Şekil 1.8.  | Kabartı kaynağı uygulaması .....                                       | 7  |
| Şekil 1.9.  | Kabartı kaynağı çeşitleri .....  | 7  |
| Şekil 1.10. | Nokta kabartı görünümü . .....   | 8  |
| Şekil 1.11. | Somun ve cıvatanın kaynatılmasında halka biçimli kabartı .....         | 9  |
| Şekil 1.12. | Kabartı kaynağı işlem esası çıkıntı örnekleri .....                    | 9  |
| Şekil 1.13. | Projeksiyon kaynakları örnekleri . .....                               | 10 |
| Şekil 1.14. | Direnç / projeksiyon kaynak makinası.....                              | 11 |
| Şekil 1.15. | AC ve DC akım grafiği .....  | 12 |
| Şekil 1.16. | Kaynak çevrimi .....   | 15 |
| Şekil 1.17. | Kaynak akımının çekme makaslama dayanımına etkisi .....                | 17 |
| Şekil 1.18. | Kaynak kabiliyeti diyagramı .....                                      | 21 |
| Şekil 1.19. | Spot kaynağı elektrotu .....   | 22 |
| Şekil 1.20. | Paralel olmayan elektrot örnekleri .....                               | 22 |
| Şekil 2.1.  | Örnek bir robotlu otomobil imalatı .....                               | 26 |
| Şekil 2.2.  | Bir otomobilden beklenen özellikler .....                              | 27 |
| Şekil 2.3.  | Otomotiv deki malzeme türleri dağılımları .....                        | 28 |
| Şekil 2.4.  | Audi marka araçta malzeme türlerinin araçtaki yeri.....                | 28 |
| Şekil 2.5.  | AHSS'lerin toplam çelik pazarındaki payı .....                         | 29 |
| Şekil 2.6.  | AHSS ve diğer çeliklerin mukavemet grafiği .....                       | 29 |
| Şekil 2.7.  | AHSS'lerin soğuma modeli ve mikro yapıları.....                        | 30 |
| Şekil 2.8.  | CP çeliğinden üretilmiş koltuk flanşları .....                         | 31 |
| Şekil 2.9.  | CP çeliğinin mikroyapı görüntüsü . .....                               | 31 |
| Şekil 2.10. | FB çeliğinden üretilmiş jant .....                                     | 32 |
| Şekil 2.11. | FB çeliği mikro yapı . .....   | 32 |
| Şekil 2.12. | TWIP çeliği mikro yapı . .....   | 34 |
| Şekil 2.13. | TRIP çeliğinden üretilmiş tampon sacı .....                            | 34 |
| Şekil 2.14. | TRIP çeliğinin .....   | 35 |
| Şekil 2.15. | Çift fazlı çelik mikro yapı .....                                      | 37 |
| Şekil 2.16. | Kaynamış metal DP780 ve DP980 mikro yapısı .....                       | 37 |
| Şekil 2.17. | DP çeliği B pillar .....   | 37 |
| Şekil 2.18. | DP çeliği mikro yapı .....   | 37 |
| Şekil 2.19. | DP, HSLA ve az C çeliklerin biçim sınır diyagramları .....             | 39 |
| Şekil 2.20. | DP ve az C çeliklerin kalınlığın BSD (0) noktasına etkisi .....        | 40 |
| Şekil 2.21. | MS çeliğinden üretilmiş.....   | 41 |
| Şekil 2.22. | MS çeliğinin mikro yapısı .....  | 41 |
| Şekil 3.1.  | a) Basma test cihazı, b) Basma işlemi görseli.....                     | 42 |
| Şekil 3.2.  | a) Basma testi pozisyonu, b) Kaynaklı plaka.....                       | 42 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 3.3.  | Eğme işlemi şematik gösterim .....                                | 43 |
| Şekil 3.4.  | Cıvata mikroskop görüntüleri .....                                | 44 |
| Şekil 3.5.  | Kaynak işlemi için hazırlanmış numune .....                       | 45 |
| Şekil 3.6.  | Dual faz malzemenin iç yapısı .....                               | 45 |
| Şekil 3.7.  | Cıvata deliği etrafı ısıdan etkilenmiş bölge incelemesi .....     | 46 |
| Şekil 3.8.  | Lazer kesimli sac malzemenin delik kenarları malzeme yapısı ..... | 46 |
| Şekil 3.9.  | Kaynak elektrotları a) Alt elektrot, b) Üst elektrot .....        | 47 |
| Şekil 3.10  | Direnç kaynak makinası .....                                      | 48 |
| Şekil 3.11. | Basma testi numunesi .....  | 48 |
| Şekil 3.12. | Kimyasal banyo aşamaları .....                                    | 50 |
| Şekil 3.13. | Optik mikroskopi cihazı .....                                     | 50 |
| Şekil 3.14. | Sertlik ölçüm cihazı .....  | 51 |
| Şekil 3.15. | 1.numune sertlik ölçümleri .....                                  | 51 |
| Şekil 3.16. | 2.numune sertlik ölçümleri .....                                  | 51 |
| Şekil 3.17. | Sertlik ölçüm grafik görünümü .....                               | 51 |
| Şekil 4.1.  | 35 kVA makine basma test grafiği .....                            | 55 |
| Şekil 4.2.  | 11 No'lu parametre varyasyon analiz grafiği .....                 | 56 |
| Şekil 4.3.  | 50 kVA makine basma test grafiği .....                            | 58 |
| Şekil 4.4.  | 18 No'lu parametre varyasyon analiz grafiği .....                 | 59 |
| Şekil 4.5.  | 125 kVA makine basma test grafiği .....                           | 62 |
| Şekil 4.6.  | 35-50-125 kVA makinaların basma test sonuçları .....              | 64 |
| Şekil 4.7.  | Bakalit'lenmiş cıvata kesiti .....                                | 65 |
| Şekil 4.8.  | Cıvata ayakları mikroskobik görseli .....                         | 66 |
| Şekil 4.9.  | Cıvata ayakları etrafı malzeme yapısı-1 .....                     | 66 |
| Şekil 4.10. | Cıvata ayakları etrafı malzeme yapısı-2 .....                     | 66 |
| Şekil 4.11. | Cıvata ayakları etrafı malzeme yapısı-3 .....                     | 66 |
| Şekil 5.1.  | 35 kVA makine ile kaynaklanmış cıvata görselleri .....            | 71 |
| Şekil 5.2.  | 35 kVA minitab ortalama değerler grafiği .....                    | 72 |
| Şekil 5.3.  | 35 kVA minitab S/N oran grafiği .....                             | 73 |
| Şekil 5.4.  | 50 kVA makine ile kaynaklanmış cıvata görselleri .....            | 74 |
| Şekil 5.5.  | 50 kVA minitab ortalama değerler grafiği .....                    | 75 |
| Şekil 5.6.  | 50 kVA minitab S/N oran grafiği .....                             | 76 |
| Şekil 5.7.  | 125 kVA makine ile kaynaklanmış cıvata görselleri .....           | 77 |
| Şekil 5.8.  | 125 kVA minitab S/N oran grafiği .....                            | 78 |
| Şekil 5.9.  | 125 kVA minitab ortalama değerler grafiği .....                   | 79 |
| Şekil 5.10. | Doğrulama deneyi Cp grafiği .....                                 | 80 |

## TABLolar DİZİNİ

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Tablo 2.1.  | 2018 yılı otomotiv firmaları yıllık üretim kapasiteleri ..... | 25 |
| Tablo 2.2.  | Çeşitli markalara ait punta sayıları. ....                    | 26 |
| Tablo 3.1.  | Deneylerde kullanılan sacın kimyasal kompozisyonu.....        | 44 |
| Tablo 3.2.  | Kalite laboratuvarı ekipmanları .....                         | 49 |
| Tablo 3.3.  | Kalite laboratuvarı kimyasal sıvılar.....                     | 49 |
| Tablo 3.4.  | Cp değerinin yorumlanması .....                               | 52 |
| Tablo 4.1.  | 35 kVA makine ile cıvata kaynak denemeleri .....              | 54 |
| Tablo 4.2.  | 35 kVA makine denemeleri Cp değer tablosu .....               | 55 |
| Tablo 4.3.  | 11 No'lu parametrenin Cp değer tablosu.....                   | 56 |
| Tablo 4.4.  | 50 kVA makine ile cıvata kaynak denemeleri .....              | 57 |
| Tablo 4.5.  | 50 kVA makine denemeleri Cp değer tablosu .....               | 58 |
| Tablo 4.6.  | 18 No'lu parametre Cp değer tablosu .....                     | 59 |
| Tablo 4.7.  | 125 kVA makine ile cıvata kaynak denemeleri .....             | 61 |
| Tablo 4.8.  | 125 kVA makine Cp değer tablosu.....                          | 62 |
| Tablo 4.9.  | 125 kVA en iyi parametreler karşılaştırma tablosu .....       | 63 |
| Tablo 4.10. | En iyi 3 parametre Cp değer tablosu.....                      | 64 |
| Tablo 5.1.  | Denemelerde kullanılacak parametreler dizini .....            | 69 |
| Tablo 5.2.  | 3X3 L9 taguchi ortogonal dizini.....                          | 69 |
| Tablo 5.3.  | L9 parametreler dizini.....                                   | 70 |
| Tablo 5.4.  | 35 kVA makine taguchi denemeleri sonuçları.....               | 70 |
| Tablo 5.5.  | 35 kVA makine S/N ortalamaları etki tablosu.....              | 71 |
| Tablo 5.6.  | 35 kVA makine ortalama değerler etki tablosu .....            | 72 |
| Tablo 5.7.  | 50 kVA makine taguchi denemeleri sonuçları.....               | 73 |
| Tablo 5.8.  | 50 kVA makine S/N ortalamaları etki tablosu.....              | 74 |
| Tablo 5.9.  | 50 kVA makine ortalama değerler etki tablosu .....            | 75 |
| Tablo 5.10. | 125 kVA makine taguchi denemeleri sonuçları.....              | 76 |
| Tablo 5.11. | 125 kVA makine S/N ortalamaları etki tablosu.....             | 77 |
| Tablo 5.12. | 125 kVA makine ortalamalar değerler etki tablosu .....        | 78 |
| Tablo 5.13. | 125 kVA makine doğrulama deney sonuçları .....                | 80 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|   |                         |
|---|-------------------------|
| D | : Çap, (mm)             |
| F | : Kuvvet, (Newton)      |
| H | : Yükseklik, (Metre)    |
| h | : Frekans, (Hz)         |
| I | : Akım, (Amper)         |
| Q | : Isı Enerjisi, (Joule) |
| R | : Direnç, (Ohm)         |
| s | : Kalınlık, (mm)        |
| t | : Zaman, (sn)           |
| T | : Periyot, (sn)         |
| V | : Voltaj, (Volt)        |

### Kısaltmalar

|      |   |
|------|---|
| AC   | : Alternating Current (Alternative Akım)  |
| AHSS | : Advance High Strength Steel (Gelişmiş Yüksek Mukavemetli Çelikler)              |
| ASL  | : Alt Sınır Limiti  |
| CP   | : Complex Phase ( Kompleks Bazlı)   |
| DC   | : Direct Current (Doğru Akım)   |
| DP   | : Dual Phase (Çift Faz)   |
| FB   | : Ferritic Beinitic (Ferritik-Beynitik)   |
| HF   | : Hot Forming (Sıcak Şekillendirilmiş)  |
| HV   | : Hardness of Vickers ( Vickers Sertliği)   |
| IEB  | : Isıdan Etkilenmiş Bölge   |
| KN   | : Kilo Newton   |
| MFDC | : Medium Frequency Direct Current (Orta Frekans Doğru Akım )                      |
| S/N  | : Signal/Noise ( Sinyal/Gürültü )   |
| TRIP | : Transformation Induced Plasticity Steel (Dönüşüm Kaynaklı Plastisite Çelikleri) |
| TWIP | : Twinning Induced Plasticity Steel (İkizlenme Kaynaklı Plastisite Çelikleri)     |
| ÜSL  | : Üst Sınır Limiti  |

# PROJEKSİYON KAYNAĞI İLE DUAL FAZ ÇELİĞE CIVATA KAYNATILMASI VE TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE PARAMETRE OPTİMİZASYONU

## ÖZET

Otomotiv sanayi birçok birleştirme tekniklerinin kullanıldığı bir endüstridir. Bu sektör de farklı ve aynı türdeki sacların birleştirilmesi işleminde kaynak ile birleştirme yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. En yaygın kaynak ile birleştirme yöntemi direnç (punta) kaynağı yöntemidir. Direnç kaynağında minimum 2 sac metal kaynak ile birleştirilir. Projeksiyon kaynağı ise direnç kaynağının alt kolu olup, somun veya civataların birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Araç gövdesinde kaynak ile birleştirme yapılamayan ve belirli tork değerine sahip olması gereken noktalarda civata ve somun ile birleştirme yapılmaktadır. Yöntemin otomasyona uygunluğu, seri bir üretim yöntemi olması, çevre dostu ve temiz bir metot olması, işçi sağlığı ve emniyeti açısından risklerin az olması nedeniyle tercih edilen ve günümüzde de popülerliğini koruyan bir yöntemdir. Projeksiyon kaynağını belirleyen ana parametreler, kaynak akımı, kaynak zamanı, basınç ve malzeme türüdür. Bunların dışında kaynak makinasının tipi, parça kalınlığı, elektrot tipi gibi etkenlerde kaynak kalitesini etkilemektedir. Gelişen teknoloji ve değişen malzeme türleri, otomotiv endüstrisini alternatif parametre arayışlarına itmektedir. Malzeme mukavemetinin artması, kaynak kalitesini doğrudan etkilemekte ve standart sapması yüksek kalitesel sonuçlara neden olmaktadır. Bu çalışma da M6 civata kaynağında yaşanan varyasyon problemi incelenecek ve kaynak davranışına göre parametre optimizasyonu yapılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Birleştirme Teknikleri, Civata Kaynağı, Direnç Kaynağı, Projeksiyon Kaynağı.

## **PROJECTION BOLT WELDING TO DUAL PHASE STEEL AND WELDING PARAMETER OPTIMIZATION BY USING TAGUCHI METHOD**

### **ABSTRACT**

Many joining methods are being used in automotive industry. It's frequently used on joining of similar or dissimilar sheet metal parts in automotive industry. The most common joining method is resistance welding method. Minimum 2 sheet metals are joined in resistance welding. Projection welding which, is sub division of resistance welding, is used for joining of nut's and bolt's. At the point of which is not allowed to apply any welding methods or required certain torque, nut's and bolt's joining methods are often used in car body. The advantages of projection welding are as follows; it is rather clean and friendly process for environment, easy to automatisation and easily applicable method, less risk for operator healthy. Main parameters are welding current, welding time, pressure and material type is determine the quality of welding. Except those, type of welding machine, material thickness, electrode type are also effect quality of welding. Automotive industry is being forced to develop new parameters for catching new material trend. Due to hardness of material increasing, quality of spots have been effected directly. In this study, the variation problem of M6 bolt projection welding will be researched and parameter optimization will be done.

**Keywords:** Joining Methods, Bolt Welding, Resistance Welding, Projection Welding.

## **GİRİŞ**

Kaynak ile birleştirme yöntemi, otomotiv sanayinin gelişmeye başladığı ilk yıllardan itibaren oldukça yaygın kullanılan ve kullanımı giderek artan bir yöntem olarak gelişmiştir. Sektördeki mühendislerin ve bu alanda çalışan akademisyenlerin kullandıkları malzemeleri birleştirme çabaları farklı kaynak yöntemlerinin gelişmesine katkıda bulunmuştur. Kaynaklar ergitmeli ve ergitmesi olarak ikiye ayrılabilir. Ergitmeli kaynak yöntemlerinde, malzemelerin elektrik enerji kullanılarak veya kullanılmadan sıvı metal kıvamına gelinceye kadar ısıtılması yöntemiyle yapılmaktadır. Bu yöntem de ergiyen metallerin kimyasal kompozisyonları yakın olmalıdır. Ergitmesiz kaynak yöntemlerinde ise malzemelerin ergime noktalarının altında bir sıcaklığa kadar ısıtılıp birleştirilmeleri sağlanmaktadır [1].

Günümüz otomotiv sektöründe emniyet standartlarının iyileştirilmesi ve araç hafifletme çalışmaları, araştırmacıları farklı malzemelere, dolayısıyla farklı imalat ve kaynak yöntemlerine yöneltmiştir. Araç üretim süreçlerinin en önemli aşamalarından biri olan gövde imalatında birleştirme teknikleri sürekli gelişmektedir. Yeni bir teknik olmamasına rağmen günümüzde hala en önemli birleştirme yöntemi elektrik direnç nokta kaynak yöntemidir.

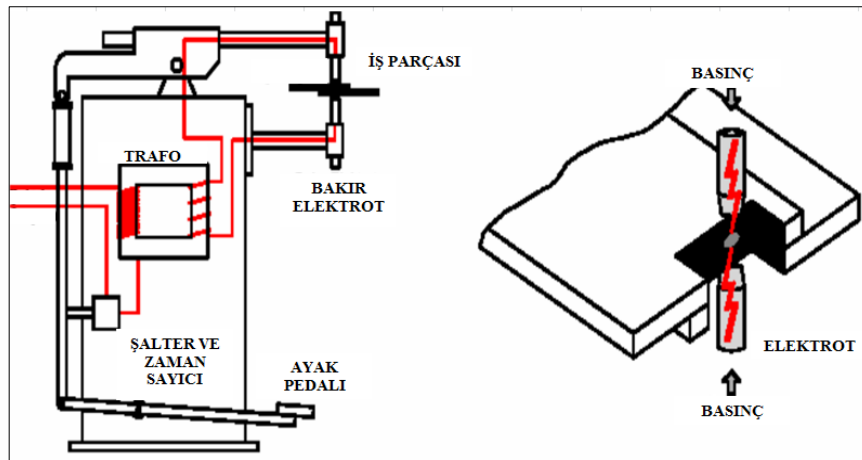
Otomotiv sektöründe her zaman kalite beklentisi had safha da olup, üretim hızları çok yüksektir. Yüksek seviye de otomasyonun kullanıldığı bu sektörde rekabetçiliğin artması için mühendisler alternatif malzemeler ve bunların birleştirilmesi için gelişen teknolojiye ayak uydurmaya çalışmaktadır.

Araç gövdesinin dayanım bakımından belirli belgelendirmeleri alıp çarpışma testlerini geçebilmesi, gövde de kullanılan birleştirme tekniklerine doğrudan bağlıdır. Bu bağlamda kaynaklı ve kaynaklı olmayan birleştirmeleri çok önem kazanmaktadır.

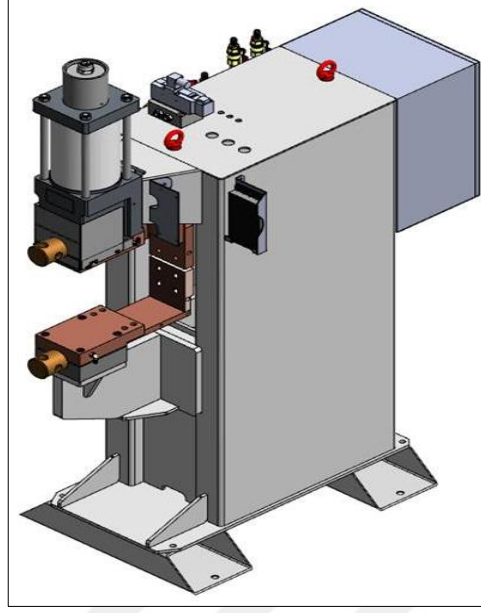
## 1. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

### 1.1. Direnç Punta Kaynağı Prensibi

Elektrik direnç nokta kaynağının prensibi, elektrotlar arasında belirli bir kuvvet altında tutulan iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, parçalarının gösterdiği direnç nedeniyle meydana gelen ısı ve buna bağlı olarak oluşan ergime ile yapılan kaynak yöntemidir. Birleştirilecek parçaların temas yüzeyi, kısa bir süre etki altında bırakılarak düşük gerilim ve yüksek akım ile ısıtılarak ve ergitilir. Ergiyen metal yüzey baskı altında tutulmaya devam eder ve katılarak kaynak çekirdeğine dönüştürülür. Bu yöntemde kaynak süresi ortalama olarak saniyenin 5'te biri kadar kısa bir sürede tamamlanır. Elde edilen çekirdeğin şekli ve boyutu öncelikle elektrot ucunun çapı ve geometrisiyle belirlenir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi kaynak çekirdeği iki iş parçasının temas yüzeylerinde meydana gelir ve dış yüzeylere kadar yayılmaz. Kesit alınırsa, uygun bir şekilde yapılmış kaynağın çekirdeğinin daire şeklinde olduğu görülür. Üstten görünüşü ise elektrot yüzeyiyle yaklaşık aynı boyuttadır. Kaynak noktaları, parçaların elektrot kuvveti ile ergiyik metalin sıkışarak parçalar arasındaki boşluktan hızla çıkıp sıçrantı oluşumunu önlemek için kenarlarından yeteri kadar uzakta olmalıdır. Diğer yandan, paralel akım oluşmaması için ardışık punta noktalarında minimum 25 mm boşluk olmalıdır.



Şekil 1.1. Nokta direnç kaynak makinesi temel bileşenleri [2]



Şekil 1.2. Direnç kaynak makinesi [2]

Kaynak için gerekli akım, şebekeden 380V olarak gelen gerilimi genellikle 24V DC'ye çeviren makinalar ile sağlanır. Isı girdisi Denklem (1.1) ile, dirençlerin toplamı ise Denklem (1.2) ile hesaplanabilir,

$$Q=I^2.R.t \quad (1.1)$$

Burada,

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad (1.2)$$

Bu dirençler; malzeme ve temas dirençleri olarak ikiye ayrılır.

a) Malzeme dirençleri:

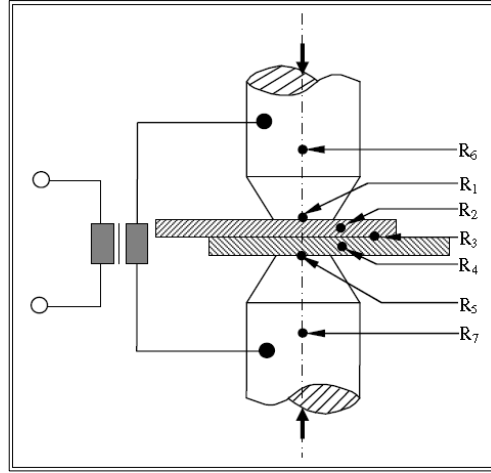
$R_6, R_7$  elektrotların direnci

$R_2, R_4$  iş parçalarının dirençleri

b) Temas dirençleri:

$R_1, R_5$  elektrot - malzeme temas direnci

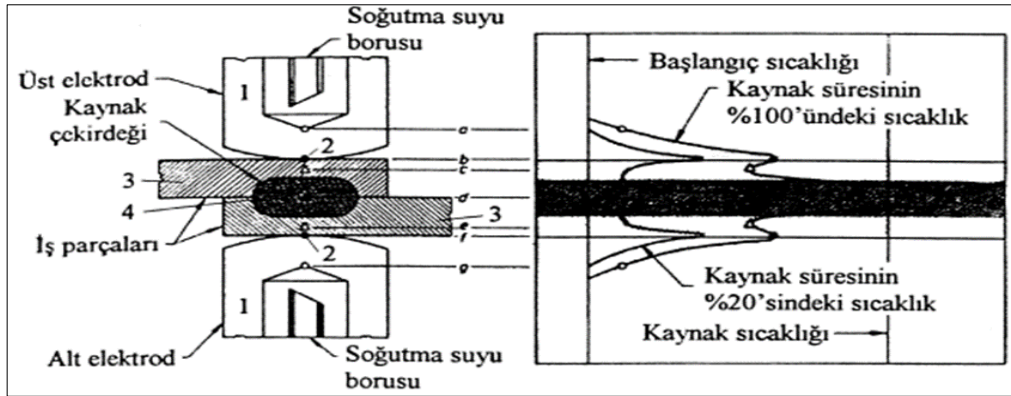
$R_3$  malzeme - malzeme temas direnci



Şekil 1.3. Elektrik direnç kaynağında meydana gelen dirençler [3]

Malzeme direnci, malzemenin fiziksel özelliklerinden kaynaklanır ve sabit bir değerdir. Temas dirençleri ise, malzemenin ve elektrotların uç durumlarına bağlıdır. Kaynak esnasında  $R_3$  direnci, en büyük ısının gerçekleşeceği direnç olarak seçilir. Diğer dirençlerdeki ısınmaların mümkün olduğunca küçük olması kaynak kalitesi açısından önemlidir. Bu ise,  $I$  kaynak akımının,  $t$  kaynak süresinin ve  $F$  elektrot kuvvetinin seçimiyle sağlanır. Temas dirençleri kaynak kalitesine etki ederler [4].

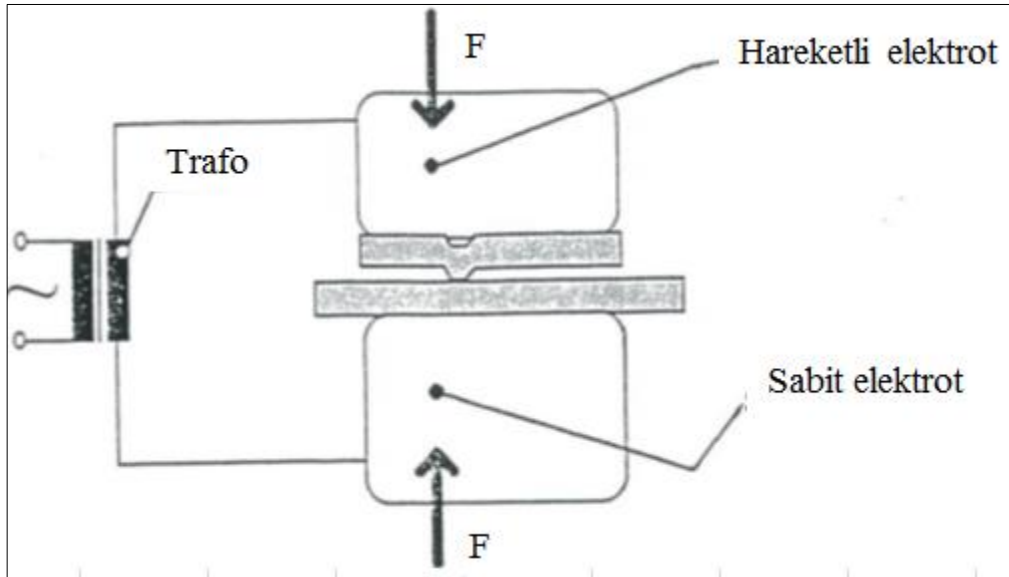
$R_1$  ve  $R_5$  temas bölgelerindeki ısınma, mümkün olduğunca düşük tutulur. Bu ise, ısıyı iyi ileten elektrot ve malzeme yüzeyleriyle sağlanır. Temas dirençleri, farklı büyüklükte ısı miktarlarına ve bağlantı mukavemetinin farklılaşmasına yol açar [5]. Şekil 1.4' te nokta direnç kaynağında sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Punta kaynak çekirdeğinin oluştuğu noktada sıcaklık en yüksek seviye ulaşmaktadır.



Şekil 1.4. Nokta direnç kaynağında bölgeler, dirençler ve sıcaklık dağılımı [6]

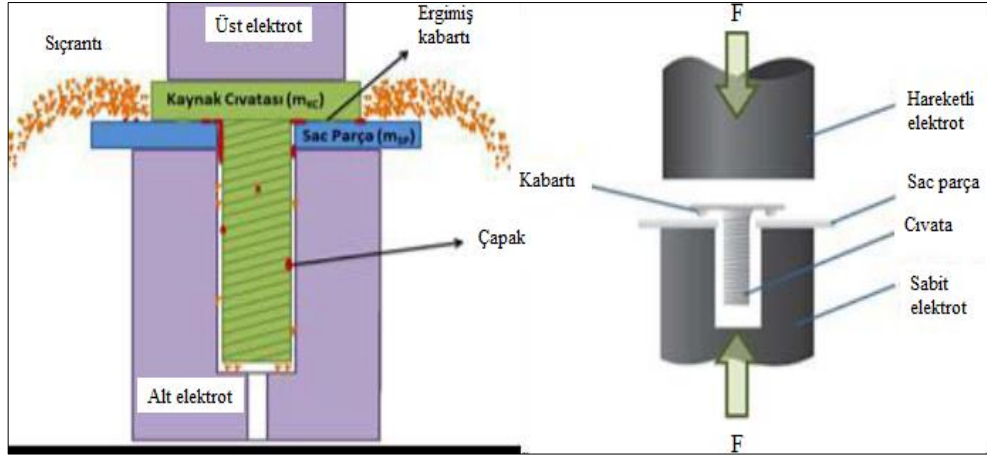
## 1.2. Projeksiyon (Kabartı) Kaynağı Prensibi

Projeksiyon kaynağı, direnç kaynağının bir alt kolu olup, belirli bir kuvvet altında, alt ve üst elektrotlar arasına sıkıştırılmış malzemenin üzerinden belirli bir sürede geçirilen akım vasıtasıyla yapılan bir birleştirme işlemidir. Prensip olarak punta kaynağı ile benzer bir yapıdadır. Projeksiyon kaynak yönteminde kullanılan elektrot tipleri farklı olup kaynatılacak malzemeye göre farklı tasarımlar da olabilir. Somunlar ve cıvataların kaynakları projeksiyon kaynağı olarak adlandırılır. Projeksiyon kaynağında, kaynak akımı, somun veya cıvatanın ayaklarındaki (kabartılarındaki) bölgelerden yoğunlaşarak geçer ve buralarda ergime başlatır. Ergime için yeterli sıcaklığa ulaşıldığında ayaklar erir ve ana metal ile etkileşim başlar. Kaynak makinası üzerinden girilen parametrelere göre, akımı uygulaması bittikten sonra soğumaya bırakılır. Soğuyan kabartılar spot çekirdeği benzeri yapılar oluşturur ve ana malzemeye kaynar. Somun kaynaklarında delik merkezlemesi amacıyla elektrik iletimi olmayan malzemeden yapılmış somun pimleri kullanılmakta olup seramik veya KCF malzemeden imal edilmektedirler. Bu kaynak yöntemi basit gibi görünmesine rağmen elektrik, mekanik ve ısı transferi gibi birçok prensipleri içinde barındıran karmaşık yapıda bir yöntemdir. Araştırmalar göstermiştir ki bu kaynak yöntemiyle yapılan yayın sayısı oldukça azdır.

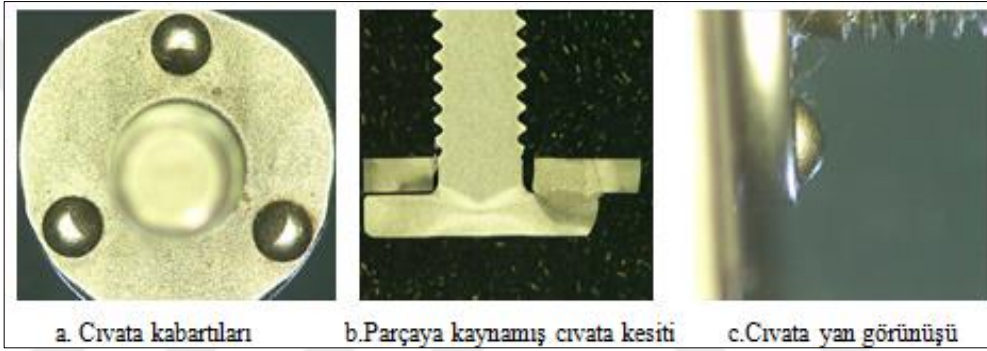


Şekil 1.5. Kabartılı punta kaynağı prensibi [7]





Şekil 1.6. Cıvata projeksiyon kaynağı [8]



Şekil 1.7. Cıvata projeksiyon kaynağı kesitleri

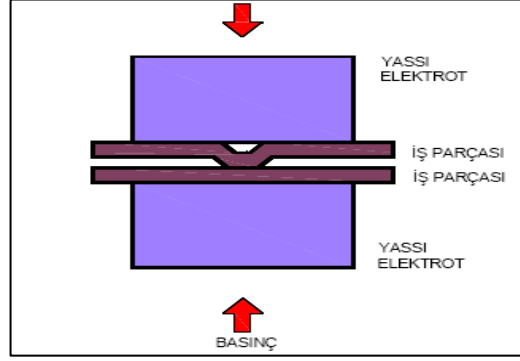
Kabartı punta kaynağında, temas yüzeyi Şekil 1.7’de görüldüğü gibi çok küçüktür. Sabit ve hareketli elektrotlardan oluşan ve her iki elektrotun kuvvet taşıdığı bu yöntemde, temas yüzeyi düşük olduğu için bu noktalarda birim alanlardaki ısı yoğunluk seviyesinde artış meydana gelmektedir. Isınan bu temas yüzeylerinde kabartılar, plastik şekil değişimine hazır hale gelir ve elektrotlardaki kuvvet sayesinde malzemeler birbirine yapışır ve sonuçta birleşme sağlanmış olur.

Kabartı kaynağı daha çok küçük parçaların, somunların ve saplama tarzı parçaların montajında kullanılan bir yöntemdir. Kullanılan teçhizatlar benzerlik göstermekte olup elektrot seçimleri kaynak tipini belirler.

### 1.2.1. Cıvata kaynağında kabartının önemi

Kabartılı direnç kaynağı, seri imalat için hızlı ve ekonomik bir birleştirme yöntemidir. Uygulamadan yararlanılarak, çoğunlukla sac malzemelerin, tek işlemde iki veya daha çok noktasının birleştirilmesi gerçekleştirilebilmektedir. Malzemeler üzerindeki

çarpılmaların az olması kaynaklı birleştirmenin önemli avantajlarından. Otomotivde 0,3 mm toleranslar ile çalışıldığı düşünülürse bu avantaj yöntemin tercih edilme sebepleri arasında ilk sıradadır denilebilir.

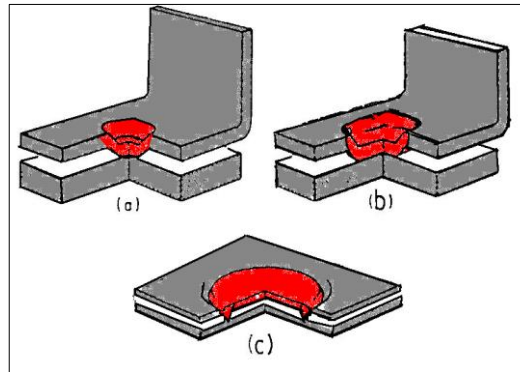


Şekil 1.8. Kabartı kaynağı uygulaması [7]

Kabartılardan aşağıdaki özellikler beklenir;

- 1) Kaynak akımı öncesi uygulanan elektrot kuvveti altında çökmeyecek dayanıma sahip olmalıdır.
- 2) Kaynak akımının geçişi sırasında form alması yavaş olmalıdır. Isı iletimi yüksek direnci düşük olan alüminyum ve bazı bakır alaşımlarının kabartılı kaynağı bu nedenle çok güçtür.
- 3) Kabartı yükseklikleri aynı olmalıdır. Aksi takdirde akım geçişi farklılaşarak kalitesel olarak problemlere neden olur.
- 4) Şekil verilmesi sırasında ana malzemede çarpılmalara neden olmamalıdır [7].

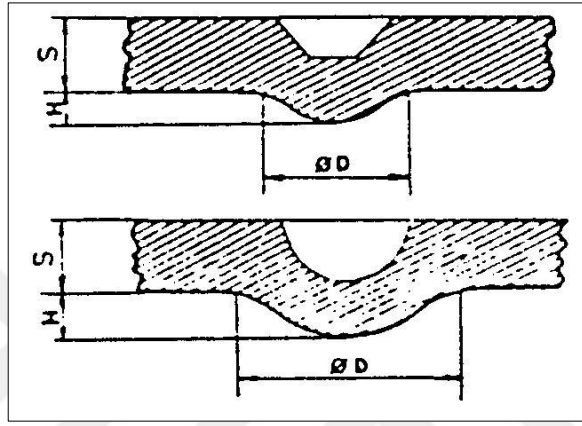
Bu şartları sağlayan üç çeşit kabartı mevcuttur:



Şekil 1.9. Kabartı kaynağı çeşitleri [7]

### 1.2.1.1. Nokta kabartı

Bu kabartılar ince levhalarda kabartma kalıpları kullanarak, kalın levhalarda ise damgalama veya dövme işlemi ile elde edilirler. Kabartma kalıplarında üretilmiş kabartıların dış yüzeyleri küreseldir. İç kısımları ise, kullanılan ıstampanın şekline bağlı olarak kavisli veya köşeli (Şekil 1.10 ) olabilir. Kabartı boyutları, H yüksekliği ve D taban çapı ile belirlenir. Bu boyutlar levha kalınlığına bağlı olarak değişir [7].



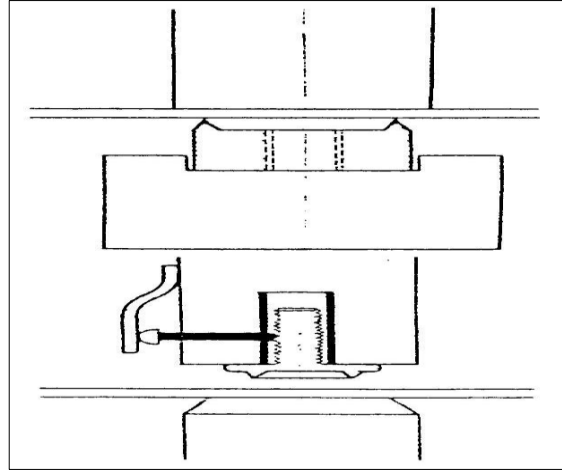
Şekil 1.10. Nokta kabartı görünümü [7]

### 1.2.1.2. Uzun kabartı

Uzun kabartı yöntemi, nokta kabartının yeterli mukavemet sağlamadığı zaman kullanılır. Verilen bir levha kalınlığı için, uzun kabartının yüksekliği nokta kabartının yüksekliği, eni ise nokta kabartının taban çapı kadardır [7].

### 1.2.1.3. Halka biçimli kabartı

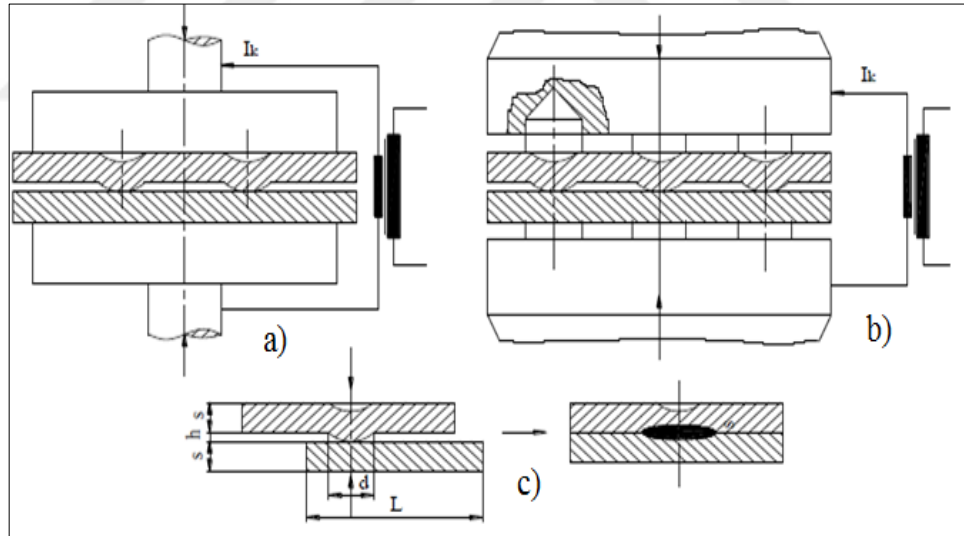
Bu tip kabartılar genellikle 0,6 mm'den daha ince sacların kabartı kaynağında tercih edilir. Bu tip kabartının kaynak akımı öncesi elektrot kuvvetine karşı gösterdiği mekanik direnç, nokta kabartıya nazaran daha yüksektir. Bu tip kabartılar gaz ve su sızdırmaz kaynak dikişi istendiğinde ve boruların levhalara kaynağında kullanılır. Sac eşya ve otomobil gövdesi gibi birçok sanayi kolunda, cıvata, somun gibi parçaların saclarına kaynatılmasında bu kabartı tipi kullanılır [7].



Şekil 1.11. Somun ve civatanın kaynakılmasında halka biçimli kabartı [7]

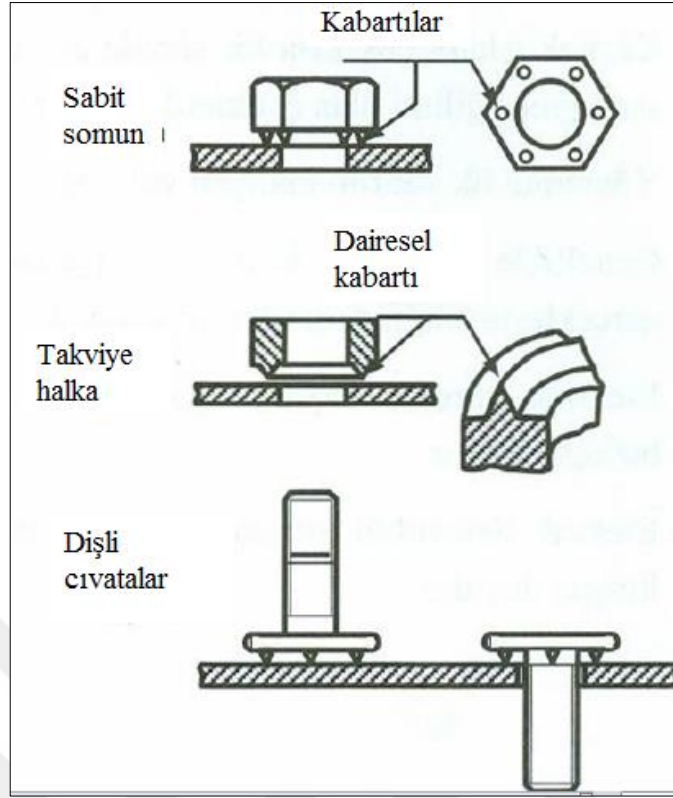
### 1.2.2. Kabartılı kaynak işleminin esası

Yöntemde kaynak akımı, oluşturulan çıkıntılardan aktığından, kaynak belirli bir kısım olarak sınırlandırılmış olmaktadır (Şekil.1.12) .



Şekil 1.12. Kabartı kaynağı işlem esası çıkıntı örnekleri [7]

- Düz elektrot düzenlemeli
- Nokta sayısı kadar elektrot düzenlemeli
- İşlemin yapılışı kaynaktan önce ve sonra



Şekil 1.13. Projeksiyon kaynakları örnekleri [7]

### 1.2.3. Kabartılı direnç kaynağının üstünlükleri

- Elektrot'un tek hareketi ile birkaç nokta aynı anda kaynak edilebilmektedir.
- Kaynak akımı ve bununla birlikte birleşecek bağlantı elemanının ısıdan etkilenmesi eşit olup kabartılar boyunca yayılım göstermektedir.
- Elektrot yüzeyinin büyüklüğü nedeniyle, daha düşük akım yoğunluğu oluşmakta ve elektrot ömrü uzun olmaktadır.
- İşlemden basınç uygulamasıyla yüzeyde bir deformasyon oluşmaması daha güzel dış görünüme ulaştırmaktadır.
- Otomasyona uygun olması maliyet açısından tasarruf sağlamaktadır [7].

### 1.2.4. Kabartılı direnç kaynağında kullanılan kaynak makineleri

Kabartılı kaynak için düzenlenmiş kaynak makinelerinde, 15 kVA ile 800 kVA arasında güce sahip makineler kullanılmaktadır. Uygulanan akım şiddeti ise 100 kA'ya kadar olabilmektedir. Elektrot'a uygulanan kuvvet ise, pnömatik veya hidrolik olarak üretilmekte ve 40 kN'ye kadar çıkabilmektedir.



Şekil 1.14. Direnç / projeksiyon kaynak makinası

Bu tür kaynak makinelerinde, basınç ve akım şiddetlerinin kontrolü, elektronik bir zaman ayarlayıcı aracılığıyla sağlanmaktadır. Kaynak ünitesinin kazalara karşı emniyeti açısından, çift kademeli sigortalarla donatılmış olmaları gerekmektedir.

#### **1.2.4.1. Projeksiyon kaynağında kullanılan timer tipleri**

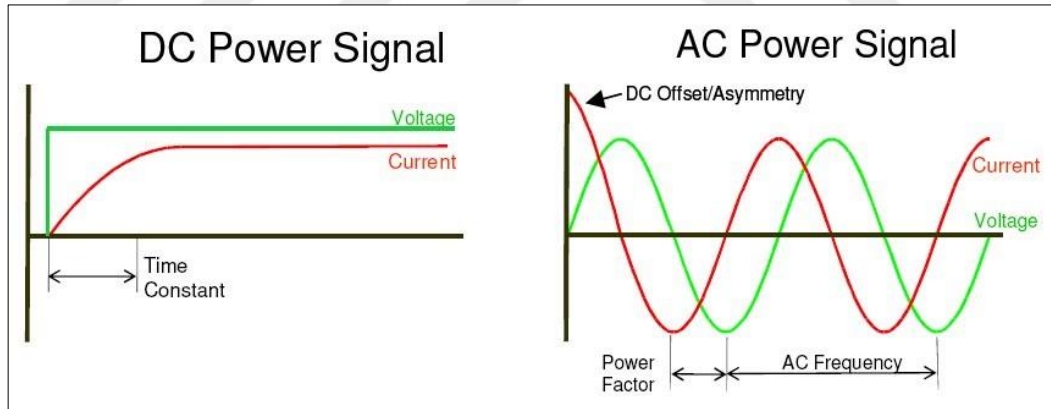
**AC Timer kaynak makinası:** Şebeke akımı 50 Hz'lik frekans ile çalışmaktadır. AC timer'larda 1 sn'de 50 kez dalgalanma olmaktadır. Sinüs eğrisi şeklinde iletilen akımın parçaya iletilip, geri besleme olarak makinaya dönüşü bu süre içerisinde olur. AC timer'ların ilk yatırım maliyeti DC timer'a göre daha düşüktür. Akım tekrar kabiliyeti daha düşüktür. Kaynak hızlarında DC timer'a göre daha düşük olduğu söylenebilir. Adaptif kontrol yapılamaz.

**MFDC timer kaynak makinası:** MFDC teknolojisi, üç fazlı beslemesi olan bir inverterin, akımı doğrultup filtreleyerek 500 V ve 1000 Hz alternatif gerilim üretilip doğrultulmuş kaynak akımı sağlayan uygun bir trafoya beslemesidir. Bu teknoloji ile, 1000 Hz'de yapılan kaynakta kompakt pulse formu ile yüksek güç elde edilir.

1 msn'deki regülasyon ve indüktif kayıpları düşürülerek dinamik bir regülasyon sağlanır. Şebeke akımı inverter vasıtasıyla 1000 Hz 'e yükseltilir. Bu yöntem ile adaptif kontrol yapılabilir. Yani kaynak noktasından alınan geri besleme ile

uygulanan akım, set akımın altında kalıyorsa, makine otomatik olarak akımı yükselterek kaynak noktası için gerekli ısı enerjisini stabil tutabilir. Bu özellik DC timer'lerde yoktur. Ayrıca sn'de 1000 kez'lik geri besleme alması, AC timer'a göre 20 kat daha hızlı bir iletim sağlamaktadır. İlk yatırım maliyeti nispeten yüksektir. Soğutma bu kaynak için çok önemli olup diyetlerde yanmalara sebep olabilir. Bu yöntemin diğer avantajları aşağıdaki gibidir.

- Punta başına maliyet %25 civarında az olduğu tahmin edilmektedir.
- Kısa kaynak zamanı ve düşük akım yüklerinden ötürü elektrot ömrü fazladır.
- Akımın her milisaniyede kontrolü sayesinde çok hassastır.
- Hassas parametre ayarı sayesinde yüksek kaynak kalitesi sağlanabilir.
- Alüminyum, titanyum, yüksek mukavemetli çeliklerde yüksek kaynak kabiliyeti sağlar.
- Üç ya da dört malzemeye aynı anda kaynak yapabilme kabiliyeti vardır.
- Titanyum ya da galvaniz kaplamalı malzemelerde düşük kaynak izi, yüksek dikiş kaynağı hızı sağlar.



Şekil 1.15. AC ve DC akım grafiği [9]

### 1.2.5.Direnç ve projeksiyon kaynağı tarihçesi

Direnç kaynağı 1877'de Elihu Thompson tarafından bulunmuştur. 1898'de az karbonlu çeliklerde direnç nokta kaynağı olarak uygulanmıştır. 1960'lerde otomotiv üreticileri galvanizli çeliğe direnç nokta kaynağını uygulamaya başlamışlardır. Direnç kaynağının bir alt kolu olan projeksiyon kaynağı ise yaklaşık 40 yıldır endüstride uygulanan bir yöntemdir [10].

### **1.2.6.Direnç kaynağı avantajları**

Sac metal parçaların kaynaklanabilme hızlarının çok yüksek olması ve yüksek hacimli üretimlerde otomasyona adapte edilebilirliği en önemli avantajlardır. IEB'lerin az olması, kaynak sonrası malzemenin içyapısının bozulmaması direnç kaynağının tercih edilme sebepleri arasındadır. Ayrıca dayanıklı ve birbirine göre aynı özelliklere sahip bağlantılar oluşturulur.

Kaynaklanmış parçalar farklı prosesler'de birbirleriyle birleştirilebilirler. Yaralanmalı kaza risklerinin az olması ve operatör çalışma ergonomisine uygun oluşu da diğer sunduğu avantajlardır [11]. Direnç kaynağında elektrot değişim frekansları projeksiyon kaynağına göre daha yüksektir.

### **1.2.7.Direnç kaynağı dezavantajları**

Kontrol altında tutulması gereken kaynak parametreleri çok fazladır. Bazı kaynaklara göre 100'den fazla parametrenin kaynak kalitesini etkilediği düşünülmektedir. Parametrelerin doğru optimizasyonu sağlanmadığı takdirde sıçramalar(çapak) görülebilir. Bu durum istenmeyen kalitesel problemlere ve zamanla korozyona neden olabilir. Bu yöntem tüm metal malzemelere uygulanamayabilir. Bakır ve pirinç malzemelere kaynak yapılamaz. Alüminyum gibi ısı iletimi yüksek malzemelerde direnç oluşumu çok az olacağı için çok yüksek ısı enerjileri gerekir. Tüm kaynaklı birleştirmelerde elektrotlar belirli frekanslarda değiştirilmelidir. Aksi takdirde elektrot yüzeyinde parça kalıntıları oluşur ve akım geçişini engelleyerek kalitesel problemlere yol açar. Kalitesel olarak varyasyonları kesmek robotik sistemler ile mümkündür ancak robotik sistemlerde ilk ekipman yatırım maliyeti yüksektir [12].

### **1.2.8.Direnç kaynağı uygulama alanları**

Otomotiv ve beyaz eşya sektöründe bakır ve pirinç dışı sac malzemelere uygulanabilen bir kaynak yöntemidir. Somun-cıvata bağlantısı yapılan metallerin montajında kolaylıkla kullanılabilir. Araç gövdesi, tampon bağlantıları, koltuk bağlantılar buzdolabı kondenserlerinde yaygın olarak kullanımını sürdürmektedir.



### **1.2.9. Direnç kaynak periyotları**

Punta kaynağı 5 evreden oluşur. Bunlar;

#### **1.2.9.1.Sıkıştırma evresi**

Üst elektrot'un parçalara baskı uygulama evresidir. Parçalar belirlenen basınç altında sıkıştırılır. Bu evrede akım uygulanmaz. Parçalar arasındaki boşlukların giderilmesi ve baskının sağlanması için gerekli ilk evredir. Pnömatik tahrikli makinalarda, üst elektrot'un parçaya ilerlemesi sırasında belirli bir süre geçer. Sıkıştırma evresi bu süre boyunca silindire zaman tanır ve parçaya ulaşmasını sağlar. Sıkıştırma zamanı düşük olarak girildiği takdirde, kaynak makinası arızaya geçecektir.

#### **1.2.9.2.Kademeli artış (rampa) evresi**

Kaynak akımının kademeli olarak artırılarak rampa uygulama evresidir. Bu parametre, parçalar arasındaki boşlukların çapak oluşumlarına neden olmaması adına ön ısıtma yapma evresidir. Rampa uygulamasında akım, direkt olarak verilmek yerine kademeli olarak belirlenen süre içerisinde verilir. Genellikle sıçramaları azaltmak amacıyla kullanılan bir parametredir. Sert ve kalın malzemelerde rampa uygulaması tavsiye edilir.

#### **1.2.9.3.Kaynak uygulama evresi**

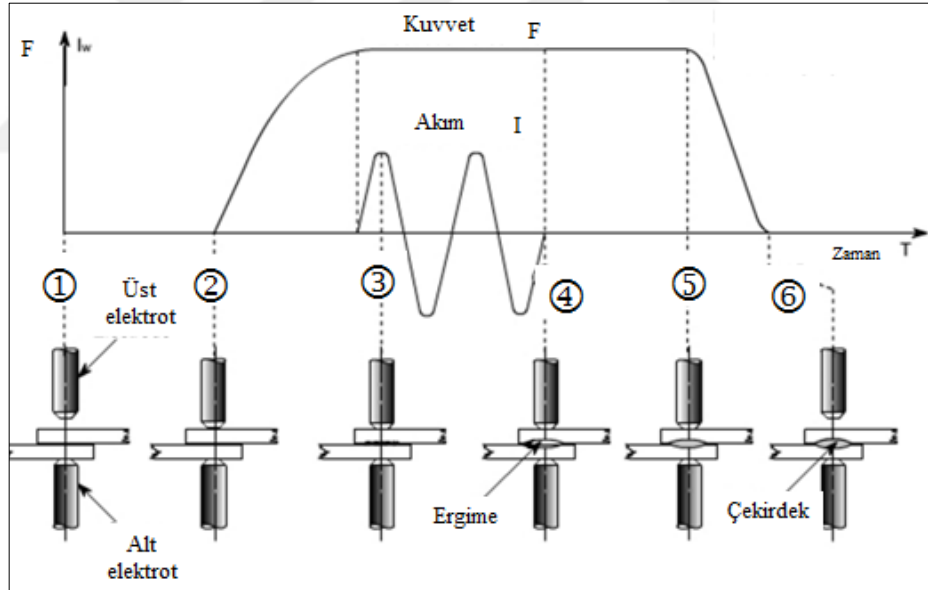
Kaynak akımı belirlenen değerde kontrol ünitesine girilir, oluşan akım parça üzerinden üst elektrot'tan alt elektroda doğru geçer ve ergimeyi başlatır. Akım, belirlenen süre boyunca uygulanır. Bu esnada baskı kuvveti devam etmektedir. Ergime başladığında parçalar temas yüzeylerinden birbiri içine geçerek kaynar. Akımın yüksek girilmesi durumunda ergime fazla olacak ve baskı altında kalan ergimiş metal parçaları dışarı fıskıracaktır. Bu durum çapak oluşumu olarak adlandırılır ve aşırı çapaklar ufak çaplı yaralanmalara neden olabilir. Ayrıca cıvata dişlerinde erimeler, ısı kaynaklı çarpılmalar, aşırı yanık izleri de parçanın kondüsyonunu bozmakta ve fonksiyonel özelliklerini yitirmesine neden olabilmektedir. Otomotiv sektörün de montaj için hayati önem taşıyan bağlantı elemanlarında oluşabilecek deformasyonlar, montaj hattında problemlere yol açarak imalat kayıplara yol açabilir.

#### 1.2.9.4.Tutma evresi

Tutma evresinde kaynak akımı kesilir ancak baskı hali devam eder. Yüksek ergime sıcaklığına ulaşan kaynak banyosu, direkt olarak ortam sıcaklığına bırakıldığı takdirde ani soğumalar olacak ve kaynak bölgesinde kılcal çatlaklar oluşturacaktır. Soğuma hızının yavaş olması çatlak oluşumlarını önler. Bu yüzden tutma evresi için gerekli zaman makineye tanımlanmalıdır.

#### 1.2.9.5.Ayrılma evresi

Kaynak tamamlandıktan sonra üst elektrot'un açılması ve bir sonraki kaynağa geçmesi için gerekli süredir. Bu değer makinaların özelliklerine göre değişmekle birlikte kısa tutulmasında ki tek sakınca, birbirine 25 mm den daha yakın olan puntalar'dan paralel akım oluşarak kaynak çekirdek çapının düşmesi ihtimali az da olsa vardır.



Şekil 1.16. Kaynak çevrimi [13]

#### 1.2.10.Direnç kaynağı parametreleri

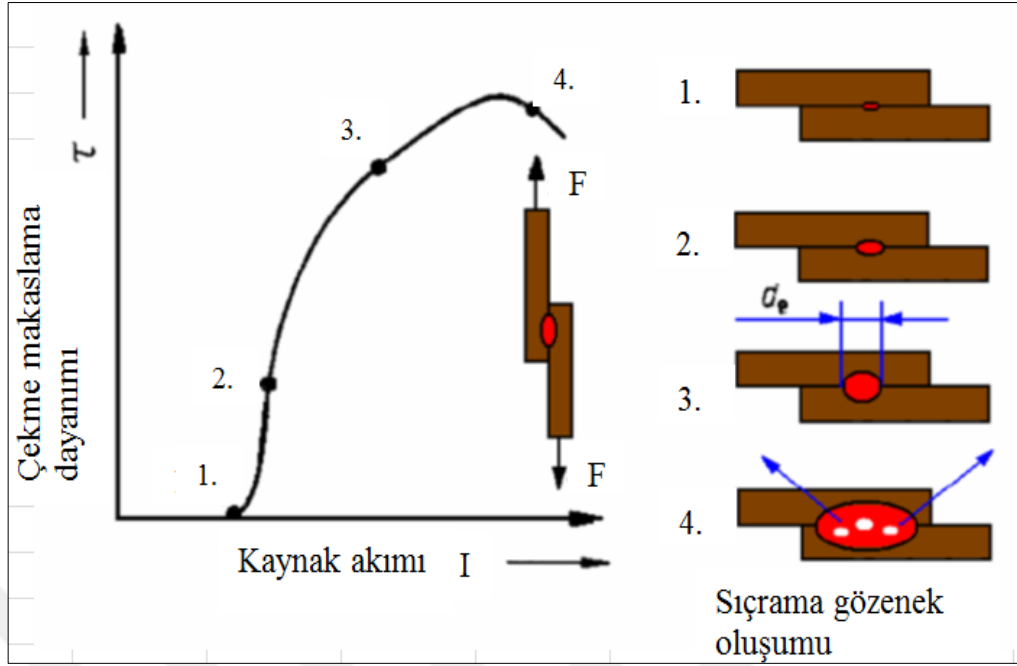
Direnç kaynağının mukavemetini kaynak akımı, kaynak zamanı ve kuvvet etkiler. Düşük karbonlu saclar, bu etkenlerin çok farklı değerlerinde başarıyla kaynatılabilirken, galvanizli saclar için bu geçerli değildir. Sert malzemelerde de

kaynak mukavemeti çok değişken sonuçlar vermekle birlikte bu çalışmanın da konusudur.

### **1.2.10.1 Kaynak akımı**

Makine trafosunda gerilim dönüştürülerek, kontrol nitesi üzerinde girilen akım değeriyle elektrotlar üzerinden parçaya ulaşır. Oluşan ısının büyük bir kısmı çekirdek oluşumu için kullanılırken kalan kısım ise kaynak noktasında ısı iletimi, taşınımı ve ışınlımıyla kaybolmaktadır. Bu kaybın miktarı tam olarak hesaplanamamaktadır.

elik türevi malzemelerin kaynağında, bakır bazlı elektrotlar kullanılmakta ve bu elektrotların ısı iletkenliği fazla olduğu için çabuk soğumaktadır. Bu nedenle de parçaların ara yüzeyinde ısı yoğunlaşma maksimumuna ulaşmakta ve ergime burada gerçekleşmektedir. Akım belirlenirken, hesaplanan teorik akım değeri göz önüne alınarak makinaya girilmesi gereklidir. Bu kayıplar, iş parçalarından havaya çeşitli ısı taşınım yollarıyla geçmektedir. Kaynak için kullanılan akımının arttırılması, kaynak yüzeylerindeki ısının artmasını sağlaması açısından önemlidir. Ancak akımın da bir st sınır vardır. Eğer akım değeri çok yüksek ise, akımın etkisiyle elektrotların temas ettiği yüzeylerdeki okmeler, hem metallerin ara yüzeyinde ısının yüksek olması hem de temas halindeki bu noktalarda ısının normalin üstüne çıkmasından dolayı çok artacaktır. Bu durumda saclar delinebilir, deforme olabilir ve kalitesiz, uygun olmayan bir kaynak işlemi yapılmış olur. Özellikle ince saclar da bu konu dikkat edilmesi gereken bir konudur. Elektrotların temas halindeki yerlerde ergimiş metalin olması elektrotların ömrünü, punta'nın kalitesini, punta kaynak zamanını olumsuz etkiler. Aynı zamanda, ergimiş metalin fazla olması sac kenarlarından apak çıkmalara neden olabilir [20]. Eğer kaynak akımı çok yüksekse, sa kalınlığı boyunca ısınarak plastik bölgeye geçer, eriyik metal aşırı apak çıkmasına neden olur.



Şekil 1.17. Kaynak akımının çekme makaslama dayanımına etkisi [2]

Her bir elektrot için, istenmeyen punta kalitesine sahip kaynakların oluşmasına neden olan bir üst akım limiti vardır. Şekil 1.17’de de görüldüğü gibi; grafikteki 4 numaralı noktadan itibaren, sıcak metalin etrafa sıçramaya başladığı görülmektedir ve aslında bu üst limit, kaynak sırasında kullanılacak akımın üst limitidir. Üretim yaparken her zaman bu akım değerinin üst sınır olarak belirlenmesi gerekmektedir.

### 1.2.10.2. Kaynak kuvveti

Kaynak kuvveti veya elektrot kuvveti, kaynak çevrimi boyunca elektrotlar tarafından iş parçalarına uygulanan kuvvettir. Kaynakla birleştirilecek iş parçaları, kaynak noktasında akımın geçişini sağlayacak şekilde baskı altında tutulmalıdır. Elektrot kuvveti, kaynak işleminin tüm safhalarında önemli rol oynar. Baskı safhasında, elektrot kuvveti, iş parçaları arasındaki elektrot direncinin uygun bir değerde, buna karşılık elektrot ve iş parçası arasındaki direncin düşük bir değerde olmasını sağlar. Ayrıca, iş parçasının, elektrotlar altında belli bir alanda temas etmesini sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belli etmektedir. Elektrot kuvveti, ergimiş metali katı haldeki metal çukuru içinde basınç altında tutarak çapak oluşumunu engeller.

Elektrot kuvvetinin artması, iş metalinin yüzeyindeki baskıyla kalınlığı azaltarak malzeme direncinin azaltılmasını ve böylece kaynak akımının geçeceği yüzeyler

arasındaki toplam ısıyı düşüreceği için, elektrot kuvveti çok yüksek olmamalıdır. Ayrıca, çok yüksek elektrot kuvveti levhalarda istenmeyen çarpımalara sebep olur. Kuvvet, kaynağın ısınmasında çok önemli bir rol oynar. Kuvvet, saclar arası temas sağlayacak kadar yüksek olmalıdır ve belirlenen akım miktarıyla uyumlu olacak kadar düşük olmalıdır. Sacların temas dirençleri ve kaynak kuvveti arasında denge olmalıdır. Daha yüksek elektrot kuvvetleri, temas direncini düşürür.

Elektrot kuvveti, cihazın kapasitesi dahilindeki kaynak akımı ile orantılı olmalı ve tekrar oluşmasına yetecek kadar uzun kaynak zamanının kullanımına müsaade etmelidir. Özellikle pres parçaların, şekilli iş parçalarının veya iş metalinin kalın kesitlerinin punta kaynağında, kaynak dayanımı ve kalitesindeki farklılıklar, iş parçalarını uygun bir şekilde bir araya getirmek için gereken elektrot kuvvetindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Bu, özellikle ince taneli yapı çeliklerinin kaynağında geçerlidir. Bu malzemelerin yüksek dayanımından dolayı, oldukça yüksek geri yaylanmaya sahiptirler ve bu yüzden basit karbonlu çeliğe oranla daha yüksek elektrot kuvvetine gereksinim duyarlar.

Sharma ve arkadaşları (1993), yapmış oldukları çalışmada; kaynak sürelerini ve akımı sabit tutarak elektrot basıncını 440 kg, 500 kg ve 700 kg değerlerinde arttırmışlardır. Düşük kuvvet değerinde en düşük çekme mukavemeti gözlenmiştir. Bunu zayıf birleşme bölgesine bağlamıştır. Elektrot basıncı arttıkça mukavemet yükselmiş olup maksimum değerine 500 kg elektrot kuvvetinde ulaşılmıştır [14].

Bazen, iş parçalarını bir arada tutabilmek için normalde kullanılan daha uzun bir baskı süresi gerekmektedir. Ayrıca, geri yaylanma olasılığından dolayı, tutma süresi kaynak metalinin katılaşmasına imkan tanıyacak düzeyde olmalıdır. Elektrot kuvvetindeki farklılıkların direnç ve ısınmada değişikliklere neden olmasından dolayı, bu kuvvet kaynak kabiliyeti diyagramındaki eğrilerin boyut ve lokasyonunda ve akım seviyesinde değişiklikler yaratabilir. Artan elektrot kuvvetleri, eğrileri daha yüksek akım seviyelerine taşır.

Eğrilerdeki bu yükselme, bir elektrot kuvvetinde kabul edilebilir kaynak çekirdekleri sağlamış kaynak akımı ve kaynak süresi kombinasyonlarının, yeni elektrot kuvvetinde daha fazla kabul edilebilir kaynak çekirdekleri üretmeyebileceğini göstermektedir.

### 1.2.10.3. Kaynak zamanı

Parça kalitesini belirleme de ergime noktasındaki total ısı girdisi rol oynar. Enerji akımın karesiyle orantılıyken, zamanın da bir fonksiyonudur. Kaynak süresi ne kadar uzun olursa o kadar ısı girdisi artar. Bu süre kaynak akımının ne kadar süreyle uygulanacağını belirleyen süredir. Projeksiyon kaynaklarında bu süre saniyenin 1/5'i kadar kısa bir sürede uygulanır. Isı geçişinin zamanın fonksiyonu olmasından dolayı, uygun çekirdek çapının gelişmesi için gereken süre, akım ne kadar yükseltirse yükseltilsin, sınırlı ölçüde kısaltılabilir. Kaynak kalitesine etkisi akım kadar yoktur. Araştırmalar ve denemeler kaynak süresinin uzun olmasının belirli bir süre sonrasında kaynak kalitesini düşürmeye başladığını göstermektedir. Aynı kaynak kalitesi, kısa zaman yüksek akım ya da kısa akım uzun zaman parametreleriyle elde edilebilir ancak çevrim süresinin uzaması prosesi uzatıp maliyetleri artırırken, akımın fazla olması ise çapak riskini artıracaktır. Bu nokta da en iyi kombinasyonu bulmak kaynak mühendislerini zorlamaktadır. Kaynak zamanının uzaması ısı kayıpları artırmaktadır. Kaynak akımının fazla olması ise elektrot ömrünü azaltıcı etki yapar ve sarf malzeme giderlerini artırır.

Yavuz ve Güner (2002), metal tozlarının preslenerek üretildiği toz metal parçalarının elektrik direnç kaynağında optimum kaynak şartlarını belirlemeye çalışmışlardır. Artan kaynak zamanı ile (3, 5, 7, 9 çevrim), deformasyon derinliğinin (220, 260, 510, 640µm) arttığını ve kopma mukavemetinin (209, 207, 205, 201 N/mm<sup>2</sup>) azaldığını bildirmişlerdir [15].

Peng and Hu (1999), nokta direnç kaynağı üzerine yaptıkları bir araştırmada 3,5 mm kalınlığındaki malzemeye 2 ila 24 çevrim arasında değişen sürelerde kaynak yapmışlardır ve artan sürelerle ısı girdisinin arttığını ve buna paralel olarak kaynak spot çaplarının büyüdüğünü bildirmişlerdir [16].

Sharma ve diğerleri (1993), %0,8C içeren çelikten çift-faz elde etmişler ve çift fazlı çeliklerin nokta direnç kaynağında eşit kaynak akımlarında, artan kaynak sürelerinde (30, 45, 50 çevrim) yorulma davranışını incelemişlerdir. Deney sonucunda artan kaynak süresiyle birlikte ferrit'in kaba bir hal aldığı ve sertliği arttırdığı bildirilmiştir. Ayrıca yorulma zamanının arttığı da çalışma gözlemlenmiştir. Ayrıca artan kaynak

sürelerinde mikro sertliğin arttığı kaynak merkezinden uzaklaştıkça sertlik değerlerinin düştüğü kaydedilmiştir [14].

Avtar ve diğerleri (1990), ürettikleri çift-fazlı çelik numunelerle değişen kaynak sürelerinde (20, 40, 50, 60, 90 çevrim) sabit akım ve elektrot basıncında, çekme mukavemetinin (10, 37, 52, 57, 54 kN) 60 çevrime kadar artış gösterdiğini ve 90 çevrimde düşüşe geçtiğini bildirmiştir. Spot çapının da (8, 10,3, 11, 12,1, 13,8 mm) arttığını bildirmiştir [17].

Getirdiği büyük faydalar sayesinde, kısa süreli kaynak tekniği çok gelişmiş olup büyük ölçüde kullanılmaktadır. Önceleri, çok ince levhalar için bile birkaç saniye olan kaynak süresi, kontrol sistemleri ve akım devrelerindeki büyük gelişmelerden sonra birkaç periyoda kadar indirilmiştir. Kaynak zamanı azaldıkça ısı kayıpları da azaldığından dolayı işlemin ısı verimi artmaktadır. Az karbonlu alaşımsız çeliklerin kaynağında, kısa süreli kaynak için gerekli kaynak süresi Denklem (1.3) ile hesaplanabilir,

$$T = 8.s \quad (1.3)$$

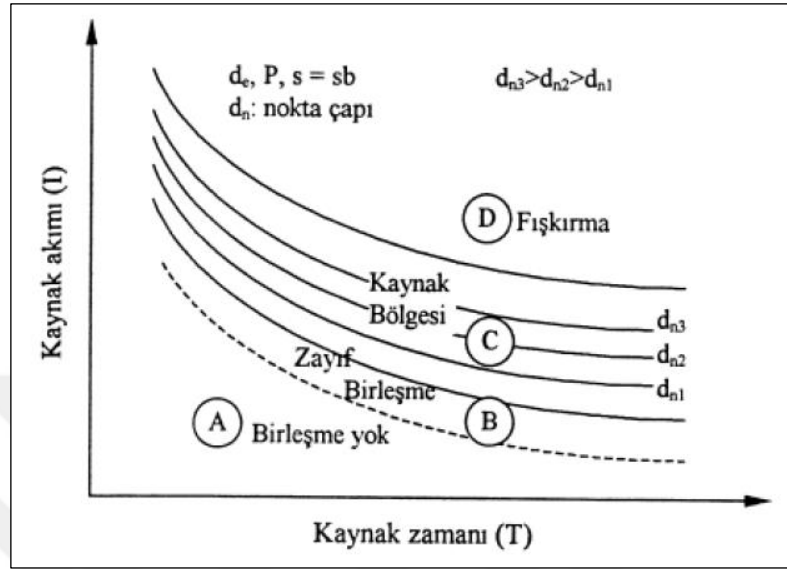
Yukarıdaki bağıntıda, T (periyod) kaynak süresi, s (mm) levha kalınlığıdır. 50 Hz frekanslı bir şebekede l periyot 1/50 saniyedir.

Kısa süreli kaynakta işlemin seri olması sebebiyle sadece kaynak bölgesi erime sıcaklığına ulaşır ve levhaların dış yüzeyinde aşırı ısınma olmadan kaynak işlemi sona erer.

Bu nedenle, elektrotların dokunma yüzeyleri bozulmaz. Uzun süreli kaynakta ise, levhaların diğer bölgelerinde sıcaklık önemli ölçüde artar. Bunun sonucunda, levhaların dış yüzeyleri yumuşar ve elektrotlar levha içine gömülerek derin izler bırakır.

Kaynak süresi, kaynak akımının kesilmesinden sonra kaynak bölgesinin soğuma hızını etkiler. Uzun süreli kaynakta, kaynak bölgesine sınır bölgelerin sıcaklığı yükseldiğinden dolayı, sıcaklık farkı, dolayısıyla da kaynak sonrası soğuma hızı düşüktür. Bu nedenle, %0,3 karbon içeren çeliklerde sertleşmeyi önlemek için uzun süreli kaynak kullanılır. Diğer yandan, elektrotlar tarafından sıkıştırılması zor ve

aralarında boşluk olan parçalar için de uzun süreli kaynak tercih edilir [2]. Malzemesi, kalınlığı, elektrot uç çapı ve elektrot kuvveti verilmiş bir sac için kaynak kabiliyeti diyagramı (akım-zaman diyagramı) elde etmek mümkündür [18].



Şekil 1.18. Kaynak kabiliyeti diyagramı [2]

Bu diyagram dört bölgeye ayrılmaktadır. A bölgesinde herhangi bir erime ve birleşme gözlenmez. B bölgesinde çekirdek oluşum zayıftır. C bölgesi geçiş bölgesi olup erime ve kaynak oluşumu kabul edilebilir seviyededir. C ve B bölgesinin sınır çizgisinden itibaren ergime başlar ve erimiş kaynak bölgesinin boyutları, bu bölge içine girdikçe artar. Sonuçta nokta çapı  $d_n$ , elektrot çapı  $d_e$ 'ye yaklaşık olarak eşit olur. C bölgesi malzemenin cinsine bağlıdır. Bazı metallerde bu bölge dar olduğundan kaynak akım ve zamanının hassas bir şekilde girilmesi gerekir. Uygulamada, akım ve zaman değerleri C bölgesinin üst sınırına yakın kalacak seviyede seçilir. D bölgesi çapaklanma bölgesi olup, C bölgesinin üst sınırından itibaren çapak gözlenir ki istenmeyen bir durumdur.

### 1.2.11. Kaynakla birleştirilecek metalin kimyasal bileşimi

Çeliklerin kaynak kabiliyetinde karbon çok önemlidir. Kaynak sertliği, karbon içeriğindeki küçük artışlarla hızlı şekilde artar. Projeksiyon kaynağında otomotiv sektöründeki beklenti basma testi ve tork değerleridir. Malzemelerin artan sertliği bu değerlerin düşmesine neden olmaktadır.



### 1.2.12. Elektrot uçları

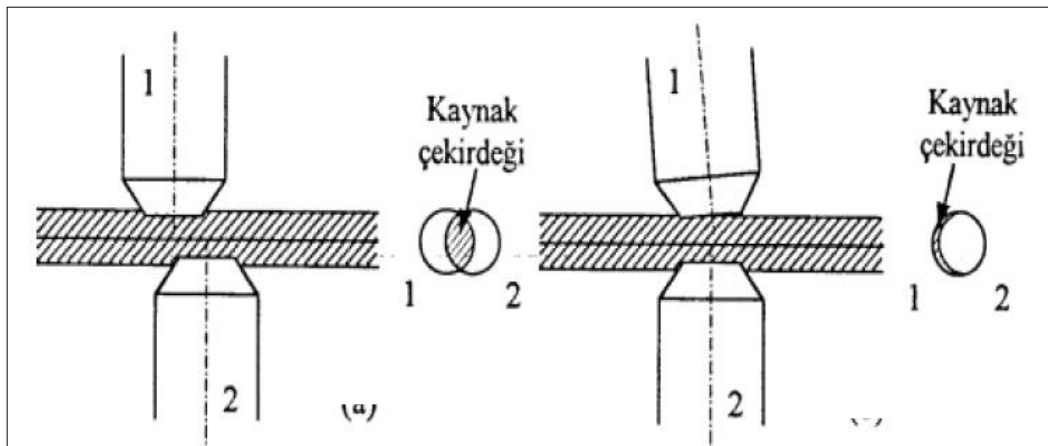
Yapılan kaynak işlemini düşündüğümüzde sac metal ile cıvataı birbirine kaynatırken elektrotlar kullanılmaktadır. Cıvata, elektrot içerisine yerleştirilir ve üzerine sac metal konur. Alt ve üst elektrotların CuCrZr olması ve yüzeylerinde herhangi bir deformasyon olmaması daha uygun bir kaynak ortamı sağlar.



Şekil 1.19. Spot kaynağı elektrotu

### 1.2.13. Elektrot ve iş parçasının temas durumları

Kaynak kalitesini etkileyen etmenlerden biride, elektrotların ve iş metallerinin temas durumudur. Elektrotlar birbirine paralel ve iş metallerine dik olmalıdır. Birbirine paralel olan alt ve üst elektrotun aynı eksende olması gerekmektedir. Birbirine paralel ancak aynı eksende olmayan alt ve üst elektrotlarda tek bir dairesel bölge yerine iki dairenin kesişim bölgesi şeklinde gölgeli bir alan gözlenmektedir. Bunun sebebi kaynağın, basıncın etkin olduğu bölgede gerçekleşmesidir [1].



Şekil 1.20. Paralel olmayan elektrot örnekleri [19]

#### 1.2.14. Kaynak edilecek parçaların yüzeylerinin etkisi

Yüksek kalitede spot kaynakları elde etmek için, elektrotlarla temas eden iş parçası yüzeyindeki direnç minimum olmalıdır. Bu, düzgün, temiz iş metali yüzeylerine sahip olarak ve elektrot kuvveti kontrol edilerek yapılabilir. Elektrotlarla temas halindeki iş parçasının yüzey dirençleri çok yüksek temas direncine sahipse, bu yüzeylerdeki sıcaklık artışı ergime noktasına eşit seviyede olabilir. Ayrıca, temas direncindeki değişimler ve buna bağlı olarak kaynak akımının oluşması için geçen süredeki değişimlerden dolayı varyasyonlu sonuçlar elde edilebilir.

Metal levhaların yüzey pürüzlülükleri birbirlerinden farklılık göstermektedir. Elektrot kuvveti arttırıldıkça, yüksek tepe noktaları bastırılarak gerçek metal-metale temas bölgesi artar ve böylece elektrik direnci düşer. Artan elektrot kuvveti iş parçalarının ara yüzeyindeki direnci düşürür. Elektrot malzemesinin iş metalinden daha yumuşak olduğu durumlarda, belli bir elektrot kuvvetinin uygulanması elektrotlar ve iş parçaları arasındaki temas yüzeylerinde, iki iş parçasının ara yüzeyine kıyasla daha iyi bir temas sağlar. Elektrot kuvveti, ısı formülünde direkt olarak yer almamasına karşılık elektrik direnci üzerindeki etkisi nedeniyle kaynak akımı üzerinde direkt olarak etkilidir. Yüzey direnci elektrot kuvvetiyle ters orantılıdır.

Yüzey hazırlama: Çeliğin spot kaynağı için önerilen parametre değerleri iş metalinin cüruf, oksit, boya ve yağdan arınmış olması durumunda geçerlidir. Kaynak yapılacak iş metali ya da en azından kaynak bölgesindeki yüzeyler kaynakların inklüzyonsuz olmasını sağlayacak şekilde temizliği sağlanmalıdır. Kaynakların iyi yüzey görünümüne sahip olmalarını sağlamak için elektrotla temas edebilecek kir, cüruf, pas ve oksit filmi yüzeyden arındırılmalıdır. İş parçası yüzeylerinden yabancı maddelerin temizlenmesi elektrot yüzeylerinde metal birikimini azaltır ve bunun sonucunda elektrot ömrünü arttırır. Oksit tabakaları mekanik yöntemlerle temizlenebilir. İşlem, tabakayı kesecek kadar düşük şiddetli ve bozuk ya da çizilmiş bir yüzey oluşumuna neden olmayacak kadar şiddetli olmalıdır. Kum veya bilye gibi aşındırıcı partiküller püskürtülerek temizleme yöntemleri genellikle tatmin edici değildir çünkü yüzeyde kum veya cüruf parçaları kalabilir. Ufak taneli, ince çelik tozu bazı uygulamalarda tatmin edicidir [20].

Yağ kaplamalarının etkisi: Yüzeydeki ince yağ kaplamalarının, nokta kaynaklarının kalitesinde az miktarda etkisi vardır. Fazla miktardaki yağ silinmeli veya yağ giderici ile arındırılmalıdır [20].

Pas, hadde cürufu veya oksidin etkisi: Düşük ve düzgün elektrik direncine sahip ince filmler kaynakta en az etkiye sahiptir [20].

Fazla miktarda cüruf veya oksit tabakasına sahip metaller kaynak edildiklerinde, cüruflar, akım, yüzey dirençleri veya elektrot basıncı her ne olursa olsun kaynakların içinde kalır. Kaynak metalindeki bu inklüzyonlar, sadece mikroskop veya ultrasonik yöntemlerle tespit edilebilen içyapı bozukluklarına sebep olabilir [20].



## 2. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE DİRENÇ KAYNAĞI

### 2.1. Türkiye de Otomotiv Sanayi Ve Yeni Nesil Çeliklerin Kullanımı

Otomotiv ana ve yan sanayi, günümüzde Türkiye imalat sanayinin bel kemiği olan sektörlerin başında gelmektedir. Günümüzde Türkiye, Avrupa'daki en büyük hafif ticari araç üreticisi ve ikinci en büyük otobüs üreticisidir. 2018 yılında Türkiye, Avrupa otomotiv satışları sıralamasında 7. ülke olmuştur [21]. Yurt içindeki otomotiv üretiminde toplam 14 firma vardır. Bu firmaların 4'ü otomobil, 6'sı ticari araç (kamyon, kamyonet, minibüs, midibüs, çekici ve otobüs), 2'si traktör ve 2 firma ise hem otomobil hem ticari araç üretimi gerçekleştirmektedir [22]. Otomotiv sanayisinde üretim gerçekleştiren firmalar ve 2018 yılına ait üretim kapasiteleri Tablo 2.1' de verilmiştir [23].

Tablo 2.1. 2018 yılı otomotiv firmaları yıllık üretim kapasiteleri [23]

| FİRMALAR<br>Firms | OTOMOBİL<br>P.Car | KAMYON<br>Truck | KAMYONET<br>Pick Up | OTOBÜS<br>Bus | MINİBÜS<br>Mini-Bus | MİDİBÜS<br>Midi-Bus | TRAKTÖR<br>F. Tractor | TOPLAM<br>Total |
|-------------------|-------------------|-----------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|
| A. ISUZU          | 0                 | 8.000           | 7.300               | 1.152         | 0                   | 2.560               | 0                     | 19.012          |
| FORD OTOSAN       | 30.000            | 15.000          | 366.000             | 0             | 44.000              | 0                   | 0                     | 455.000         |
| HATTAT TRAKTÖR    | 0                 | 0               | 0                   | 0             | 0                   | 0                   | 25.000                | 25.000          |
| HONDA TÜRKİYE     | 50.000            | 0               | 0                   | 0             | 0                   | 0                   | 0                     | 50.000          |
| HYUNDAI ASSAN     | 245.000           | 0               | 0                   | 0             | 0                   | 0                   | 0                     | 245.000         |
| KARSAN            | 0                 | 0               | 40.500              | 2.025         | 7.000               | 2.700               | 0                     | 52.225          |
| M.A.N. TÜRKİYE    | 0                 | 0               | 0                   | 2.400         | 0                   | 0                   | 0                     | 2.400           |
| M. BENZ TÜRK      | 0                 | 17.500          | 0                   | 4.500         | 0                   | 0                   | 0                     | 22.000          |
| OTOKAR            | 0                 | 0               | 5.300               | 1.000         | 1.500               | 2.500               | 0                     | 10.300          |
| O. RENAULT        | 375.000           | 0               | 0                   | 0             | 0                   | 0                   | 0                     | 375.000         |
| TEMSA             | 0                 | 6.000           | 0                   | 2.500         | 0                   | 2.000               | 0                     | 10.500          |
| TOFAŞ             | 240.000           | 0               | 210.000             | 0             | 0                   | 0                   | 0                     | 450.000         |
| TOYOTA            | 280.000           | 0               | 0                   | 0             | 0                   | 0                   | 0                     | 280.000         |
| T. TRAKTÖR        | 0                 | 0               | 0                   | 0             | 0                   | 0                   | 50.000                | 50.000          |
| TOPLAM/Total      | 1.220.000         | 46.500          | 629.100             | 13.577        | 52.500              | 9.760               | 75.000                | 2.046.437       |

### 2.2. Otomotiv de Direnç Kaynağı

Otomotiv endüstrisinde direnç kaynağı yoğun olarak kullanılmaktadır. Ortalama bir araçta 4000-6000 arası punta ve 300-400 arasında somun/cıvata vardır. Aşağıda çeşitli markalara ait punta sayıları görülmektedir.

Tablo 2.2. Çeşitli markalara ait punta sayıları [12].

| Araç Modeli          | Nokta Kaynak Adedi |
|----------------------|--------------------|
| Alfa Romeo Giulietta | 3676               |
| Volvo S60            | 3966               |
| Citroen C4           | 3938               |
| Saab 9-5 Sedan       | 4250               |
| Honda CR-Z           | 4254               |
| Opel Meriva          | 4533               |
| Ford Grand C-MAX     | 5011               |
| Fiat Linea           | 5031               |
| Renault Latitude     | 5208               |
| VW Sharan            | 5600               |
| BMW 5 Series         | 5800               |



Şekil 2.1. Örnek bir robotlu otomobil imalatı

Endüstrileşmenin artması otomotiv üretim hızlarını artırmaktadır. İnsana dayalı üretim azalmakta araç üretim hızları 1 dakika gibi kısa bir sürelerle inmektedir. Bu durum ancak robotların üretime dahil olmasıyla sağlanabilir. Ekteki resimde de görüldüğü üzere endüstriyel robotların üretim de kullanımı hızla artmış ve üretim sürelerini düşürmüştür. Spot kaynağının robotlar tarafından yapılabilmesi için gun (tabancalar) kullanılmaktadır. Robot üzerine bağlanan tabancalar, robot hareketlerinin programlanmasıyla istenilen yere yüksek hassasiyetle kaynak

yapabilmektedir. Tekrarlı işlerde kalitenin artması, aynı açı ve konumda %1'lere varan hassasiyet ve hız artışı robotların tercih edilme sebebi olmaktadır.

### 2.3.Otomotivden Beklentiler ve Kullanılan Sac Malzemeler

Ekolojik sürdürülebilirliği tehdit eden etmenlerin başında iklim değişimi ve küresel ısınma gelmektedir. Bunun en büyük sebeplerinden birisi ise otomotiv kullanımındaki fosil yakıt tüketimidir. Otomotiv sanayisi son yıllarda emisyon değerlerini düşürmek için araç ağırlıklarını azaltmak için araştırma geliştirme faaliyeti göstermektedir.

Emisyon değerlerini düşürmek için özellikle araç hafifletme çalışmaları çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu sayede araçların tükettiği yakıt miktarı azalmakta ve çevreye zarar veren gaz salınımı da azalmaktadır. Fakat ağırlığın düşmesi araç mukavemetinde düşüş yaratmaması için otomotiv sanayisinde çelik malzemelerde yoğun bir ARGE faaliyeti gözlenmektedir [24].

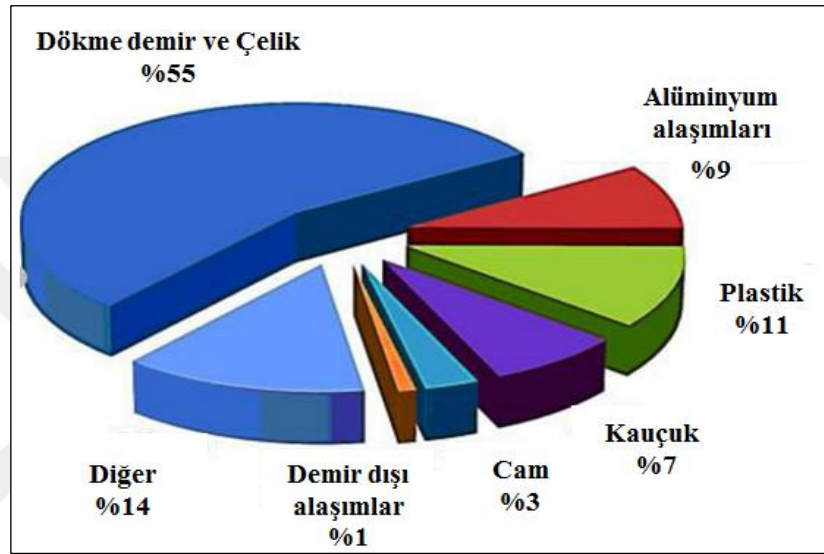
Otomotiv endüstrisinde çelik haricindeki plastik, alüminyum, magnezyum vb. gibi malzemelerin kullanımı araç hafifletme çalışmaları kapsamında yaygınlaşmaktadır. Ancak çelik endüstrisinde kaydedilen ilerlemeler sayesinde çelik; otomotiv sektörü için hala önemini korumaktadır. Otomotiv endüstrisi için üretimde gelişmiş araç konsepti çerçevesinde en önemli unsurlar Şekil 2.2'de verilmiştir.



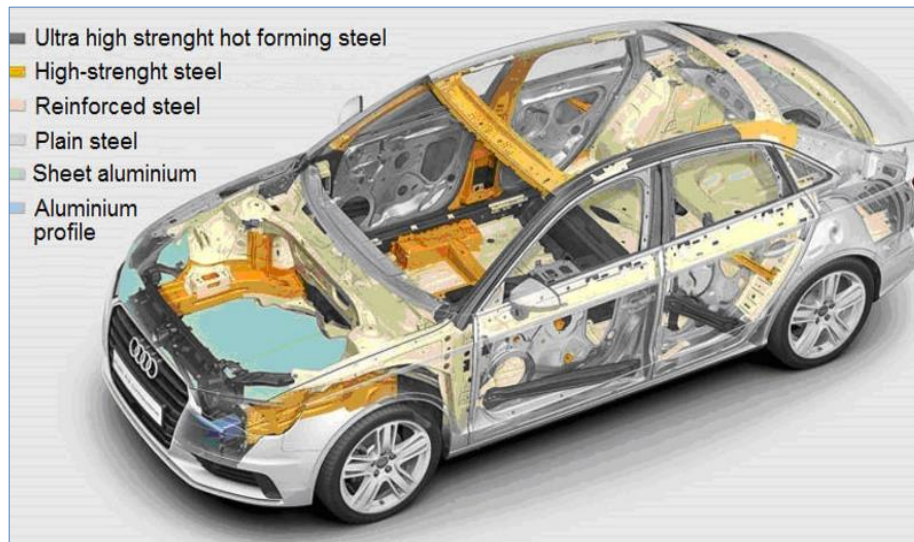
Şekil 2.2. Bir otomobilden beklenen özellikler [25]

Şekil 2.2' den de görüldüğü gibi otomobilden beklenen özellikler öncelikle güvenlik, yakıt tüketimi, yakıt verimliliği ve ekonomikliğidir. Diğer taraftan bu temel dört

unsurun sağlanması yanında CO<sub>2</sub> emisyonu önemli hale gelmiştir. Ayrıca konfor, otomobilin ağırlığı, sürüş performansı, maliyet/fiyat ilişkisi önem arz etmektedir. 2009 yılında Dünya Çelik Örgütü (World Steel Association) CO<sub>2</sub> emisyonuna dikkat çekerek 5 kişi taşıyabilen taşıtlarda diğer kalite çelikler yerine gelişmiş yüksek mukavemetli çelik kullanımının artması halinde CO<sub>2</sub> emisyonunun % 6 oranında azalacağını rapor etmiştir [29]. Yapılan çalışmalara göre ortalama bir araç yılda 22.000 km'de 4 ton CO<sub>2</sub> emisyonuna sebep olmaktadır [25].



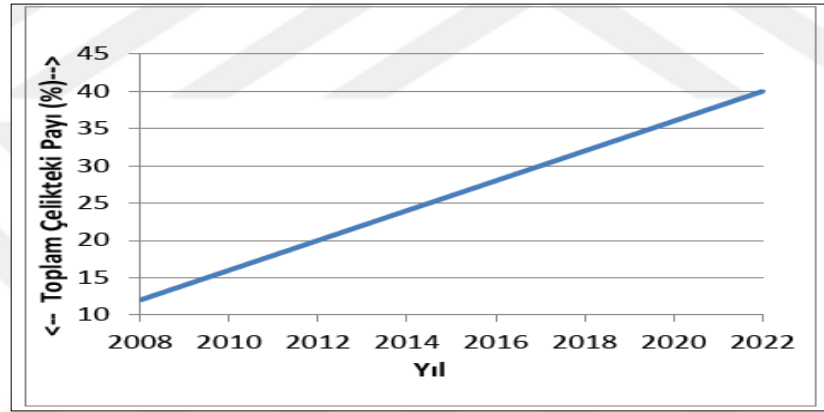
Şekil 2.3. Otomotiv deki malzeme türleri dağılımları [26]



Şekil 2.4. Audi marka araçta malzeme türlerinin araçtaki yeri [26]

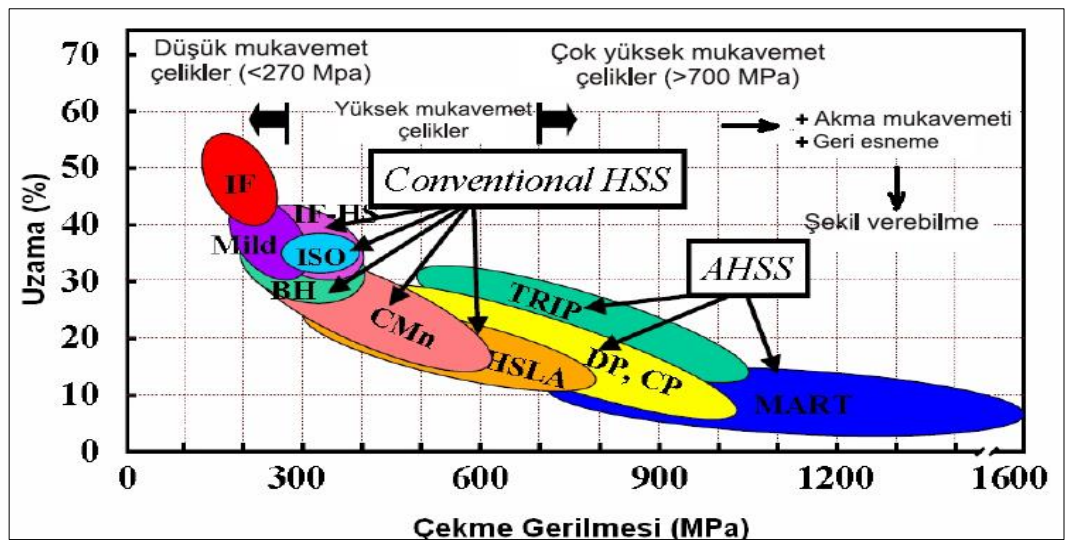
## 2.4. Gelişmiş Yüksek Mukavemetli Çelik (AHSS) Türleri

Gelişmiş yüksek mukavemetli çelikler (AHSS), titizlikle seçilmiş kimyasal bileşimler ve çok prosesli ısıtma ve soğutma süreçlerinden kaynaklanan çok fazlı mikro yapılar barındıran malzemelerdir. Benzersiz bir şekilde hafiftir ve güvenlik denetlemeleri, emisyon azaltımı, yüksek performans ve uygun maliyetler için günümüzdeki araçların zorluklarını karşılamak üzere otomotiv endüstrisinde hızla artan bir şekilde kullanılmaktadır (Şekil 2.5) [27].



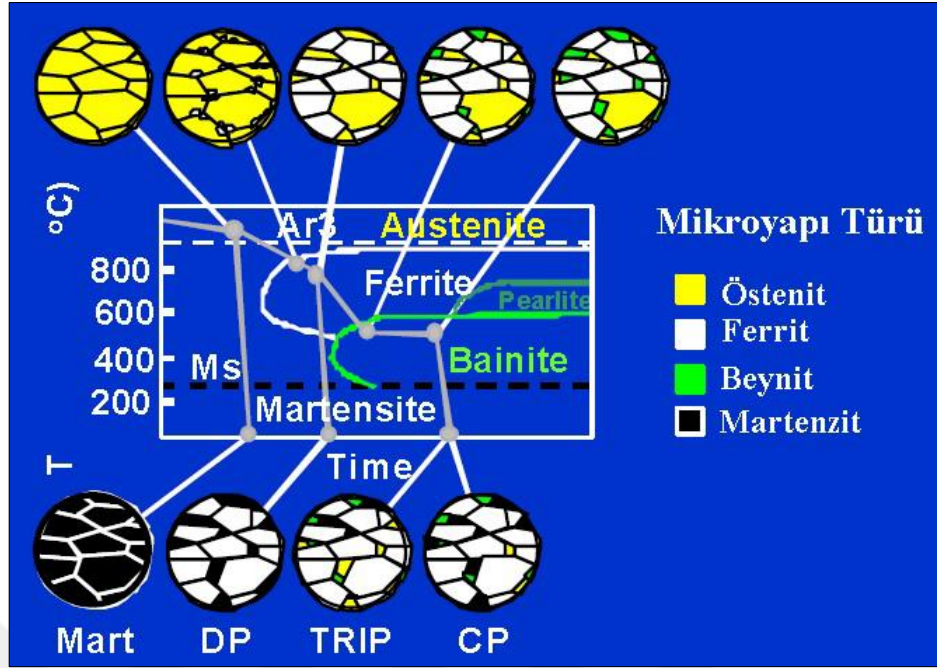
Şekil 2.5. AHSS'lerin toplam çelik pazarındaki payı [27]

Bir takım mukavemet, süneklik, tokluk ve yorulma özelliklerini karşılamak için çeşitli güçlendirme mekanizmaları kullanılır. Süneklik ve çekme mukavemetlerini Şekil 2.6'da, AHSS yapıları ise Şekil 2.7'de gösterilmiştir [27].



Şekil 2.6. AHSS ve diğer çeliklerin mukavemet grafiği [27]





Şekil 2.7. AHSS'lerin soğuma modeli ve mikro yapıları [29]

AHSS kapsamındaki çelikler aşağıdaki gibi tanımlanabilir [27].

1. Kompleks Fazlı (CP) Çelikler
2. Ferritik-Beynitik (FB) Çelikler
3. Sıcak Şekillendirilmiş (HF) Çelikler
4. İkizlemeye Dayalı Plastisite (TWIP) Çelikleri
5. Dönüşüme Dayalı Plastisite (TRIP) Çelikleri
6. Çift Fazlı (DP) Çelikler
7. Martenzitik (MS veya MART) Çelikler

Bu çelikler daha ekonomik maliyetlerle, daha verimli birleştirme potansiyeline ve mevcut çelik sınıflarına kıyasla gelişmiş süneklik kombinasyonlarına sahip çeliklerdir. Bu sınıflar istenilen özelliklerin elde edilmesi için benzersiz alaşımlar ve mikro yapılar içermektedir [28]. 550 MPa'dan yüksek dayanıma sahip çelikler genellikle AHSS olarak adlandırılır. Bu çeliklere, bazen, 780 MPa'yı aşan gerilme mukavemetleri için "ultra yüksek dayanımlı çelikler" denir. Çekme mukavemeti en az 1000 MPa olan AHSS'ye "GigaPascal çelik" (1000 MPa = 1 GPa) denir [27,28].

### 2.4.1. Kompleks fazlı (CP) çelikler

CP çeliklerinin mikro yapısı, ferrit / beynit grubunun yanında az miktarda martenzit, kalıntı östenit ve perlit içerir (Şekil 2.8). İnce taneli yapıya sahip olan bu çeliklerde tane inceltme işlemi için Ti veya Nb gibi mikro alaşımların yeniden kristalleşme veya çökelti sertleşmesi ile oluşur [27,28].



Şekil 2.8. CP çeliğinden üretilmiş koltuk flanşı [27]



Şekil 2.9. CP çeliğinin mikroyapı görüntüsü [27]

CP çelikleri, 800 MPa ve daha yüksek gerilme mukavemetlerinde belirgin olarak yüksek akma dayanımları gösterirler. Aynı zamanda yüksek enerji sönümlenme, yüksek deformasyon kabiliyetine ve iyi bir sünekliğe sahiptir.

CP çeliklerinin üretim kaliteleri ve otomobillerdeki uygulama alanları [27];

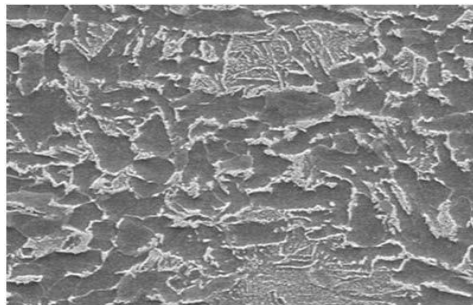
CP 500/800 Çerçeve rayları  
CP 600/900 Tünel sertleştiriciler  
CP 680/780 Şasi bileşenleri, enine kirişler  
CP 750/900 Direk tipi takviyeler, tünel sertleştirici  
CP 800/1000 Arka süspansiyon dirsekleri, çamurluk kirişi  
CP 850/1180 Çamurluk kirişi, Koltuk flanşı (Şekil 2.8.)  
CP1000/1200 Arka çerçeve ray takviyeleri,  
CP1050/1470 Salıncak paneli, tampon kirişleri

#### 2.4.2. Ferritik beynitik (FB) çelikler

FB çelikleri, yüksek düzeyde sünekliğe ihtiyaç duyulan durumlarda kullanılır. FB çeliklerinin mikro yapısında ferrit ve beynit vardır (Şekil 2.10). Hem tanecik artışı hem de beynit ile ikinci faz sayesinde yüksek mukavemet elde edilir [13,14]. Aynı mukavemet seviyesine sahip AHSS çeliklerine kıyasla, FB çeliklerinin de daha yüksek bir mukavemet ve yüksek uzama değerine sahiptir. Kaynak kabiliyetlerinin iyi olması nedeniyle de tercih edilirler. Bu çelikler hem iyi kaza performansları hem de iyi yorulma özellikleri sayesinde otomobil jantlarında kullanılır (Şekil 2.10) [30].



Şekil 2.10. FB çeliğinden üretilmiş jant [27]



Şekil 2.11. FB çeliği mikro yapı [27]

### **2.4.3. Sıcak şekillendirilmiş (HF) çelikler**

Basınçlı sertleştirme yöntemlerinin yaygınlaşması geri dönüşüm sorunları olmayan karmaşık şekillerdeki parçaların ve optimize edilmiş parça geometrilerinin imali için yaygın bir hal almıştır. İstenilen mekanik özelliklerin elde edilmesi için şekillendirme işlemi sırasında 860°C'lik sıcaklığa ulaşılır ve ardından 50°C/ sn' den daha yüksek bir hızda soğutulur. Şu anda iki tip pres'te sertleştirme veya sıcak şekillendirme mevcuttur [27,30].

1. Doğrudan Sıcak Şekillendirme
2. Dolaylı Sıcak Şekillendirme

Doğrudan sıcak şekillendirme esnasında, şekillendirme yüksek sıcaklıktaki östenitik aralıkta bekletilir ve ardından soğutma yapılır. Dolaylı sıcak şekillendirmede ise oda sıcaklığında parçanın son şekli verilir ve daha sonra yüksek sıcaklıktaki östenitik aralıkta bekletilip ve ardından soğutulması ile yapılır [30]. HF çeliğinin son mikro yapısı martenzite benzemektedir. Soğutmadan sonraki gerilme-gerinim eğrileri martenzitik (MS) çeliklere benzer [27,30].

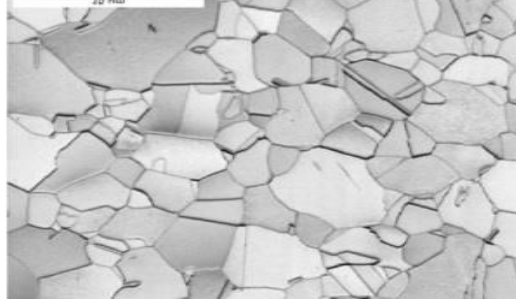
HF çeliklerinin üretim kaliteleri ve otomobillerdeki uygulama alanları [27];

HF 340/480 koltuk bileşenleri

HF 1050/1500 koltuk bileşenleri, parça tutucular

### **2.4.4. İkizlemeye dayalı plastisite (TWIP) çelikleri**

TWIP çelikleri yüksek mangan içerir (%17-24), bu da çeliğin oda sıcaklığında tamamen östenitik olmasını sağlar. Deformasyon, ikizlerinin oluşumuyla gerçekleşir. Bu deformasyon şekli, söz konusu çeliğin bu isimle adlandırılmasını sağlar. İkizleme, mikro yapıdaki tanelerin daha ince hale gelmesiyle anlık sertleşme hızını artırır. Ortaya çıkan ikiz sınırlar tane sınırları gibi davranır ve çeliğe güç katar (Şekil 2.12). TWIP çelikleri son derece yüksek mukavemeti ve son derece yüksek şekillendirilebilme kabiliyeti sayesinde kolayca birleştirirler. Gerilme mukavemeti 1000 MPa'dan yüksektir [27,32].



Şekil 2.12. TWIP çeliği mikro yapı [27]

TWIP çeliklerinin üretim kaliteleri ve otomobillerdeki uygulama alanları [27,33];

TWIP 500/900 A direği, çamurluk, ön yan koruma parçaları

TWIP 500/980 Jant, ön ve arka tampon kirişleri, B direği, jant kenarı

TWIP 600/900 Döşeme traversi, çamurluk

TWIP 750/1000 Kapı darbe kirişi

#### 2.4.5.Dönüşüme dayalı plastisite (TRIP) çelikleri

TRIP çelikleri mikro yapısında yumuşak ferrit matrisi içerisinde, kalıntı östenit ve beynit bulundurduğu için üç fazlı bir yapı ve üstün mekanik özellikler kazanmaktadır (Şekil 2.13) [34,35].

TRIP çeliğinin mekanik özelliklerindeki artış, mikro yapıdaki boyutu, şekli ve dağılımı gibi özelliklerin değiştirilmesi ile sağlanabilmektedir. TRIP çeliklerinin de yorulma dayanımları yüksektir. TRIP çelikleri yüksek silisyum ve karbon içeriği sayesinde nihai mikro yapıda önemli kalıntı östenit oluşumunu sağlar [27].

TRIP çelikleri, kompleks parçalarının imalatı için mükemmel şekil verilebilirlik sağlar ayrıca kaza sırasında açığa çıkan enerjiyi sönmleme sayesinde emebileceğinden oldukça yaygın olarak kullanılır (Şekil 2.14) [27].



Şekil 2.13. TRIP çeliğinden üretilmiş tampon sacı [27]



Şekil 2.14. TRIP çeliğinin mikro yapı görüntüsü [27]

TRIP çeliklerinin üretim kaliteleri ve otomobillerdeki uygulama alanları [27,34,35];

TRIP 350/600 Çerçeve rayları, ray takviyeleri

TRIP 400/700 Yan ray, kilitleme kutusu

TRIP 450/800 Gösterge tablosu, tavan rayları

TRIP 600/980 B sütun üstü, motor beşiği, ön ve arka raylar, koltuk çerçevesi

#### 2.4.6. Dual faz (DP) çelikler

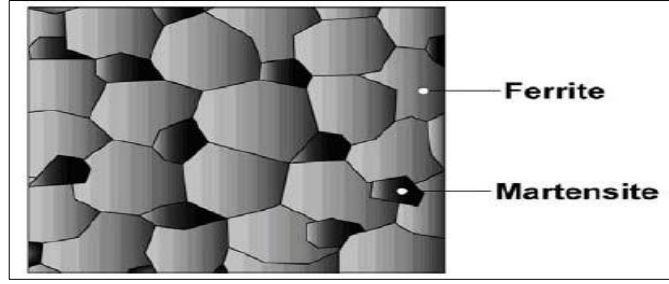
Dual fazlı çelikler, mikro yapılarında ferrit matrisi içinde adacıklar şeklinde martenzit fazı içeren düşük karbonlu, düşük alaşımlı veya alaşımsız yüksek mukavemetli çeliklerdir. Bir çok çelik türü çift fazlı olmasına rağmen özellikle dual faz teriminin kullanılması bu çeliklerin üretiminde kullanılan ısıl işlem yöntemlerinden ve sonuçta elde edilen optimum mekanik özelliklerden kaynaklanmaktadır. Dual fazlı çelikler esas olarak, düşük alaşımlı veya alaşımsız düşük karbonlu çeliklerin Fe-C denge diyagramındaki A1-A3 sıcaklık aralığında (ferrit+östenit bölgesinde) bir süre tutulup, bu sıcaklıkta ferrit ile birlikte bulunan östenitin uygun hız ve zamandaki soğutma ile martenzite dönüştürülmesiyle elde edilir [36].

Uzun yıllardır bilindiği gibi, çeliğin karbon miktarındaki artış, mukavemeti arttırırken şekil verme kabiliyetini düşürüp kırılabilirliği artırır. Karbon miktarını düşük tutup, mangan ve nikel gibi alaşım oranlarını arttırarak, mukavemet ve tokluk arttırılabilir. Bu yöntemle birçok yüksek mukavemetli az alaşımlı çelik üretilmiştir [30]. HSLA çelikleri, katı eriyik sertleştirilmesiyle oluşan çok küçük taneli ferrit içerisinde ince V ve Nb nitro karbürler çökelmiş olan perlitik çeliklerdir. Bu

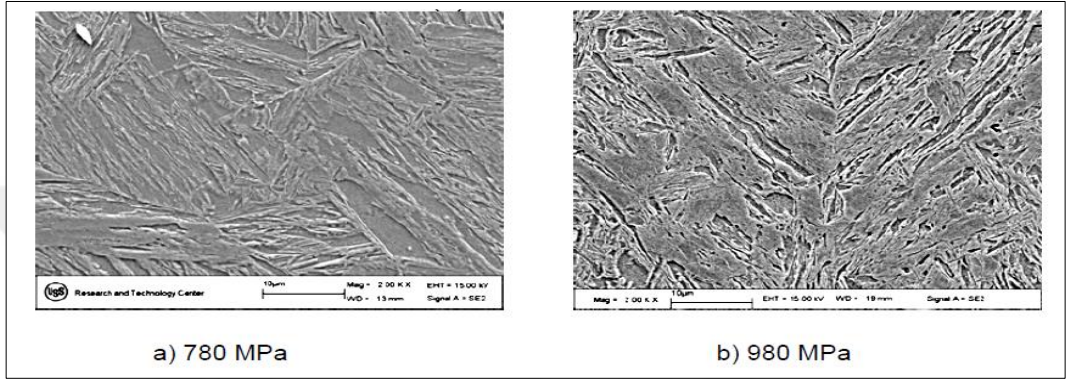
eliklerde ferritin mukavemeti yüksek olmasına rağmen sünekliği düşüktür. Ayrıca perlitte bulunan sementit ise Şekil değiştirme kabiliyetine sahip değildir. Dual fazlı çeliklerde ise ferritin sünekliği çok yüksektir. Deformasyon sırasında önce ferrit Şekil deėiŐtirir ve sertleŐir. Ferritin mukavemeti belli bir sınırı aŐınca martenzit (hem su verme ile oluşan, hem de kalıntı östenitten oluşan) deformasyona uğrar. Martenzit ile perlit arasındaki sertlik farkından ziyade dual fazlı çelikteki ferritin daha sünek olması HSLA ve dual fazlı çelikler arasındaki farkı doğurur. Ayrıca dual fazlı çeliklerde plastik Şekil verme bir miktar mikro yapı elemanları arasında dağıldığı için plastik deformasyon HSLA çeliklere göre daha geç olur. Hem sünekliği yüksek hem de boyun vermenin geç gerçekleŐmesinden dolayı dual fazlı eliklerin Őekillendirilmeleri HSLA çeliklerinden daha iyidir [37].

Genel olarak eşit çekme dayanımına sahip ferritik-perlitik çeliklerden (HSLA ve az karbonlu çelikler) daha yüksek sünekliğe sahip olan dual fazlı çeliklerin gerilme-birim Şekil değiştirme eğrilerinde elastik deformasyon bölgesinden plastik deformasyona geçerken süreksiz akma olayının meydana gelmemesi bu çeliklerin özelliklerindedir. Akma / ekme mukavemeti oranı düşük ve Şekil alma kabiliyeti yüksek olan dual fazlı çelikler, yüksek (Mukavemet / Ağırlık) parametresine de sahip olduklarından araç ağırlığını ve dolayısıyla yakıt tüketimini azaltmak amacıyla 1975 yılı sonlarına doğru otomotiv endüstrisinde kullanılmaya baŐlanmıştırdır [38].

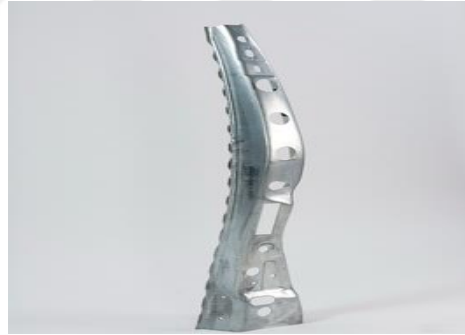
Sahip oldukları yüksek mukavemet, yüksek Şekil alma, iyi kaynak edilebilirlik, piyasadan temin edilme kolaylığı ve ekonomik olması gibi avantajları sayesinde en çok kullanılan AHSS sınıfı çeliktir [39]. DP eliklerin gerek form verilebilirliğinin yani sünekliğinin iyi olması hem de yüksek dayanım sebebi mikro yapısı kaynaklıdır. Çift fazlı elik, adını mikro yapısında bulunan iki fazdan almaktadır [40]. Bunlar ferrit ve martenzittir. Ferrit, yapıya süneklik kazandırırken martenzit de yüksek mukavemet sağlamaktadır [41]. DP600, DP800 ve DP1000 elikleri otomotiv sektöründe yoğun olarak kullanılmaktadır [39].



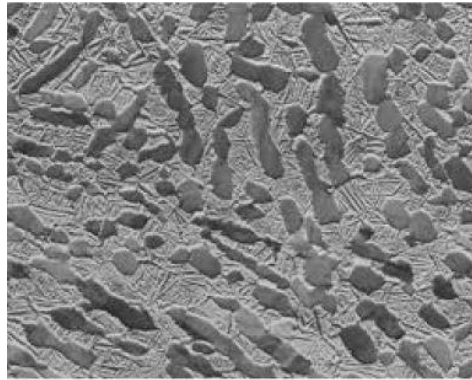
Şekil 2.15. Çift fazlı çelik mikro yapısı [27]



Şekil 2.16. Kaynamış metal DP780 ve DP980 mikro yapısı [27]



Şekil 2.17. DP çeliği B Pillar [27]



Şekil 2.18. DP çeliği mikro yapı [27]

DP çeliklerinin üretim kaliteleri ve otomobillerdeki uygulama alanları [27,35];



DP 210/440 Arka şok takviye

DP 300/500 Dış dış, dış kapı, dış gövde, paket tepsisi, taban paneli

DP 350/600 Zemin paneli, davlumbaz dış, gövde tarafı dış, zemin takviyeleri

DP 500/800 Gövde tarafı iç, panel içi, arka raylar, arka şok takviye

DP 600/980 B direkleri, taban paneli tüneli, ön alt çerçeve paket tepsisi

DP 700/1000 Tavan parmaklığı, arka raylar

DP 750/980 Çamurluk

DP 800/1180 Üst b sütun

DP 1150/1270 Dış gövde

#### **2.4.6.1. Dual fazlı çeliklerin genel özellikleri ve kullanım alanları**

Yapılarındaki sert martenzit fazından dolayı mukavemeti yüksek, sünek ve ince ferrit taneciklerinden dolayı şekil verilebilme yeteneği iyi olan dual fazlı çelikler;

1. Sürekli akma davranışı
2. Düşük akma / çekme dayanımı oranı
3. Yüksek plastik deformasyon sertleşmesi oranı
4. Yüksek üniform ve toplam % uzama değerleriyle karakterize edilirler [42]

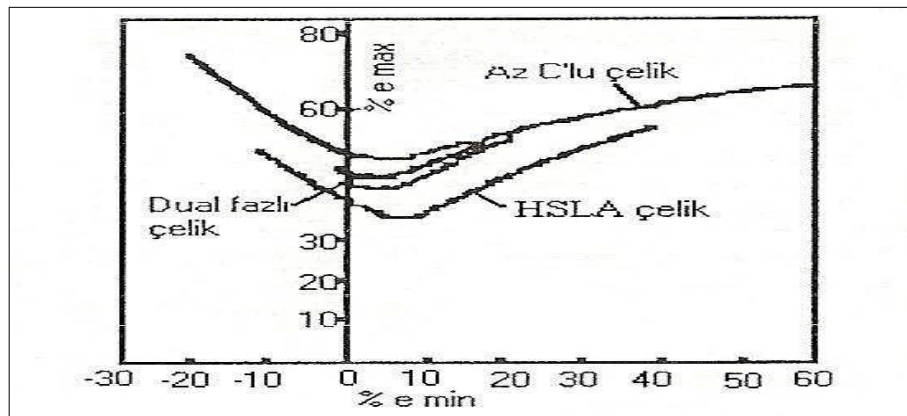
Dual fazlı çelikler akma uzaması göstermediğinden dolayı Luders bantları oluşmadığından şekil verilen parçaların yüzeyi çok düzgün olur.

Malzemelerin akma mukavemetlerinin düşük olması, plastik şekil verme işlemi sırasında uygulanan az kuvvetle daha fazla bir deformasyon gerçekleştirilmesi istenilen bir özelliktir. Çekme dayanımının yüksek olmasının malzemenin hasara uğramasını geciktirdiği bilindiğine göre akma dayanımı / çekme dayanımı oranı düşük olan dual fazlı çeliklerin derin çekme sacları olarak kullanımındaki önem anlaşılmış olur. Derin çekme işlemlerinde malzemenin kesiti azalacağından, şekil verme sürecinin diğer kademelerindeki kuvvetleri karşılayabilmesi için yapının sertleşmesi gerekir.

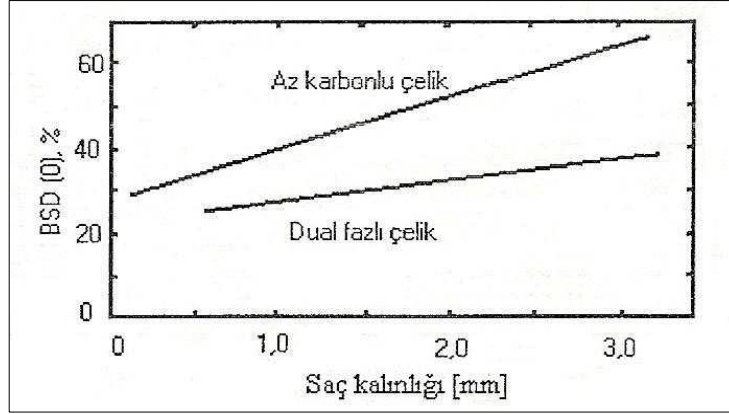
Mukavemet özelliklerinin yanı sıra süneklik özellikleri de iyi olan dual fazlı çeliklerin yüksek deformasyon sertleşmesine sahip olması avantaj teşkil etmektedir.

Mukavemet / ağırlık oranları yüksek olan bu çeliklerin, araçlardaki yakıt tüketimini azaltıcı yönde çalışmalar yapılması kapsamında bu çeliklerin kullanımı önem kazanmaktadır. Çeşitli otomobil parçaları yapımında düşük karbonlu çelikler yerine yüksek mukavemet / ağırlık oranına sahip olan yüksek mukavemetli ve az alaşımlı çelikler (HSLA) ve dual fazlı çeliklerin kullanılması, taşıt ağırlığını azaltarak yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Dual fazlı çelikler aynı mukavemetteki HSLA çeliklerden daha yüksek şekil alma kabiliyetine sahip olmaları nedeniyle, pres makinaları kullanılarak üretilen çeşitli otomobil parçaları yapımında tercih edilmektedir. Bu özellik metalik malzemelerin biçimlendirme kabiliyetlerinin belirlenmesinde kullanılan biçimlendirme sınır diyagramından anlaşılmaktadır [43].

Malzemelerin mukavemeti arttıkça şekil alma kabiliyetlerinin azaldığı bilinmektedir. Metal saclarda şekil alma esnasında meydana gelebilecek çatlamları kontrol etmek amacıyla çizilen biçimlendirme sınır diyagramları aracılığıyla çeşitli malzemelerin biçimlenebilme kabiliyetleri mukayese edilebilir. Şekil 2.19'da dual fazlı, HSLA ve düşük karbonlu çeliklere ait biçim sınır diyagramları görülmektedir. Söz konusu diyagramda dual fazlı çeliklerin biçimlendirme sınır eğrileri HSLA çeliklerden daha yukarıda fakat düşük karbonlu çeliklerden daha aşağıda yer almaktadır. Dual fazlı çeliklerin mukavemetinin artması, biçimlendirme sınır eğrilerinin daha düşük maksimum birim şekil değiştirme değerlerine doğru kaymasına neden olmaktadır. Biçim sınır diyagramında minimum şekil değişiminin sıfır olduğu nokta, biçim sınır diyagramı (BSD) (0), düzlemsel şekil değişimini belirtir ve Şekil 2.20'de görüldüğü gibi sac kalınlığının artmasına bağlı olarak artar [44].



Şekil 2.19. DP, HSLA ve az C çeliklerin biçim sınır diyagramları [45]



Şekil 2.20. DP ve az C'lu çeliklerin kalınlığının BSD (0) noktasına etkisi [46]

Ticari olarak ABD, Japonya ve bazı Avrupa ülkelerinde (Almanya, Fransa, İngiltere, İtalya, Lüksemburg) çekme mukavemeti  $40 \text{ kg/mm}^2$ 'den  $100 \text{ kg/mm}^2$  'ye kadar değişen çeşitli dual fazlı çelik üretimleri yapılmaktadır. Üretim yöntemi olarak genellikle sürekli tavlama ve haddeleme yöntemleri kullanılmaktadır.

Tekerlek jantı, koltuk çerçevesi, tampon ve kapı panelleri gibi pres'le biçimlendirilen çeşitli otomobil parçaları yapımında dual fazlı çeliklerin kullanılması ile sağlanan ağırlık tasarrufu taşıt ağırlığının %10'una ulaştığında, yakıt tüketimi önemli miktarda azalmakta ve araç daha ekonomik hale gelmektedir [45]. Çalışmalar göstermiştir ki dual fazlı çeliklerden imal edilmiş tamponun ağırlığı, mukavemet ve darbe direncinde herhangi bir kayıp olmaksızın % 25-30 oranında azaltılabilmektedir. Jantlarda ise, ağırlık tasarrufu jantın boyutuna ve şekline bağlı olarak yaklaşık %12 mertebesindedir [45].

#### 2.4.7. Martenzitik çelikler

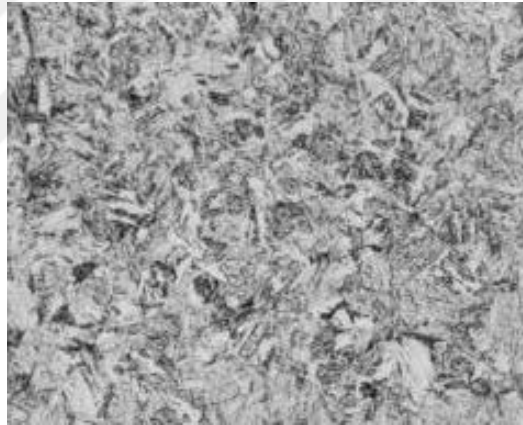
Bu çelikler yüksek oranda martenzite sahip olduklarından, oldukça yüksek mukavemete sahiptirler. Martenzitik çeliklerde, sıcak haddeleme veya tavlama esnasında var olan östenit, tavlama hattının soğutma bölümünde hızlı soğutma sırasında neredeyse tamamen martenzite dönüştürülür [27,31].

Martenzitik çelik mikro yapıda, Şekil 2.22'de gösterildiği gibi bir miktar beynit ve ferrit olmasına rağmen martenzitin matrisi oluşturduğu görülmektedir [27,40]. Martenzitik çelikler,  $1500 \text{ MPa}$ 'ya kadar olan en yüksek çekme mukavemetini sağlar ve bu nedenle direk etkiye maruz kalan bölgelerde de tercih edilir (Şekil 2.21).

Martenzitik çelikler genellikle sünekliği arttırmak için hızlı soğutma sonrası tavlama işlemine tabi tutulurlar ve son derece yüksek mukavemetlerde bile kayda değer şekil verilebilirlik sağlayabilirler [27]. Sertleştirilebilirliği arttırmak için mangan, silisyum, krom, molibden, bor, vanadyum ve nikel alaşımları kullanılır [27].



Şekil 2.21. MS çeliğinden üretilmiş tampon takviyesi [27]



Şekil 2.22. MS çeliğin mikro yapısı [27]

MS çeliklerinin üretim kaliteleri ve otomobillerdeki uygulama alanları [27];

MS 950/1200 Çapraz elemanlar, yan itici kirişler, tampon kirişleri ve takviyeleri

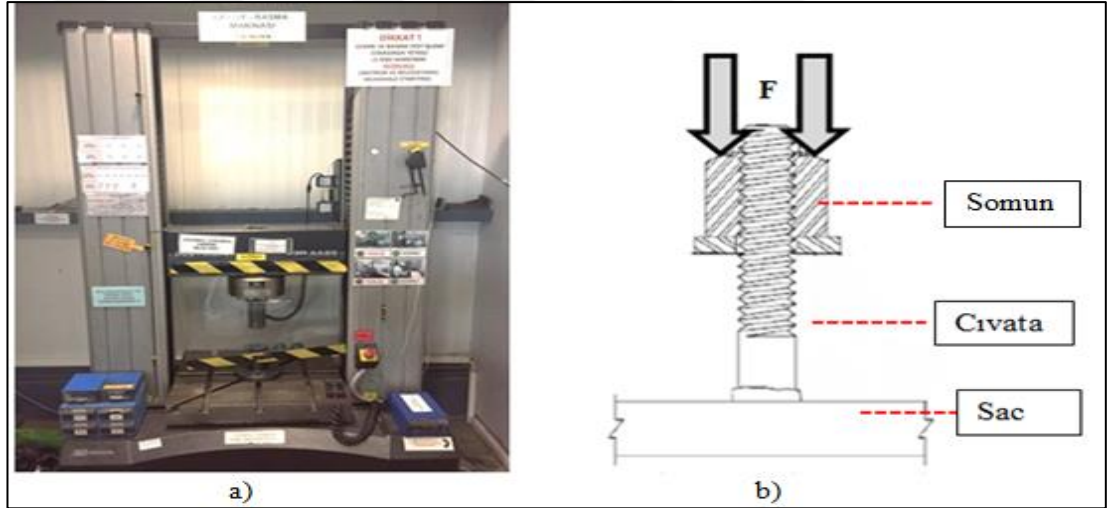
MS1150//1250/1400 Salıncak dış, yan saldırı kirişleri, tampon ve tampon takviyeleri

### 3. DENEYSEL KISIM TEORİĞİ

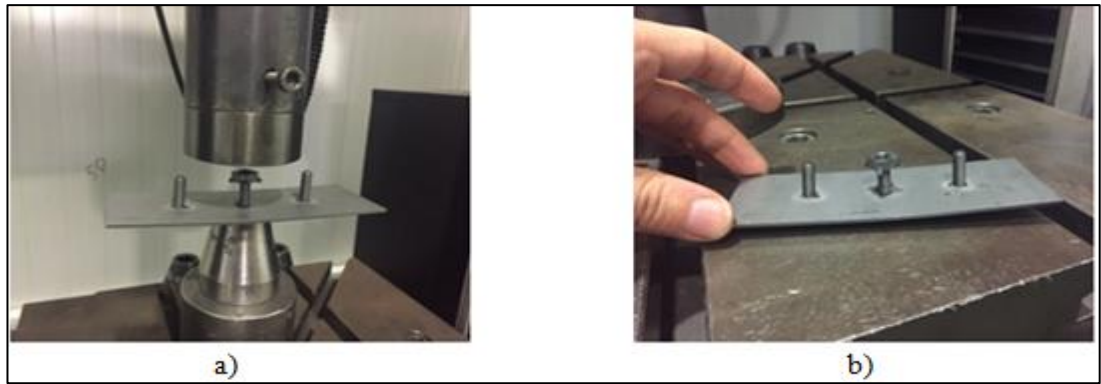
#### 3.1. Projeksiyon Kaynağı Test Yöntemleri

##### 3.1.1. Basma testi

980 MPa malzemeye kaynatılan cıvata için istenen basma testi değeri 5390 N olarak belirlenmiştir. Kaynak uygulaması sonrası parçalar basma cihazında Şekil 3.1’de gösterildiği gibi basılarak koparılmaya çalışılmaktadır. Basma cihazı üzerinden veriler bilgisayara atılmakta ve anlık olarak kopma noktaları takip edilmektedir.



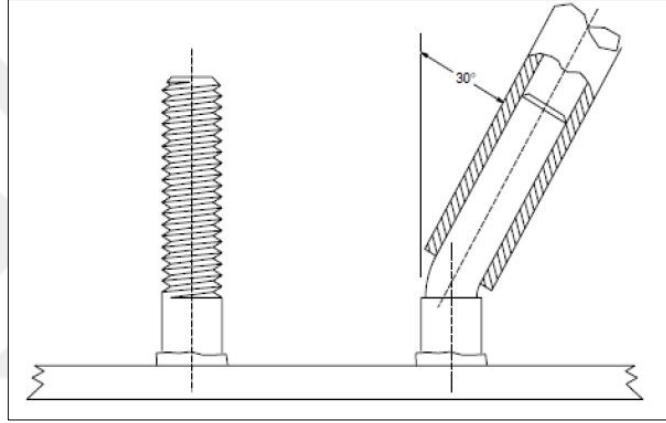
Şekil 3.1. a) Basma test cihazı, b) Basma işlemi görseli



Şekil 3.2. a) Basma testi pozisyonu, b) Kaynaklı plaka

### 3.1.2. Eğme testi

Bazı firmalar da cıvatalar eğme testine tabi tutulur. Cıvatanın dişli kısmı üzerine geçirilen bir 'bolt checker' adı verilen aparat ile en az 30° eğme sonucu kaynak bölgesinde kopma olup olmadığına bakılır ve eğme sonucu kopma olmamış ise kaynak başarılı kabul edilir. Aparat ile parçaya mekanik olarak 3-5 N'luk kuvvet uygulanır. Şekil 3.3'de de görüldüğü gibi eğme testi oldukça kolay yapılabilen bir testtir. Bu test sonucu kalitesel olarak yeterli olmamakla birlikte, seri üretimin devam edebilmesi adına geçici onay kararı amaçlı yapılır. Çalışmam da tüm testler basma testleri üzerinden devam etmiştir.



Şekil 3.3. Eğme işlemi şematik gösterim [46]

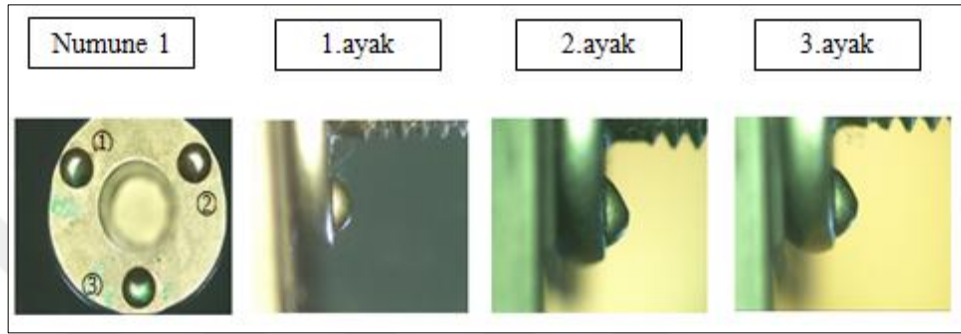
### 3.2. Deneysel Kısım İçeriği

Bu çalışmada son yıllarda otomotiv sektöründe kullanımı yaygınlaşan dual-faz çelik grubunun 980 MPa serisi seçilerek elektrik direnç cıvata kaynağı yöntemiyle birleştirilmiştir. Deneylerde, Toyotetsu Otomotiv firmasında yeni araç modelinde kullanılan 1,4 mm sac metal seçilmiştir. Elektrik direnç cıvata kaynak işlemi sırasında elektrot formu, elektrot malzemesi, soğutma suyu giriş hızı, cıvata ayak geometrileri sabit kabul edilerek standartlara göre belirlenen basma testlerine ulaşabilmek için denemeler yapılmıştır.

Kaynaklı bağlantıların dayanım değerlerini tespit etmek için bütün numuneler basma testi deneylerine tabii tutulmuştur. Ayrıca mikro yapı incelemesi için üretilmiş olan numuneler bakalite alınarak zımparalama, parlatma ve dağlama işleminden sonra mikroskopta incelenmiş ve mikro sertlik değerleri ölçülmüştür.

### 3.3.Cıvata Ayakları Mikroskop Görüntüleri

Cıvataların ayak geometrileri incelenmiş olup teknik resim ile karşılaştırılmıştır. Mikroskop altında yapılan ölçümlerde ayak geometrilerinde minör farklılıklar tespit edilse de teknik resim üzerinde belirtilen ayak çapı, ayak yüksekliği ve ayakların konumlarında uygunsuzluk görülmemiş olup bu çalışma da bir değişken olarak kabul edilmemiştir. Yapılan incelemelere ait görseller aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 3.4. Cıvata mikroskop görüntüleri

### 3.4.Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deneylerde kullanılan sac 980 MPa çift fazlı malzeme olup 1,4 mm kalınlığındadır. Galvaniz tabakasının kalınlığı yüzeyde 7,5  $\mu\text{m}$ 'dur. Kullanılan sac yabancı sermayeli bir firma tarafından temin edilmekte olup malzeme özellikleri ekteki raporda da görülmektedir.

Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan sacın kimyasal kompozisyonu

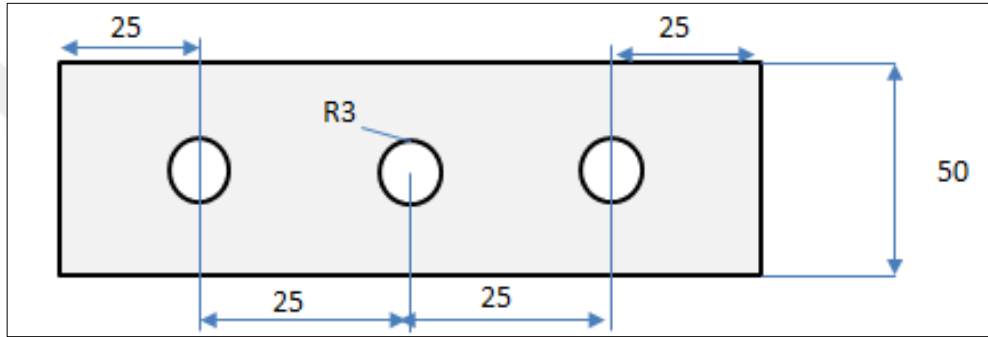
| CHEMICAL COMPOSITION OF THE HEAT IN %      |           |            |           |        |       |        |       |       |
|--|-----------|------------|-----------|--------|-------|--------|-------|-------|
| C  | SI        | MN         | P         | S      | AL    | B      | CR    | MO    |
| 0,155                                      | 0,265     | 1,83       | 0,015     | 0,0018 | 0,034 | 0,0008 | 0,422 | 0,108 |
| TENSILE TEST ( JIS Z 2241 / Z 2201)        |           |            |           |        |       |        |       |       |
| TEST                                       | R (mpa)   | R-art      | Rm(mpa)   | Lo(mm) | A(%)  |        |       |       |
| 20 C                                       | 691       | RP02       | 1064      | 50     | 14    |        |       |       |
| ROUGHNESS (DIN EN 10049 / 2,5 MM CUT OFF ) |           |            |           |        |       |        |       |       |
| RAO (mjm)                                  | RAU (mjm) | PCO (1/cm) | PCU(1/cm) |        |       |        |       |       |
| 1  | 0,9       | 44         | 60        |        |       |        |       |       |

Deneme yaptığımız malzeme çift fazlı bir malzeme olup ferrit ve martenzit fazından oluşmaktadır. 980 MPa çekme mukavemetine sahiptir. Sert bir malzeme olup şekil

verilebilirliği zordur. Kalınlık arttıka da Şekil verilebilirliğin daha da zorlaŐtıđı bilinmektedir. Otomotiv de kullanımı giderek artmakta olup hafifletme çalışmalarında tercih edilen bir malzemedir.

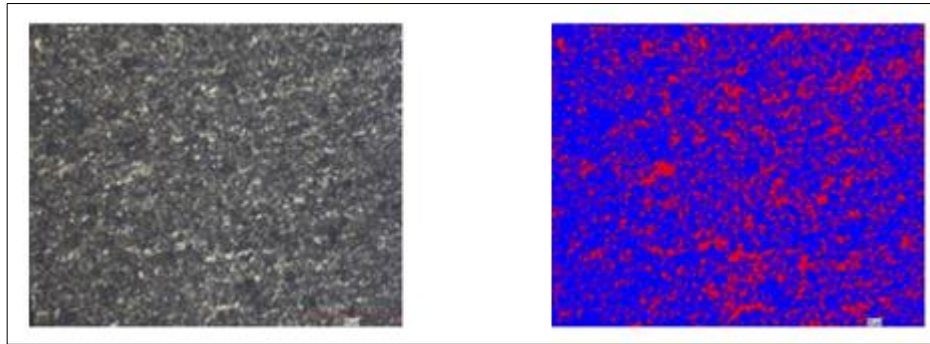
### 3.5. Deney Numunesinin Boyutları

Deneylerde kullanılan sacların boyutları aşağıda Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Pres ve kalıp kaynaklı düzlemsellik problemi olması ihtimaline karşı, testleri kalıptan çıkan formlu panel yerine, aynı malzemedan kesilmiŐ aşağıdaki ölçülerdeki düz saclardan temin edilerek lazer kesim ile 6 mm delik açtırarak cıvata delikleri oluŐturulmuŐtur.



Şekil 3.5. Kaynak işlemi için hazırlanmış numune

Denemelere baŐlamadan önce malzemenin yapısı incelenmiş olup aşağıdaki gibidir.



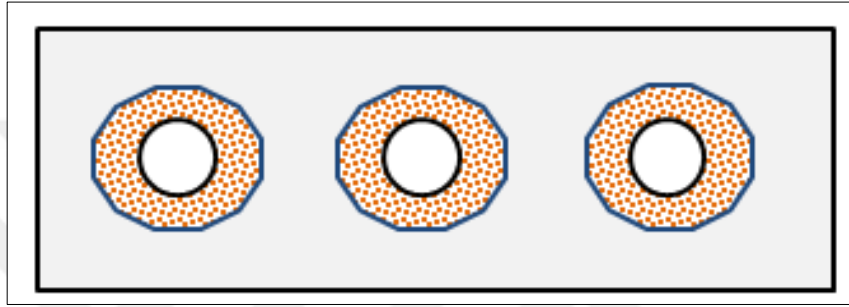
Şekil 3.6. Dual faz malzemenin iç yapısı

- Taralı alan : 30150,56  $\mu\text{m}^2$
- Tüm alan : 90451,69  $\mu\text{m}^2$
- Yakınlaştırma : 500X
- Ferrit : %71,9
- Martenzit : %28,1

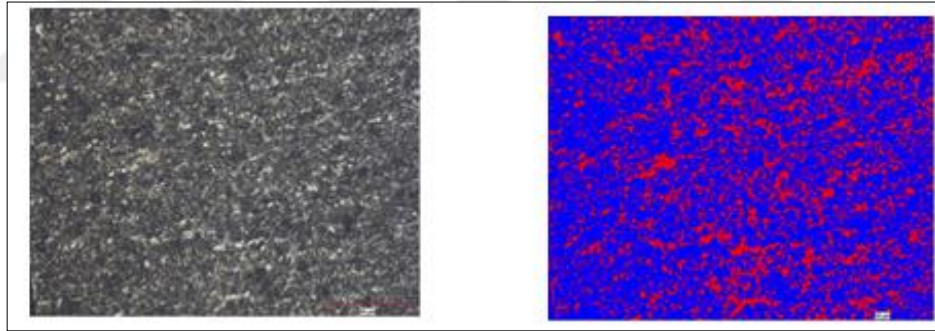


### 3.6.Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deney numuneleri, lazer kesim yöntemi ile kesilerek 6 mm çapında delik açılmıştır. Yüzeydeki yağ, kir, pas gibi kaynak işlemini olumsuz etkileyecek dış etkenleri arındırmak için etil alkol içinde bekletilmiştir. Lazer kesim sonucu oluşabilecek trimler'deki çapakların, kaynak mukavemetini etkilememesi adına, cıvata delikleri eğeleme işlemine tabii tutulmuştur. Lazer kesim işlemi boyunca delik etrafında ısı dağılımı incelenmiş ve mikroskopta malzeme yapısı gözlenmiştir.



Şekil 3.7. Cıvata deliği etrafı ısıdan etkilenmiş bölge incelemesi



Şekil 3.8. Lazer kesimli sac malzemenin delik kenarları malzeme yapısı

- Taralı alan : 30150,56  $\mu\text{m}^2$
- Tüm alan : 90451,69  $\mu\text{m}^2$
- Yakınlaştırma : 500X
- Ferrit : %71,9
- Martenzit : %28,1

Yukarıdaki malzeme inceleme analizlerinden görüldüğü üzere lazer kesim esnasında delik kenarlarının ısıya bağlı tane yapıları ve fazlarda değişim görülmemiş olup, değişim noktası olarak ele alınmayacaktır.

### 3.7.Deneylerde Kullanılacak Ekipman Bilgisi

Elektrik direnç cıvata kaynak işlemleri zaman ve akım kontrollü, 35 kVA, 50 kVA, 125 kVA kapasiteli, tek hareketli eksene sahip, pnömatik tahrikli direnç kaynak makinalarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında elektrot basma kuvveti ve gerçek akım kontrolleri sürekli olarak ölçülmüş ve kontrol edilmiştir. Farklı kaynak akımı, kaynak zamanı ve kuvvet parametrelerinde denemeler yapılmıştır. Sıkıştırma zamanı, tutma zamanı ve ayrılma zamanı gibi yan parametreler tüm deneylerde sabit tutulmuştur.

#### 3.7.1. Kaynak denemesinde kullanılan elektrotlar

Deneylerde kaynak bağlantısını elde etmek için ekteki resimde belirtilen tip'te elektrot'lar kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Kaynak elektrotları a) Alt elektrot, b) Üst elektrot

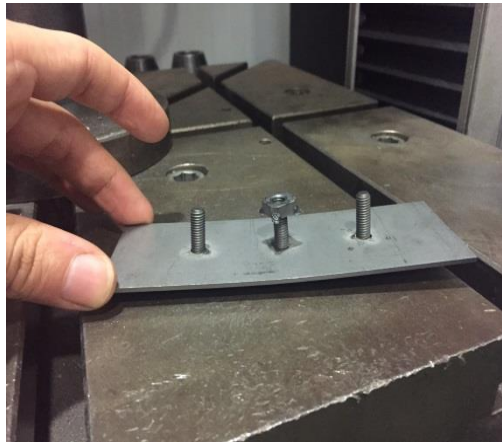
Denemeler öncesinde değişken oluşturmaması adına donanım kontrolleri yapılmış ve anormal bir durum gözlenmemiştir. Makina hareketli elektrot gruplarında 15 mm bindirme mesafesi gözetilerek ve elektrot merkezlemesi yapılarak elektrik direnç cıvata kaynağı gerçekleştirilmiştir. Projeksiyon kaynağında ağırlıklı olarak kullanılan Toyotetsu'daki 125 kVA makine görseli Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10. Direnç kaynak makinası

### 3.7.2. Basma test numunesi

Kaynak yapılan cıvatalara aşağıdaki gibi somun takılarak basma testi uygulanmaktadır. Kaynak makinasında birleştirme sonrası İnstron cihazında basma testi işlemleri yapılmıştır. Basma testi değerlerine göre parametresel baz'da değişikliklerin kaynak mukavemetine etkisi araştırılmıştır.



Şekil 3.11. Basma testi numunesi

### 3.7.3.Diğer kullanılan kalite laboratuvarı ekipmanları

Tablo 3.2. Kalite laboratuvarı ekipmanları

| Makinalar                 | Marka        | Özellik                |
|---------------------------|--------------|------------------------|
| Plasma kesim makinası     | Gedik Kaynak | GEKAMAC/Power cut 100İ |
| Mikro kesme makinası      | Struers      | Labotom-5              |
| Zımpara/parlatma makinası | Struers      | LaboPol-60             |
| Mikroskop                 | Struers      | Welding Expert         |

Mikroskop incelemesi öncesinde kalite laboratuvarında asit banyosu proses'leri yapılmaktadır.

Tablo 3.3. Kalite laboratuvarı kimyasal sıvılar

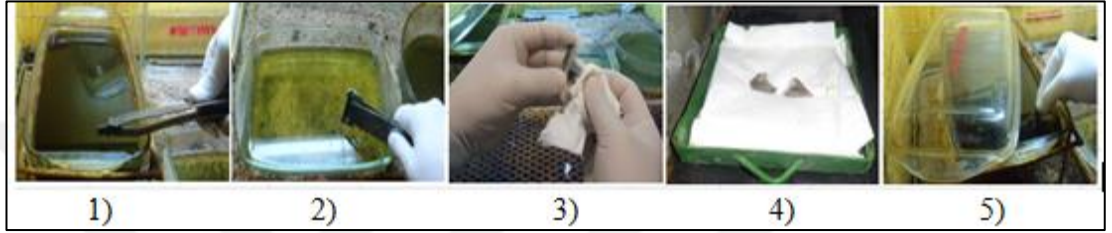
| Asit/Dağlama prosesi |  |
|----------------------|--|
| Kullanılan Kimyasal  | Özellik  |
| Pikrik asit          | Pikrik asit daha doğru bir ifadeyle 2,4,6-trinitrofenol denilen kimyasal bileşiktir. Asidik yapıdaki bu fenol sarı kristal katı halde bulunur. Mikro yapı analiz öncesi dağlama da kullanılır.<br>Formül: C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> N <sub>3</sub> O <sub>7</sub><br>Molar kütle: 229,1 g/mol<br>Yoğunluk: 1,76 g/cm <sup>3</sup><br>PubChem Bileşik Kimlik Numarası: 6954 |
| Demir3 Klorür        | Ferric Chloride, İron (3+) Chloride FeCl <sub>3</sub>  |

#### 3.7.3.1.Pikrik asit banyosu

Kesiti alınmış parçayı dağlayarak iki birleşen paneli ve kaynağı ayrıştırmak için parçanın kaynağının nüfuziyetinin görsel olarak anlık durumunu gösteren asit türüdür. Kesiti alınmış parça zımpara prosesinden geçirilerek bu asitte dağlanarak birleşen

panellerin ve kaynak nüfuziyetinin mikroskop ortamında ölçümlerinin yapılması için kullanılan bir asit türüdür. İşlem sıraları;

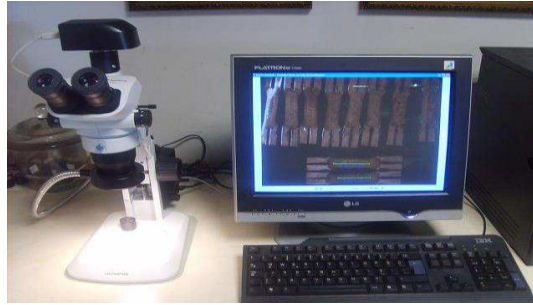
- 1) Yüzey parlatma işlemi yapılan parçalar pikrik asit'te 5-10 dk bekletilir.
- 2) Pikrik asitte bekletilen parçalar maşa yardımıyla banyoda çıkartılır.
- 3) Çıkan parçalar durulama banyosuna atılır.
- 4) Daha sonra parçalar kurulanır. Leke kalmayacak şekilde silinir.
- 5) Parçalar kurumaya bırakılır ve ölçüme alınır.



Şekil 3.12. Kimyasal banyo aşamaları

### 3.7.3.2. Optik mikroskopi

Bu çalışma da direnç çivata kaynağı yapılmış 980 MPa dual fazlı çelik sac malzemeden kesit numuneler çıkarılmış ve bunların metalografik inceleme sonucunda mikro yapıları incelenmiştir. Mikro yapı incelemesi aşağıda Şekil 3.13'te görülen Olympus PME 3 marka optik mikroskopta yapılmıştır.



Şekil 3.13. Optik mikroskopi cihazı

### 3.7.3.3. Sertlik ölçüm cihazı

980 MPa malzeme mikro sertlik ölçümleri Şekil 3.14'te mikro sertlik ölçümünde kullanılan vickers ölçüm cihazı görünmektedir.



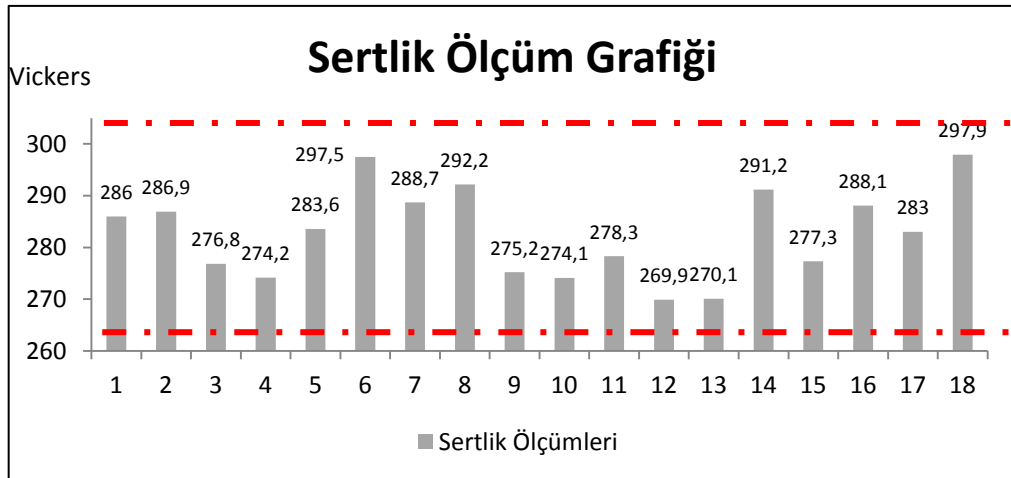
Şekil 3.14. Sertlik ölçüm cihazı



Şekil 3.15. 1.numune sertlik ölçümleri



Şekil 3.16. 2.numune sertlik ölçümleri



Şekil 3.17. Sertlik ölçüm grafik görünümü

Kaynak işleminin uygulanmamış malzemenin çeşitli noktalarına ölçümler yapıp raporlanmıştır. Sertlik değerleri 269 HV ile 297 HV arasında olup uygundur.

#### 3.7.4. Proses yeterliliği analizi

Cp indeksi, prosesin gereksinimleri karşılayan ürün imal etme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Cp indeksi ile proses yayılımının hangi düzeyde olduğunun incelenmesine karşılık, sürecin hedef değerde oluşma derecesiyle ilgili bilgi sağlanamaz. Alt ve üst sınırı olan durumlarda Cp indeksine bakılamaz. Sadece alt sınır var ise Cp indeksine bakılır ve en büyük en iyi olarak kabul edilir. Çıkan sonuçlar formülde analiz edilir ve varyasyona bakılır.

Cpk ise prosesteki yayılımı ve dağılımın konumunu belirtir, yani limit değerler içinde olabilmeye ölçüsüdür. Hedeflenen değerde alt veya üst limitten birtanesi yok ise cpk değerinden söz edilemez. Limitlerden birtanesinin olmaması durumunda en büyük en iyi durumu seçilir ve cp değeri olarak değerlendirilir. Bunda da varyasyonu en az olan değerler en optimum değerlerdir. Bu çalışma da cp değerleri üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Denklem (3.1) ve (3.2) kullanılarak hesaplamalar yapılır.

ASL: Alt spesifikasyon limiti

ÜSL: Üst spesifikasyon limiti

$\sigma$ : Standart sapma

$\mu$ : Ortalama

$$Cp = (\text{ÜSL} - \text{ASL}) / 6\sigma \quad (3.1)$$

Tablo 3.4. Cp değerinin yorumlanması [47]

| Cp                 | Değerlendirme    | Yorum   |
|--------------------|------------------|---|
| $Cp \leq 1$        | Yetersiz         | Proses yetersizdir. İyileştirmeler yapılmalıdır.                      |
| $1 < Cp \leq 1,33$ | Kabul edilebilir | Proses spesifikasyonları karşılamaz. Proses kontrolü sürdürülmelidir. |
| $Cp \geq 1,33$     | İyi              | Proses spesifikasyonları karşılar.                                    |

Her parametre için parçalar üretilerek basma testleri yapılacak ve Cp değerleri elde edilecektir. Amaç endüstriyel çalışmalara uygun olarak Cp değerinin 1.33 üzerinde olmasıdır [47]. Yapılan testlerde alt limit 5390 N belirlenmiş olup üst limit belirlenmemiştir. Amaç olabildiğince yüksek mukavemetli ve stabil sonuç elde etmektir. Bu nedenle tek limitli indeks formülü kullanılarak karar verilecektir.





#### 4. ÖN DENEMELER

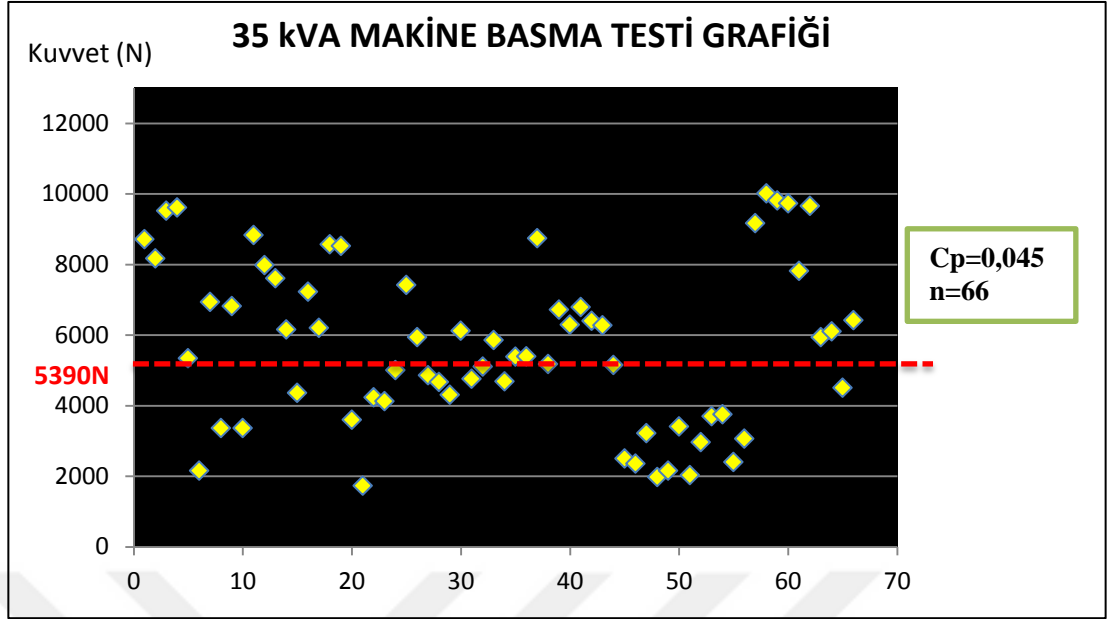
##### 4.1.Taguchi Yöntemi Öncesi Yapılan Ön Analizler - 1

1.Denemede 35 kVA AC direnç kaynak makinası kullanılmıştır. Denemelerde 11 farklı parametre denenmiştir. 11 farklı parametre ile 66 adet kaynak denemesi yapılmıştır. 66 adet basma testinin sonucu Tablo 4.1’ de görülmektedir. Yapılan denemeler arasından en iyi parametre seçimi yapılmıştır ve seçilen parametre ile tekrar kaynak işlemi yapıp varyasyon analizleri yapılmıştır.

Tablo 4.1. 35 kVA Makine ile civata kaynak denemeleri

| 35 KVA MAKİNA M6 CIVATA DENEMELERİ |                       |                   |            |                       |       |      |      |                         |                 |      |      |      |      |  |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------|------------|-----------------------|-------|------|------|-------------------------|-----------------|------|------|------|------|--|
| DENEME NO                          | Kaynak zamanı (cycle) | Kaynak Akımı (KA) | Kuvvet (N) | BASMA TESTİ SONUÇLARI |       |      |      |                         |                 |      |      |      |      |  |
|                                    |                       |                   |            | Deneme Sayısı         |       |      |      |                         |                 |      |      |      |      |  |
|                                    |                       |                   |            | 1                     | 2     | 3    | 4    | 5                       | 6               | 7    | 8    | 9    | 10   |  |
| 1                                  | 12                    | 9,5               | 3500       | 8705                  | 8167  | 9515 | 9602 | 5339                    | 2147            | 6930 | 3354 | 6816 | 3354 |  |
| 2                                  | 14                    | 9,5               | 3500       | 8828                  | 7974  | 7600 | 6148 | 4359                    | Uygunsuz kaynak |      |      |      |      |  |
| 3                                  | 12                    | 9,5               | 3000       | 7224                  | 6196  | 8565 | 8521 | 3598                    | Uygunsuz kaynak |      |      |      |      |  |
| 4                                  | 8                     | 9,5               | 4200       | 1725                  | 4232  | 4120 | 4996 | Aşırı düşük değer çıktı |                 |      |      |      |      |  |
| 5                                  | 10                    | 9,5               | 4200       | 7409                  | 5930  | 4856 | 4666 | Aşırı düşük değer çıktı |                 |      |      |      |      |  |
| 6                                  | 8                     | 12                | 5200       | 4298                  | 6111  | 4750 | 5096 | 5855                    | 4684            | 5381 | 5387 |      |      |  |
| 7                                  | 8                     | 13                | 5200       | 8736                  | 5176  | 6710 | 6285 | 6790                    | 6395            | 6269 | 5145 |      |      |  |
| 8                                  | 3                     | 13                | 5200       | 2500                  | 2350  | 3215 | 1968 | Aşırı düşük değer çıktı |                 |      |      |      |      |  |
| 9                                  | 8                     | 15                | 5200       | 2156                  | 3400  | 2025 | 2958 | Aşırı düşük değer çıktı |                 |      |      |      |      |  |
| 10                                 | 3                     | 14                | 5200       | 3689                  | 3748  | 2398 | 3058 | Aşırı düşük değer çıktı |                 |      |      |      |      |  |
| 11                                 | 12                    | 10                | 3500       | 9158                  | 10005 | 9806 | 9725 | 7810                    | 9654            | 5936 | 6100 | 4496 | 6416 |  |

35 kVA makine ile yapılan basma sonuçları grafik olarak gösterilirse,



Şekil 4.1. 35 kVA makine basma test grafiği

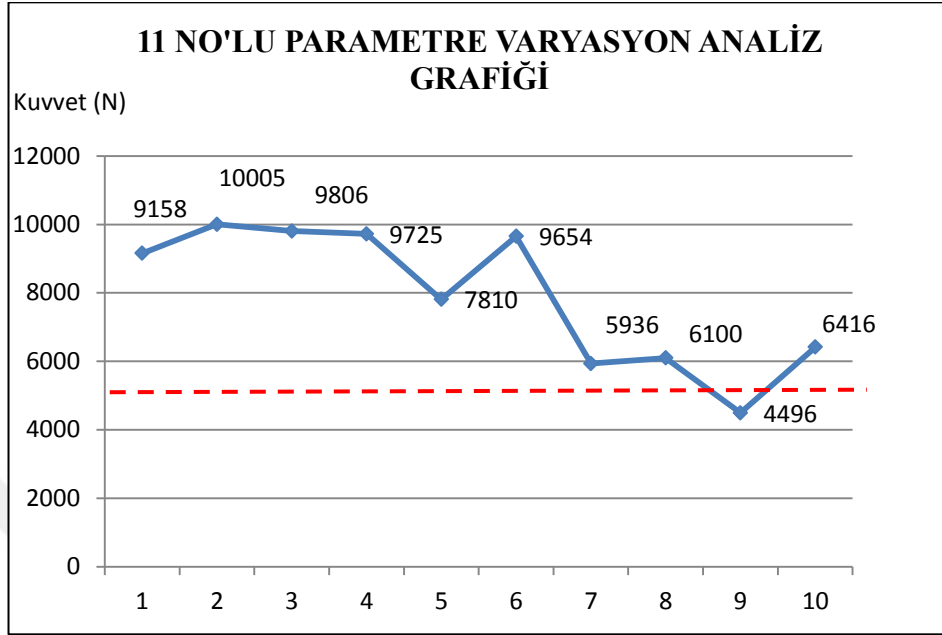
Basma test sonuçlarının geniş bir aralıkta çıktığı görülmektedir. 35 kVA makine de yapılan 66 test için cp proses yeterliliği analizi yapılırsa;

Tablo 4.2. 35 kVA makine denemeleri Cp tablosu

|              |          |
|--------------|----------|
| MAX          | +10005,0 |
| MIN          | +1725,0  |
| R            | 8280,0   |
| X            | +5704,77 |
| $\delta$ n-1 | 2322,605 |
| Cp(lower)    | 0,045    |
| CPK          | 0,045    |
| Judge        | x        |
| CP Judge     | x        |
| CPK Judge    | x        |
| Upper tol.   | -        |
| Under tol.   | +5390,0  |

35 kVA makine ile yapılan tüm testlerin cp analizleri yapıldığında 0,045 değeri bulunmuş olup proses yeterliliği için çok düşük bir değerdir. Tüm denemelerde elde edilen en iyi parametre yukarıdaki tablodan ve grafikten de görüldüğü üzere 11 numaralı parametredir. Bu parametre ile yapılan 10 adet basma testinde 1 kez nominal sınırın altında indiği görülmektedir.

Seçilen parametre: 10 kA, 12 cyc, 3500 N. Bu parametre ile varyasyon kontrolü yapılmış olup cp değerine bakılmıştır.



Şekil 4.2. 11 No'lu parametre varyasyon analiz grafiği

Yorum: Seçilen 11 no'lu parametrenin varyasyon kontrolleri yapılmış olup çıkan sonuçlar grafik olarak yukarıda verilmiştir. 10 Deneme sonucuna baktığımızda standart sapmanın yüksek olduğu ve 1 kez nominal sınırın (5390 N) altına indiği görülmüştür. Sonuçların standartlar baz alındığında üretim için risk teşkil ettiği düşünülmektedir. Bu değerlerin cp indeksi;

Tablo 4.3. 11 No'lu parametrenin Cp değer tablosu

|                      |          |
|----------------------|----------|
| MAX                  | +10005,0 |
| MIN                  | +4496,0  |
| R                    | 5509,0   |
| X                    | +7910,60 |
| $\hat{\sigma}_{n-1}$ | 2026,143 |
| Cp(lower)            | 0,415    |
| CPK                  | 0,415    |
| Judge                | x        |
| CP Judge             | x        |
| CPK Judge            | x        |
| Upper tol.           | -        |
| Under tol.           | +5390,0  |

Cp indeksi kontrol edilmiş ve 0,415 gelerek beklentileri karşılamamıştır. 35 kVA makine için yakalanan en iyi parametre de cp değerinin bu denli düşük kalması araştırmaları diğer makinalarla devam etmeye itmiştir.

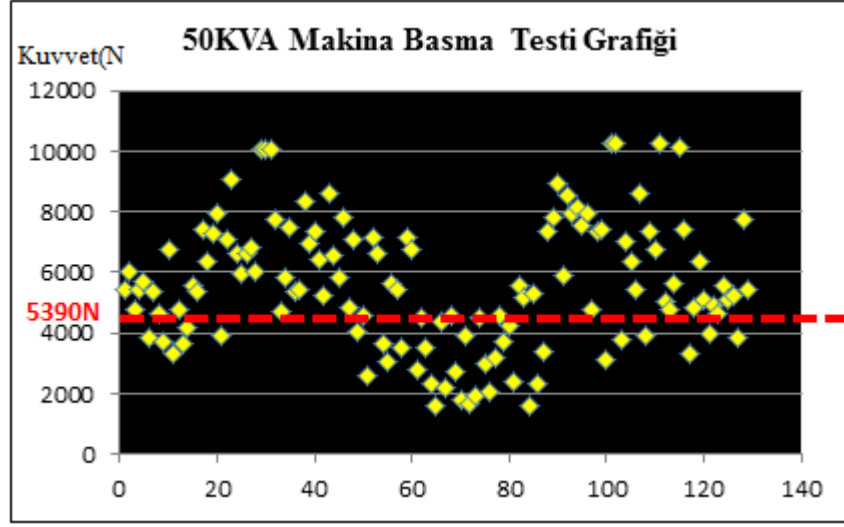
#### 4.2.Taguchi Yöntemi Öncesi Yapılan Ön Analizler – 2

2.Denemede 50 kVA AC direnç kaynak makinası kullanılmıştır. Denemelerde 19 farklı parametre denenmiştir. 19 farklı parametre ile 131 adet basma testi yapılmıştır. 131 adet basma testinin sonucu Tablo 4.4’de görülmektedir. Yapılan denemeler basma testi işlemine tabii tutulmuş olup, aralarından en iyi parametre seçimi yapıp varyasyon analizleri yapılmıştır.

Tablo 4.4. 50 kVA makine ile civata kaynak denemeleri

| 50 KVA MAKİNA M6 CIVATA DENEMELERİ |                       |                   |            |                       |       |       |                 |                        |      |       |      |      |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------|------------|-----------------------|-------|-------|-----------------|------------------------|------|-------|------|------|
| DENEME NO                          | Kaynak zamanı (cycle) | Kaynak Akımı (KA) | Kuvvet (N) | BASMA TESTİ SONUÇLARI |       |       |                 |                        |      |       |      |      |
|                                    |                       |                   |            | Deneme Sayısı         |       |       |                 |                        |      |       |      |      |
|                                    |                       |                   |            | 1                     | 2     | 3     | 4               | 5                      | 6    | 7     | 8    | 9    |
| 1                                  | 12                    | 10                | 2500       | 5412                  | 6009  | 4761  | 5399            | 5696                   | 3865 | 5335  | 4634 |      |
| 2                                  | 10                    | 10                | 3500       | 3694                  | 6763  | 3313  | 4765            | 3631                   | 4200 | 5557  | 5381 |      |
| 3                                  | W1=6 Cyc              | W1=6 kA           | 3500       | 7440                  | 6354  | 7309  | 7920            | 3930                   | 7071 | 9058  | 6652 |      |
| 4                                  | 7                     | 14                | 3500       | 5957                  | 6646  | 6793  | 6027            | Dişlerde erime         |      |       |      |      |
| 5                                  | 60                    | 10                | 3500       | 10035                 | 10050 | 10031 | 7765            | Civata kafasında erime |      |       |      |      |
| 6                                  | 60                    | 9                 | 3500       | 4728                  | 5798  | 7456  | 5350            |                        |      |       |      |      |
| 7                                  | 12                    | 10                | 6000       | 5448                  | 8336  | 6924  | 7370            | 6406                   | 5231 |       |      |      |
| 8                                  | 12                    | 12                | 3500       | 8633                  | 6578  | 5850  | 7820            | 4834                   | 7111 |       |      |      |
| 9                                  | W1=6 Cyc              | W1=6 kA           | 3500       | 4043                  | 4567  | 2570  | 7120            | 6590                   | 3676 |       |      |      |
| 10                                 | W1=3 Cyc              | W1=14,5           | 3500       | 3043                  | 5655  | 5444  | 3510            | 7172                   | 6731 |       |      |      |
| 11                                 | 6 Cyc                 | 12 kA             | 3000       | 2790                  | 4533  | 3524  | 2324            | 1567                   | 4367 | 2184  | 4545 | 2729 |
| 12                                 | 12 Cyc                | 10 kA             | 3000       | 1800                  | 3928  | 1682  | 1930            | 4516                   | 2994 | 2041  | 3178 | 4599 |
| 13                                 | 6 Cyc                 | 10 kA             | 3000       | 3729                  | 4229  | 2362  | 5533            | 5177                   | 1604 | 5323  | 2326 | 3357 |
| 14                                 | 12 Cyc                | 10 kA             | 4000       | 3136                  | 10261 | 10238 | 3774            | 6997                   | 6340 | 5422  | 8632 | 3920 |
| 15                                 | 6 Cyc                 | 10 kA             | 4000       | 7331                  | 6749  | 10232 | 5051            | 4776                   | 5649 | 10127 | 7405 | 3283 |
| 16                                 | 6 Cyc                 | 12 kA             | 4000       | 4810                  | 6354  | 5111  | 3990            | 4889                   | 4614 | 5563  | 5116 | 5229 |
| 17                                 | 15 Cyc                | 10,5 kA           | 4000       | 3863                  | 7742  | 5424  | Çok düşük değer |                        |      |       |      |      |
| 18                                 | 12 Cyc                | 10 kA             | 3500       | 7343                  | 7795  | 8939  | 5918            | 8520                   | 7917 | 5865  | 6322 |      |
| 19                                 | 11 cyc                | 11 kA             | 4000       | 8159                  | 7516  | 7918  | 4767            | 7366                   | 7435 |       |      |      |

50 kVA ile yapılan deneme sonuçları grafik olarak gösterilirse;



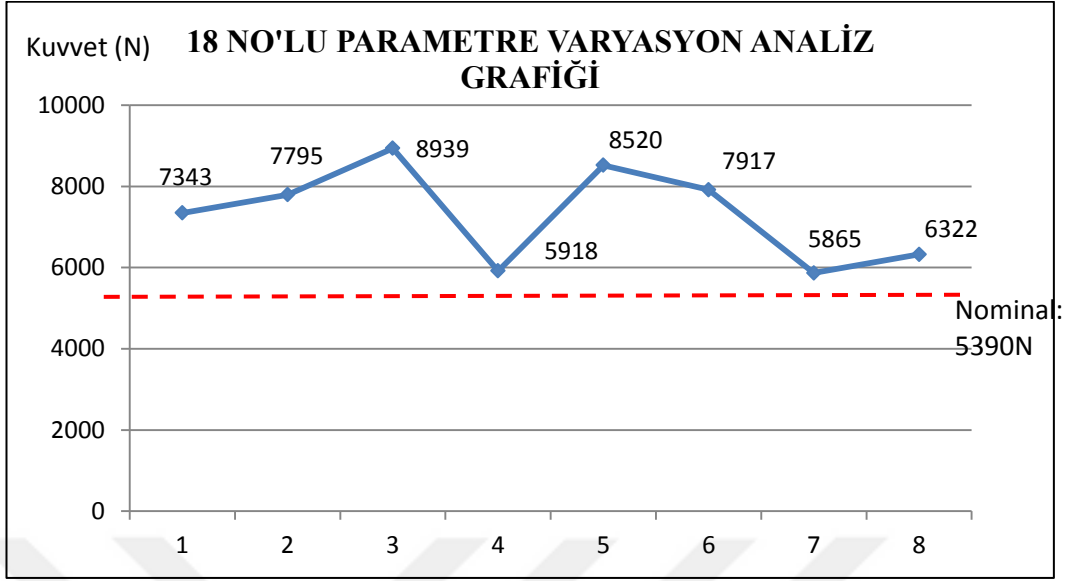
Şekil 4.3. 50 kVA makine basma test grafiği

50 kVA makine de 131 test için Cp proses yeterliliği analizi yapılırsa;

Tablo 4.5. 50 kVA makine denemeleri Cp tablosu

|              |          |
|--------------|----------|
| MAX          | +10261,0 |
| MIN          | +1567,0  |
| R            | 8694,0   |
| X            | +5596,43 |
| $\delta n-1$ | 2101,242 |
| Cp(lower)    | 0,033    |
| CPK          | 0,033    |
| Judge        | x        |
| CP Judge     | x        |
| CPK Judge    | x        |
| Upper tol.   | -        |

50 kVA makine ile yapılan tüm testlerin cp analizleri yapıldığında 0,033 değeri bulunmuş olup proses yeterliliği için bu da düşük bir değerdir. Tüm denemelerde elde edilen en iyi parametre yukarıdaki tablodan ve grafikten de görüldüğü üzere 18 no'lu parametredir. Seçilen parametre 10 kA, 12 cyc, 3500 N'dur. Bu parametre ile testler tekrarlanacak olup varyasyon Cp değerine bakılacaktır. 19 nolu parametrenin sonuçları uygun görünmesine karşılık, sıçrantı oluşumundan dolayı tercih edilmemiştir.



Şekil 4.4. 18 No'lu parametre varyasyon analiz grafiği

Yorum: Seçilen 18 no'lu parametrenin varyasyon kontrolleri yapılmış olup çıkan sonuçlar grafik olarak yukarıda verilmiştir. 8 Deneme sonucuna baktığımızda sonuçlar nominal sınırın (5390 N) üzerindedir. Bu değerlerin Cp indeksi ise,

Tablo 4.6. 18 No'lu parametre Cp değer tablosu

|              |          |
|--------------|----------|
| MAX          | +8939,0  |
| MIN          | +5865,0  |
| R            | 3074,0   |
| X            | +7327,38 |
| $\delta n-1$ | 1178,493 |
| Cp(lower)    | 0,548    |
| CPK          | 0,548    |
| Judge        | o        |
| CP Judge     | x        |
| CPK Judge    | x        |
| Upper tol.   | -        |

Cp indeksi incelendiğin değerin 0,548'e yükseldiği görülmüştür ancak yine beklentileri karşılamamıştır. 35 kVA makine ile kıyasladığında 0,415'den 0,548'e çıktığı testlerle ortaya konulmuştur. Araştırmaların ve denemelerin farklı makinalarda devam etmesine karar verilmiştir.

Şu ana kadar 35 kVA ve 50 kVA makinalarda 197 adet basma testi yapılmıştır. Hemen hemen tüm parametrelerde standart sapmaların yüksek olduğu ve zaman zaman nominal sınırın altında sonuçlarla karşılaşılmıştır. Tüm parametreler göz önüne alındığında standart sapması yüksek olmasına rağmen ortalama değeri en yüksek parametre 10 kA 12 cycle 3500 N kullanılan parametre olmuştur. 11 kA akım değerinin üst sınırlarında yapılan denemelerde sıçrıntı oluşumu gözlenmiş ve cıvatanın fonksiyonelliğini yitirmesine neden olmuştur. Bu nedenle 11 kA akım değeri üst limit olarak kabul edilmiştir. Tüm testlerde total olarak düşünüldüğünde ayırt edici bir sonuç elde edilemediği için daha önce Toyotetsu'da cıvata kaynağında hiç kullanılmamış 125 kVA makina ile denemelere devam edilmesine karar verilmiştir.

Üretici firmalardan alınan bilgilere göre bizim yaptığımız parametreler baz alındığında makine gücünün artmasının spesifik olarak bir fark yaratmayacağı ancak makine gücü arttıkça trafo gücünün arttığı, bu durumda kaynak esnasında makinanın akım bölgesinden aldığı geri beslemeye göre oluşabilecek varyasyonları tolere etme kabiliyetini artırabileceği ve sonuçları stabil tutmaya yardımcı olabileceği bilgisi edinilmiştir. Ayrıca 125 kVA makinanın akım yakalama kabiliyeti daha fazladır. Yani 10 kA'lık akıma çok daha kısa sürede (2-3 cycle) çıkabildiği ve bu noktada stabiliteyi daha fazla olduğu bilgisi edinilmiştir. 125 kVA makina diğerlerine göre yeni nesil bir makine olup basma testlerinin daha yukarılarda çıkması beklenmektedir.

### **4.3.Taguchi Yöntemi Öncesi Yapılan Ön Analiz Denemeleri - 3**

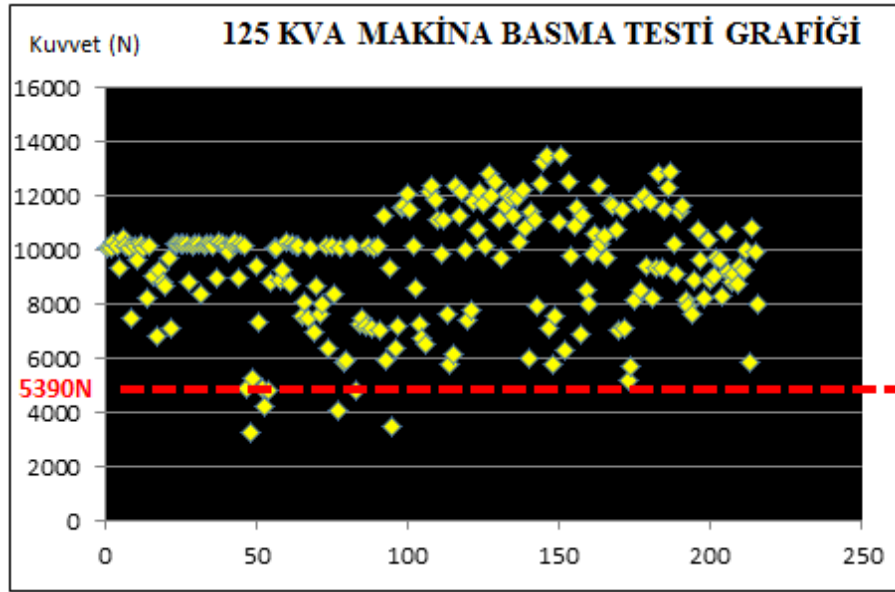
3.Denemede 125 kVA AC direnç kaynak makinası kullanılmıştır. Denemelerde 18 farklı parametre denenmiştir. 18 farklı parametre ile 216 adet basma testi yapılmıştır. 216 adet basma testinin sonucu Tablo 4.7' de görülmektedir. Yapılan denemeler basma testi işlemine tabii tutulmuş olup, en iyi parametre ile tekrar kaynak işlemi yapıp varyasyon analizleri yapılmıştır.

Tablo 4.7. 125 kVA makine ile cıvata kaynak denemeleri

| 125 KVA M6 Cıvata Denemeleri |   |                         |            |                       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------------|---|-------------------------|------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DENEME NO                    | Kaynak zamanı (cycle)                       | Kaynak Akımı (KA)       | Kuvvet (N) | BASMA TESTİ SONUÇLARI |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                              |   |                         |            | Deneme Sayısı         |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                              |   |                         |            | 1                     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
| 1                            | W1=3 Cyc<br>W2=8 Cyc                        | W1=14.5 kA<br>W2=9.5 kA | 5000       | 10070                 | 10092 | 10268 | 10176 | 9337  | 10475 | 10119 | 10100 | 7464  |
|                              |   |                         |            | 10180                 | 9624  | 10195 | 10093 | 8238  | 10116 | 9028  | 6789  | 9256  |
| 2                            | W1=3 Cyc<br>W2=8 Cyc                        | W1=11 kA<br>W2=9.5 kA   | 5000       | 8827                  | 8695  | 9698  | 7108  |       |       |       |       |       |
| 3                            | 12  | 10                      | 3500       | 10197                 | 10214 | 10200 | 10217 | 10208 | 8824  | 10177 | 10224 | 10247 |
|                              |   |                         |            | 8367                  | 10175 | 10201 | 10195 | 10149 | 8950  | 10256 | 10239 | 10133 |
|                              |   |                         |            | 9934                  | 10188 | 10264 | 8967  | 10237 | 10132 |       |       |       |
| 4                            | 10  | 12                      | 3500       | 4896                  | 3237  | 5288  | 9436  |       |       |       |       |       |
| 5                            | 8   | 11,5                    | 3000       | 7309                  | 4920  | 4220  | 4796  |       |       |       |       |       |
| 6                            | 12  | 11                      | 3500       | 8829                  | 10097 | 10074 | 8921  |       |       |       |       |       |
| 7                            | 11  | 11                      | 4000       | 9273                  | 10289 | 8708  | 10200 | 10178 | 10139 |       |       |       |
| 8                            | 6   | 10,5                    | 3500       | 2700                  | 7525  | 8081  | 7480  | 10057 | 6939  | 8668  | 7614  | 7975  |
|                              |   |                         |            | 10175                 | 6339  | 10118 | 8401  | 4044  | 10083 | 5853  |       |       |
| 9                            | 6   | 8,4                     | 3500       | 5948                  | 10148 | 10161 | 4804  | 7228  | 7444  |       |       |       |
| 10                           | 6   | 12                      | 5000       | 7213                  | 10153 | 7143  | 10075 | 10108 | 7058  |       |       |       |
| 11                           | 6   | 10,5                    | 3500       | 2500                  | 11258 | 5947  | 9321  | 3489  | 6345  | 7169  | 11565 | 11603 |
|                              |   |                         |            | 12095                 | 11479 | 10112 | 8618  | 7269  | 6719  | 6533  |       |       |
| 12                           | 6   | 12                      | 3000       | 12139                 | 12384 | 11880 | 11070 | 9821  | 11085 | 7629  | 5744  | 6128  |
| 13                           | 6   | 12                      | 3500       | 12390                 | 11270 | 12167 | 9965  | 7396  | 7802  | 11754 | 10702 | 12107 |
| 14                           | 6   | 12                      | 4000       | 11721                 | 10117 | 12815 | 11975 | 12539 | 11072 | 9672  | 11655 | 12064 |
| 15                           | 6   | 12                      | 4000       | 11941                 | 11286 | 11935 | 10300 | 12252 | 10806 | 5988  | 11432 | 11082 |
| 16                           | 6   | 12                      | 3500       | 7944                  | 12409 | 13238 | 13445 | 7100  | 5746  | 7537  | 11007 | 13446 |
| 17                           | 6   | 12                      | 3000       | 6267                  | 12490 | 9811  | 10885 | 11584 | 6890  | 11242 | 8493  | 7969  |
| 18                           | Deneme 13' parametreleri tekrar edilmiştir. |                         |            | 9812                  | 10604 | 12329 | 10242 | 10487 | 9683  | 11697 | 11614 |       |
|                              |   |                         |            | 10762                 | 7019  | 11480 | 7115  | 5174  | 5735  | 8129  | 11781 |       |
|                              |   |                         |            | 8540                  | 11984 | 9410  | 11808 | 8196  |       |       |       |       |
| 19                           | Deneme 14' parametreleri tekrar edilmiştir. |                         |            | 9301                  | 12812 | 9295  | 11468 | 12325 | 12897 | 10250 |       |       |
|                              |   |                         |            | 9135                  | 11415 | 11608 | 8148  | 7916  | 7651  | 8899  |       |       |
|                              |   |                         |            |                       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 20                           | 9   | 10                      | 3000       | 10708                 | 9663  | 8205  | 10352 | 8855  | 9065  | 9725  | 9618  |       |
|                              |   |                         |            | 8297                  | 10656 | 9216  | 8825  | 9121  | 8753  | 9385  | 9242  |       |
|                              |   |                         |            | 9984                  | 5865  | 10774 | 9906  | 8009  |       |       |       |       |

125 kVA ile yapılan deneme sonuçları grafik olarak gösterilirse;





Şekil 4.5. 125 kVA makine basma test Grafiği

125 kVA makine de 216 test için cp proses yeterliliği analizi yapılırsa ;

Tablo 4.8. 125 kVA makine Cp değer tablosu

|              |          |
|--------------|----------|
| MAX          | +13446,0 |
| MIN          | +3237,0  |
| R            | 10209,0  |
| X            | +9419,18 |
| $\delta n-1$ | 2066,729 |
| Cp(lower)    | 0,650    |
| CPK          | 0,650    |
| Judge        | x        |
| CP Judge     | x        |
| CPK Judge    | x        |
| Upper tol.   | -        |
| Under tol.   | +5390,0  |

125 kVA makine ile yapılan tüm testlerin Cp analizleri yapıldığında 0,650 değeri bulunmuş olup şu ana kadar ki en yüksek değerdir. Proses yeterliliği için yine yeterli olmadığı düşünülmektedir.

Yorum: 125 kVA makine ile yapılan testlerde birden fazla parametrenin iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sonuçlar nominal değer üzerinde seyrettiği için basma test adetleri arttırılmıştır.

Önceki denemelere göre 10.000 N'un üzerinde sonuçlar çıkması beklendiği gibi 125 kVA makinanın kullanımını bir adım öne çıkarmıştır. Basma testi olarak uygun seviye de çıkan parametreler ayrı ayrı aşağıda incelenmiştir.

Tablo 4.9. 125 kVA en iyi parametreler karşılaştırma tablosu

| DENE ME NO | MAKİNE TİPİ | 125KVA EN İYİ PARAMETRELERİN KARŞILAŞTIRILMASI |                         |            |      |       |   |
|------------|-------------|--|-------------------------|------------|------|-------|---|
|            |             | Kaynak zamanı (cycle)                          | Kaynak Akımı (KA)       | Kuvvet (N) | Min  | Max   | Yorum   |
| 1          | 125 kVA     | W1=3 Cyc<br>W2=8 Cyc                           | W1=14.5 kA<br>W2=9.5 kA | 5000       | 6789 | 10475 | Standart sapma yüksek ve aşırı çapak gözlemlendi. |
| 2          | 125 kVA     | W1=3 Cyc<br>W2=8 Cyc                           | W1=11 kA<br>W2=9.5 kA   | 5000       | 7108 | 9698  | Standart sapma yüksek ve aşırı çapak gözlemlendi. |
| 3          | 125 kVA     | 12   | 10                      | 3500       | 8367 | 10264 | Sonuçlar uygun                                    |
| 6          | 125 kVA     | 12   | 11                      | 3500       | 8829 | 10097 | Sonuçlar uygun                                    |
| 7          | 125 kVA     | 11 cyc   | 11 kA                   | 4000       | 8708 | 10289 | Sonuçlar uygun                                    |
| 10         | 125 kVA     | 6 Cyc  | 12kA                    | 5000       | 7058 | 10153 | Standart sapma yüksek                             |
| 12         | 125 kVA     | 6Cyc   | 12kA                    | 3000       | 5744 | 12384 | Standart sapma yüksek                             |
| 13         | 125 kVA     | 6Cyc   | 12kA                    | 3500       | 7396 | 12390 | Standart sapma yüksek                             |
| 14         | 125 kVA     | 6Cyc   | 12kA                    | 4000       | 9672 | 12815 | Standart sapma yüksek                             |
| 15         | 125 kVA     | 8Cyc   | 12kA                    | 4000       | 5988 | 12252 | Standart sapma yüksek                             |
| 16         | 125 kVA     | 8Cyc   | 12kA                    | 3500       | 5746 | 13446 | Standart sapma yüksek                             |
| 17         | 125 kVA     | 8Cyc   | 12kA                    | 3000       | 6267 | 12490 | Standart sapma yüksek                             |
| 20         | 125 kVA     | 9Cyc   | 10kA                    | 3000       | 5865 | 10774 | Standart sapma yüksek                             |

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü üzere en ideal parametreler ayrı ayrı incelenerek yorum ve kaynak sırasındaki gözlemler eklenmiştir. Özet tablodan görüldüğü üzere 3-6-7 no'lu parametreler çalışma için uygun sonuçlar vermiştir.

Önceki denemelerde nominale yakın çıkan parametreler ile karşılaştırdığımızda benzer aralıklarda benzer sonuçlar çıktığı ve nominal değer elde edildiği söylenebilir. Bu parametreler 10-11 kA kaynak akımı, 10-12 cyc kaynak zamanı ve 3500-4000 N silindir kuvvetidir.

Sonuçların beklendiği gibi 35 kVA ve 50 kVA makinalara göre yüksek olduğu testlerle ortaya konulmuştur. Yapılan denemelerin sonuçları uygun olup, denemelerin standart sapmasının 6737 N ve 10283 N aralığında gezdiği görülmektedir. 3-6-7 no'lu parametrelerin Cp analizleri karşılaştırıldığında,

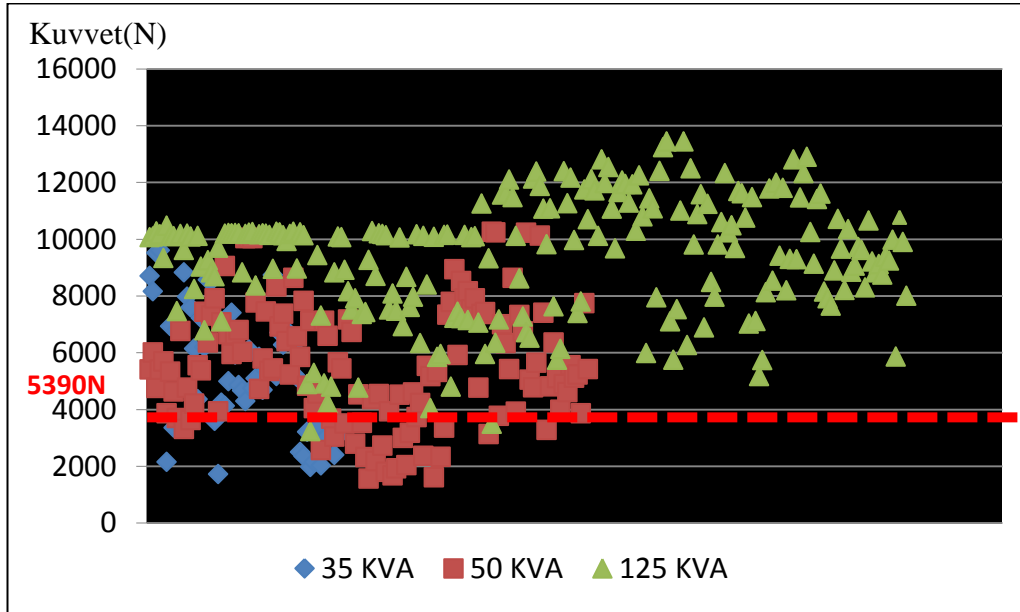
Tablo 4.10. En iyi 3 parametre Cp değer tablosu

|              | Tüm Denemeler | 3 nolu   | 6 nolu   | 7 nolu   |
|--------------|---------------|----------|----------|----------|
| MAX          | +13446,0      | +10264,0 | +10097,0 | +10289,0 |
| MIN          | +3237,0       | +8367,0  | +8829,0  | +8708,0  |
| R            | 10209,0       | 1897,0   | 1268,0   | 1581,0   |
| X            | +9419,18      | +9953,96 | +9480,25 | +9797,83 |
| $\delta n-1$ | 2066,729      | 550,906  | 699,954  | 652,241  |
| Cp(lower)    | 0,650         | 2,761    | 1,948    | 2,253    |
| CPK          | 0,650         | 2,761    | 1,948    | 2,253    |
| Judge        | x             | o        | o        | o        |
| CP Judge     | x             | o        | o        | o        |
| CPK Judge    | x             | o        | o        | o        |
| Upper tol.   | -             | -        | -        | -        |
| Under tol.   | +5390,0       | +5390,0  | +5390,0  | +5390,0  |

Tablodan da görüldüğü üzere, 3 nolu parametrenin Cp değeri 2,761, 6 nolu parametrenin Cp değeri 1,948 ve 7 nolu parametrenin Cp değeri 2,253 olarak bulunmuştur ve hepsi 1.33 den büyük olduğu için kabul edilebilir seviyededir.

Yapılan denemelerde 125 kVA makina da ciddi farklar olduğu için 35 kVA ve 50 kVA makinalarla denemelere devam edilmemiştir. 3 farklı makine ile 407 adet basma testi yapılmıştır, aşağıdaki grafikte karşılaştırılmalı test sonuçları görülmektedir.

### 35-50-125 kVA MAKİNALARIN KARŞILAŞTIRMALI TEST SONUÇLARI



Şekil 4.6. 35-50-125 kVA makinaların basma test sonuçları

#### 4.4. Diğer Değişkenlerin Etkilerinin İncelenmesi

- Üretici firmalar ile görüşülüp makinaların kontrolleri yaptırılmıştır. Herhangi bir problem görülmemiştir.
- Testler sırasında kullanılan yün eldivenlerin parçayı setleme sırasında kaynak noktasına yün kalıntıları bırakması ve kaynağı etkilemesi ihtimali üzerine denemeler yapılmış olup ayırt edici bir sonuç elde edilememiştir.
- Plastik eldiven kullanılarak denemeler yapıp tekrar testler yapıldığında yine ayırt edici bir sonuç çıkmamıştır.
- Cıvataların set konumları fark yaratır düşüncesiyle, cıvata ayakları benzer olanlar ayıklanıp set konumu aynı olacak şekilde kaynak yapılmış olup yine fark görülmemiştir.

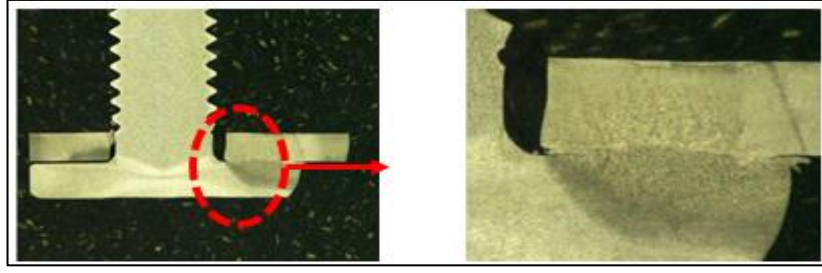
Bu koşulların elemine edilmesiyle kaynak işlemi sırasında anormal durum oluşmadığı ve test koşullarının uygunluğu kanıtlanmıştır denilebilir.

#### 4.5.Kaynaklı Parça Metalografik İncelemeleri

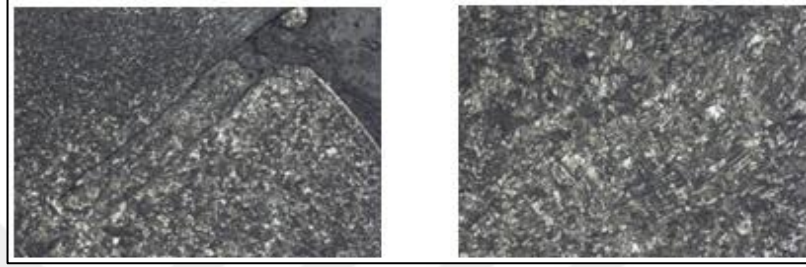
35 kVA 50 kVA ve 125 kVA makinalarda yapılan çeşitli kaynak işlemleri sonrası numune olarak her makinadan, farklı parametrelerdeki parçalardan numune ayrılarak asit banyosu ardından bakalitleme işlemine tabi tutulmuştur. Sonrasında plazma kesim ile ikiye bölünen parçanın kaynak ayakları mikroskop analizine uygun kesilmiştir. Yapılan gözlemler ile mikro yapıdaki martenzit değişimi ekteki görseller ile ortaya konulmuştur.



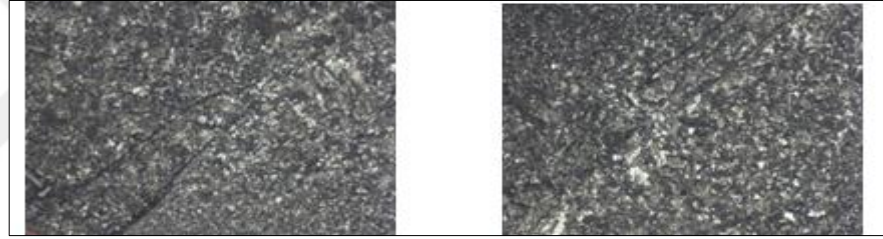
Şekil 4.7. Bakalit'lenmiş cıvata kesiti



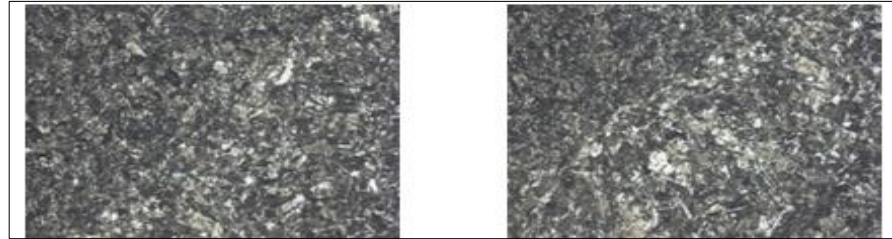
Şekil 4.8. Cıvata ayakları mikroskobik görseli



Şekil 4.9. Cıvata ayakları etrafı malzeme yapısı-1



Şekil 4.10. Cıvata ayakları etrafı malzeme yapısı-2



Şekil 4.11. Cıvata ayakları etrafı malzeme yapısı-3

Kaynak akımının geçtiği cıvata ayakları metalografik olarak incelendiğinde martenzit miktarının akıma bağlı olarak arttığı ve iğneli yapı oluşumu gözlenmiştir. Yukarıdaki şekillerde 8 kA ve 10 kA arası akımlarda malzeme yapısındaki değişim incelenmiş ve normal sac da %28,1 olan martenzit oranı, 8 kA'de %41,3 10 kA'de ise %57,2 olarak ölçülmüştür. Özellikle ısıdan etkilenmiş bölgelerdeki değişim miktarı rahatça görülebilmektedir.

## **5.TAGUCHİ DENEMELERİ**

### **5.1.Taguchi Denemeleri**

Taguchi yöntemi Dr. Genichi Taguchi tarafından 1950'lerde süreç iyileştirme tekniği olarak geliştirilmiştir. Taguchi'nin kalite alanına getirmiş olduğu en önemli katkı, kalite sistemini üretim öncesi ve üretim süreci olarak ikiye ayırarak bir ürünün kalitesini ve müşteri memnuniyetini, üretim öncesinde daha proses tasarım aşamasındayken yapılabileceğini göstermesidir.

Taguchi yöntemi farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından en iyi kombinasyonu minimum deneme ve sarfiyatla bulmada oldukça kullanışlı bir yöntemdir [48].

#### **5.1.1.Performans karakteristikleri ölçüm sisteminin belirlenmesi**

Performans karakteristikleri ve deney tamamlandığında ulaşılmak istenen sonuç tanımlanmalıdır. Performans karakteristiği ürünün temel fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için gerekli ve performansı için belirleyici olan özelliktir [49].

#### **5.1.2.Performans karakteristiklerini etkileyen faktörlerin seçimi**

Faktörler ürün ve prosesle ilgili kişilerden oluşan grup tarafından bütün proses göz önüne alınarak belirlenir. Beyin fırtınası, balık kılçığı diyagramları, deney faktörlerin belirlenmesinde yardımcı olabilir [49].

#### **5.1.3.Faktörler**

Taguchi, faktörlerini kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen olarak 2 ana gruba ayırır. Deneysel tasarım aşamasında sonuca etkileyen faktörlerin, ürün üzerindeki ağırlıklı etkisini bulmaya yarar [49].

#### 5.1.4.Varyans analizi

Deneylelerdeki hedef, ürün ve proses'in değişimini kontrol etmek ve performans ile ilgili parametreleri belirlemektedir. Sektördeki kalitesel problemlerin büyük çoğunluğu varyasyon ile ilgili olduğundan dolayı, deneysel verilerin yorumlanmasında ve gerekli kararların verilmesinde (ANOVA) istatistiksel metotları kullanılmaktadır. ANOVA test edilen parçaların ortalama performansları arasındaki farklılığı ortaya koymak için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Varyans analizi, toplam varyasyonu bileşenlerine ayıran matematiksel bir tekniktir ve serbestlik derecesi, karelerin toplamı, ortalama kareler (varyans) vb. niceliklerin hesaplanmasında kullanılır [49].

Yapılan ön analiz çalışmalarında 35 kVA, 50 kVA ve 125 kVA makine ile ayrı ayrı L9 ortogonal dizin ile denemeler yapılacak ve her bir makinanın deneysel parametre tahminlerinin, ön çalışmalar ile uyumluluğu karşılaştırılacaktır. Ayrıca her makina da sonuca etkisi olan parametrelerin yüzdesel baz da etkileri karşılaştırılacaktır.

Bilindiği gibi, genel itibariyle basma testi esnasında mekanik koparma ile çekirdek oluşturan tipte bir kopma davranışı sergileyen kaynak numuneleri daha yüksek kaynak mukavemetine sahiptir denilebilir. Bu bilgiler ışığında ön çalışmalardaki kaynak parametrelerinin alt sınırlarında mekanik koparma da en küçük basma değerinin gözlenmesi, üst sınırlarında ise sıçramanın yoğunluğu veya pres panel üzerindeki deformasyon miktarı kriter olarak alınmıştır. Ön analizlerde 3 makine için yapılan deneyler sonucunda alt ve üst parametre limitleri belirlenmiştir. 11 kA üzerinde artan akımlar da çapak oluşum gözlenmiş olup kalitesel olarak uygunsuz durumlar ortaya çıkmıştır. 3000 N basınç altında da sıçrantı oluşumu artmış olup cıvata dişlerinde erimeler gözlenmiştir. İstenilen basma test hedef değerini sağlayan kaynak zamanı aralığı ise 8 ve 12 cycle aralığında görünmüş olup limit değer olarak belirlenmiştir. En iyi sonucu veren direnç kaynak parametreleri seçilerek aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Denemelerde kullanılacak parametreler dizini

|                      | SEVİYELER |      |      |
|----------------------|-----------|------|------|
|                      | 1         | 2    | 3    |
| <b>FAKTÖRLER</b>     |           |      |      |
| Kaynak akımı (KA)    | 9         | 10   | 11   |
| Kaynak zamanı(cycle) | 8         | 10   | 12   |
| Kuvvet (N)           | 3000      | 3500 | 4000 |

Tablo 5.2. 3X3 L9 taguchi ortogonal dizini

| L9 ORTOGONAL DİZİN |   |   |
|--------------------|---|---|
| 3 <sup>3</sup>     |   |   |
| 1                  | 1 | 1 |
| 1                  | 2 | 2 |
| 1                  | 3 | 3 |
| 2                  | 1 | 2 |
| 2                  | 2 | 3 |
| 2                  | 3 | 1 |
| 3                  | 1 | 3 |
| 3                  | 2 | 1 |
| 3                  | 3 | 2 |

Her biri 3'er seviyeli 3 faktör için Tablo 5.2'den L9 taguchi tasarımı seçilmiştir. L9 tasarımındaki faktör seviyeleri kullanılarak yapılan deneyler sonucunda elde edilen basma testi performansı ortalama değerleri ve "en büyük en iyi" durumu için aşağıdaki formülasyon kullanılacaktır. En büyük en iyi durumu için formülasyon aşağıdaki gibidir.

$$S/N_i = -10 \times \log_{10} \left[ 1 / \sum_{i=1}^n 1/(y_{2ij}) \right] \quad (5.1)$$

Belirlenen parametreler tablo da aşağıdaki dizinde gösterilmiştir ve denemelerde 3'er adet basma testi yapılacaktır.



Tablo 5.3. L9 parametreler dizini

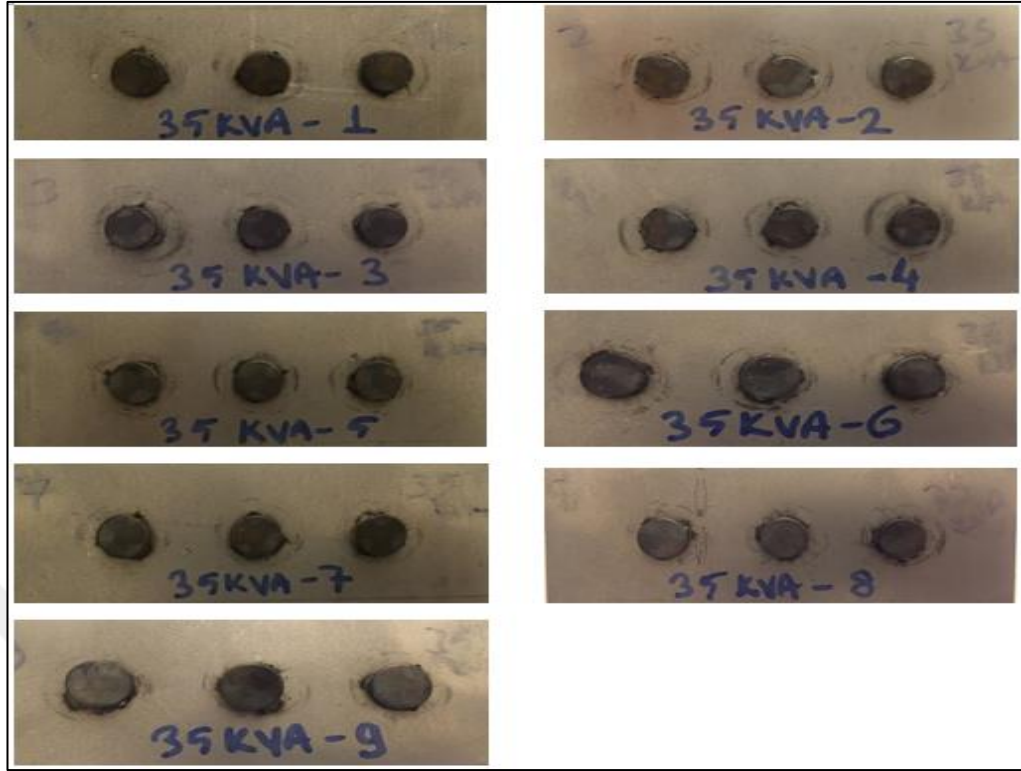
| L9 Ortogonal dizin |                   |                      |            |
|--------------------|-------------------|----------------------|------------|
| Deney no           | Kaynak akımı (KA) | Kaynak zamanı(cycle) | KuvveT (N) |
| 1                  | 9                 | 8                    | 3000       |
| 2                  | 9                 | 10                   | 3500       |
| 3                  | 9                 | 12                   | 4000       |
| 4                  | 10                | 8                    | 3500       |
| 5                  | 10                | 10                   | 4000       |
| 6                  | 10                | 12                   | 3000       |
| 7                  | 11                | 8                    | 4000       |
| 8                  | 11                | 10                   | 3000       |
| 9                  | 11                | 12                   | 3500       |

#### 5.1.5. 35 kVA makine taguchi denemeleri

Akım yakalama kapasiteleri farklı olan 3 farklı makine kullanılarak denemeler yapılmıştır.

Tablo 5.4. 35 kVA makine taguchi denemeleri sonuçları

| 35 KVA | 1.Basma | 2.Basma | 3.Basma     | Ort.Basma     | S/N          | Sapma    |
|--------|---------|---------|-------------|---------------|--------------|----------|
| 1      | 6656    | 7750    | 7482        | 7296,0        | 77,21        | 2,28708  |
| 2      | 4222    | 7147    | 6302        | 5890,3        | 74,73        | 0,920682 |
| 3      | 4797    | 5299    | 5516        | 5204,0        | 74,28        | 1,994317 |
| 4      | 5440    | 5870    | 6516        | 5942,0        | 75,41        | 0,081724 |
| 5      | 7947    | 5676    | 6639        | 6754,0        | 76,35        | 0,427494 |
| 6      | 3238    | 6022    | 6745        | 5335,0        | 73,16        | 6,421944 |
| 7      | 8607    | 5709    | 4880        | 6398,7        | 75,42        | 0,076252 |
| 8      | 7131    | 6641    | 8640        | 7470,7        | 77,31        | 2,612139 |
| 9      | 9515    | 7707    | 6089        | 7770,3        | 77,38        | 2,841047 |
|        |         |         | <b>ORT.</b> | <b>6451,2</b> | <b>75,69</b> |          |



Şekil 5.1. 35 kVA makine ile kaynaklanmış civata görselleri

#### 5.1.5.1. 35 KVA taguchi dizine ait denemelerin yorumu

S/N ortalamaları için sonuçlar incelendiğinde 35 kVA makine de %60,94 etkisiyle kaynak akımı en belirleyici parametre olmuştur. %32,30 etkiye sahip kaynak zamanı ve %6,76 etkiye sahip silindir kuvveti ise en düşük etkili çıkmıştır. Bu değerlere göre A3B2C1 dizini yani 11 kA, 10 cyc, 3000 N'luk parametreler taguchi yönteminde optimum parametre olarak bulunmuştur. Ancak denemelerde aşırı çapak oluşumu gözlenmiştir.

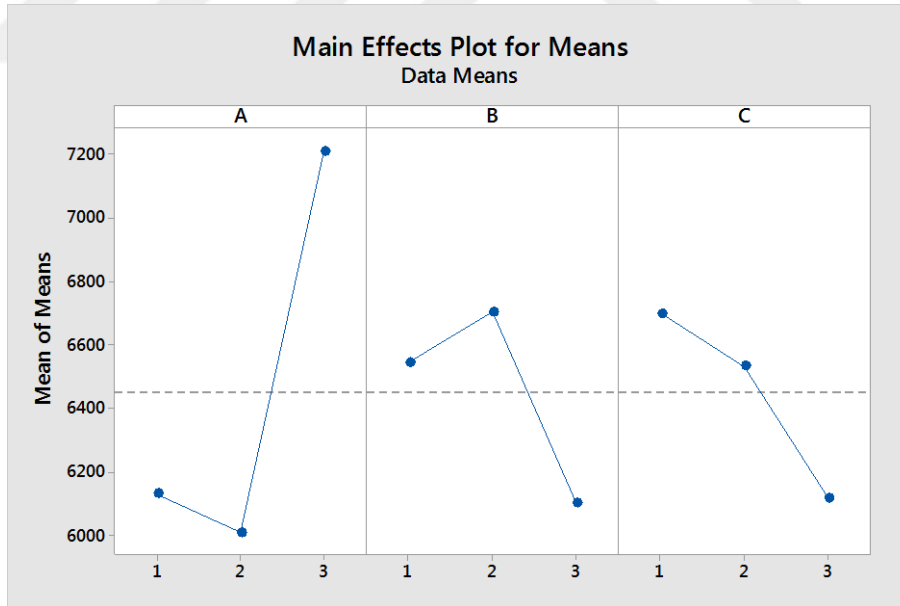
Tablo 5.5. 35 kVA makine S/N ortalamaları etki tablosu

| Factors     |               | Average S/N |           |           | Degree of freedom | Sum of squares | Average sum of squares (variance) | Effect of factors (%) | Optimum levels | Optimum values |
|-------------|---------------|-------------|-----------|-----------|-------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|
|             |               | 1st level   | 2nd level | 3rd level |                   |                |                                   |                       |                |                |
| a           | Kaynak Akımı  | 75,4        | 75,0      | 76,7      | 3                 | 4,86           | 1,62                              | 60,94                 | 3              | 11KA           |
| b           | Kaynak Zamanı | 76,0        | 76,1      | 74,9      | 3                 | 2,58           | 0,86                              | 32,30                 | 2              | 10             |
| c           | Kuvvet        | 75,9        | 75,8      | 75,3      | 3                 | 0,54           | 0,18                              | 6,76                  | 1              | 3000           |
| Total       |               |             | 75,7      |           | 9                 | 7,98           |                                   | 100                   |                |                |
| Optimum S/N |               |             |           |           |                   |                |                                   |                       |                | 77,3           |

Ortalama değerler için sonuçlar incelendiğinde ise %70,13 etkiye sahip kaynak akımı en etkili parametre olarak çıkmıştır. Kaynak zamanı ve silindir kuvveti için yüzdeler ise sırasıyla %15,53 ve %14,24 çıkararak yaklaşık aynı etkiye sahiplerdir. Bu değerlere göre A3B2C1 dizini S/N de olduğu gibi optimum parametre olarak bulunmuş ve iyi bir korelasyon sergilemiştir.

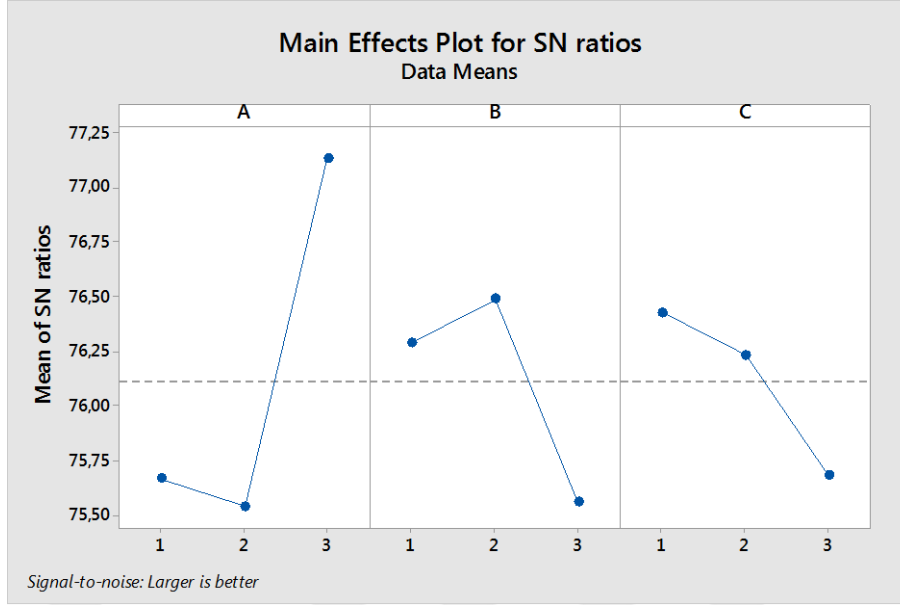
Tablo 5.6. 35 kVA makine ortalama değerler etki tablosu

| Factors     | Average Aspect Ratio |           |           | Degree of freedom | Sum of squares | Average sum of squares (variance) | Effect of factors(%) | Optimum levels | Optimum values |        |
|-------------|----------------------|-----------|-----------|-------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------|----------------|----------------|--------|
|             | 1st level            | 2nd level | 3rd level |                   |                |                                   |                      |                |                |        |
| a           | Kaynak Akımı         | 6130,1    | 6010,3    | 7213,2            | 1              | 2634418,07                        | 2634418,07           | 70,13          | 3              | 11KA   |
| b           | Kaynak Zamanı        | 6545,6    | 6705,0    | 6103,1            | 1              | 583449,85                         | 583449,85            | 15,53          | 2              | 10     |
| c           | Kuvvet               | 6700,6    | 6534,2    | 6118,9            | 1              | 538504,67                         | 538504,67            | 14,34          | 1              | 3000   |
| Total       |                      |           | 6451,2    |                   |                | 3756372,59                        |                      | 100            |                |        |
| Optimum S/N |                      |           |           |                   |                |                                   |                      |                |                | 7716,3 |



Şekil 5.2. 35 kVA minitab ortalama değerler grafiği

Minitab analiz sonuçlarında ortalamalar tepki tablosunda da A3B2C1 dizini en optimum parametre olarak bulunmuş ve manuel hesaplar ile aynı sonucu vermiştir. Bu şekilde formülasyonun doğrulaması da yapılmıştır.



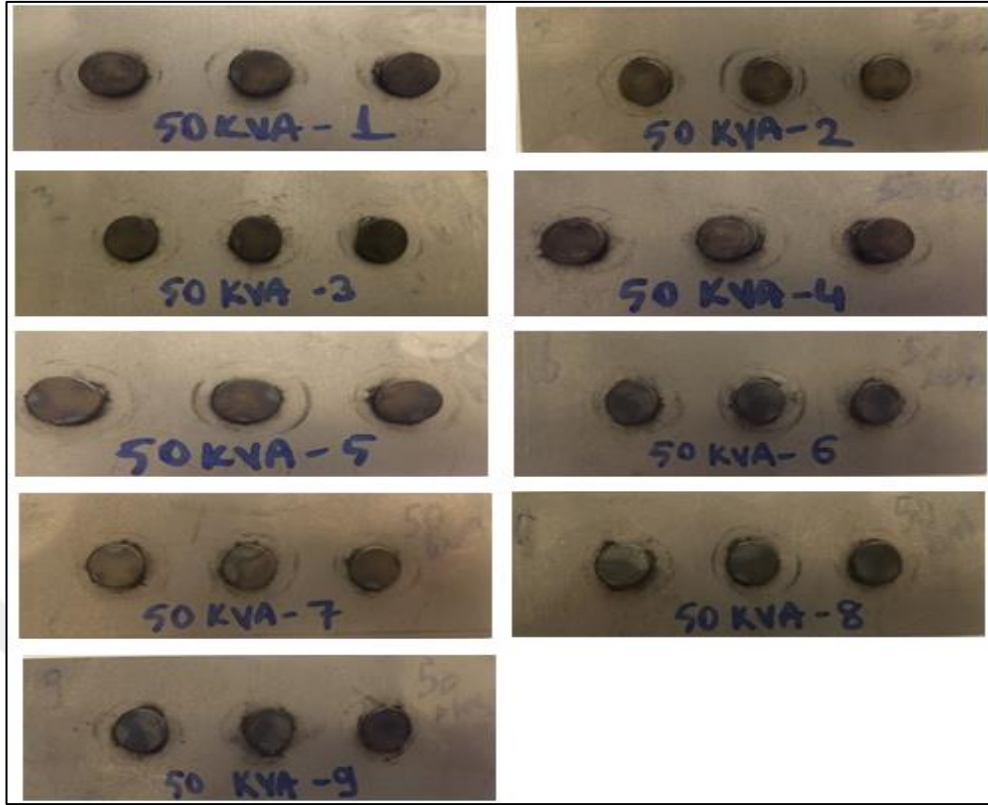
Şekil 5.3. 35 kVA minitab S/N oran grafiği

### 5.1.6. 50 kVA makine taguchi denemeleri

Kaynak akımı, kaynak zamanı ve kuvvet ile ilgili aynı parametreler L9 ortogonal dizini için 50 kVA kaynak makinasında da yapılmıştır. Bu dizilimlere göre yapılan basma test sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.7. 50 kVA makine taguchi denemeleri sonuçları

|   | 1.Basma | 2.Basma | 3.Basma     | Ort.Basma | S/N      | Sapma    |
|---|---------|---------|-------------|-----------|----------|----------|
| 1 | 5048    | 5116    | 5285        | 5149,7    | 74,23076 | 3,814319 |
| 2 | 10466   | 9959    | 12039       | 10821,3   | 80,60292 | 19,5287  |
| 3 | 3831    | 6260    | 4017        | 4702,7    | 72,85038 | 11,11159 |
| 4 | 4386    | 6035    | 12496       | 7639,0    | 75,43412 | 0,561999 |
| 5 | 5910    | 4257    | 5796        | 5321,0    | 74,21822 | 3,863448 |
| 6 | 7126    | 7166    | 6093        | 6795,0    | 76,56902 | 0,148401 |
| 7 | 6201    | 6668    | 6748        | 6539,0    | 76,29191 | 0,011689 |
| 8 | 7091    | 6363    | 8502        | 7318,7    | 77,10553 | 0,849611 |
| 9 | 9128    | 7204    | 8915        | 8415,7    | 78,35124 | 4,697839 |
|   |         |         | <b>ORT.</b> | 6966,9    | 76,18379 |          |



Şekil 5.4. 50 kVA makine ile kaynaklanmış cıvata görselleri

#### 5.1.6.1.50 kVA taguchi dizine ait denemelerin yorumu

S/N ortalamaları için sonuçlar incelendiğinde 50 kVA makine de %63,61 etkisiyle silindir kuvveti en belirleyici parametre olmuştur. %19,40 etkiye sahip kaynak zamanı ve % 16,99 etkiye sahip kaynak akımı ise en düşük etkili çıkmıştır. Bu değerlere göre A3B2C2 dizini yani 11 kA, 10 cyc, 3500 N'luk parametreler taguchi yönteminde optimum parametre olarak bulunmuştur.

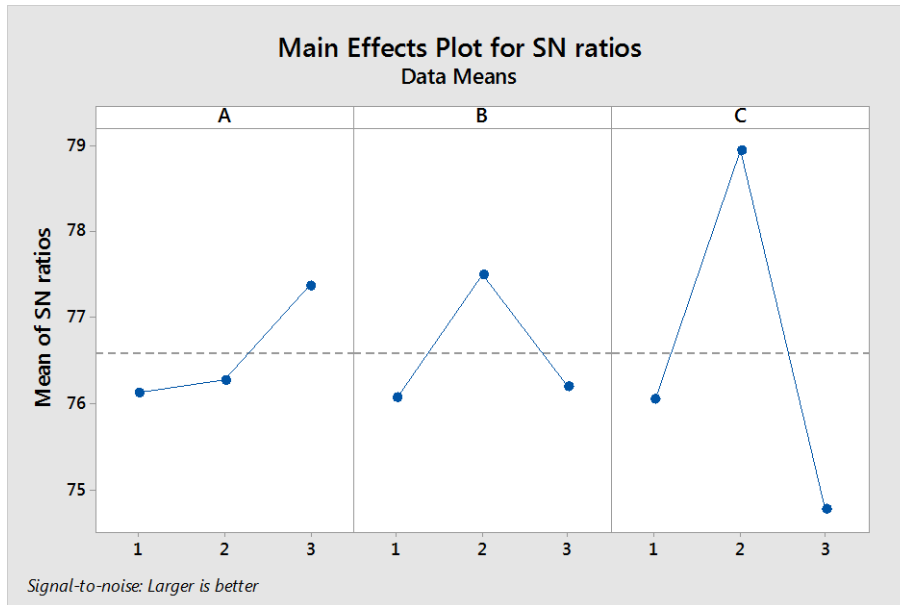
Tablo 5.8. 50 kVA makine S/N ortalamaları etki tablosu

| Factors     |               | Average S/N |           |           | Degree of freedom | Sum of squares | Average sum of squares (variance) | Effect of factors (%) | Optimum levels | Optimum values |
|-------------|---------------|-------------|-----------|-----------|-------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|
|             |               | 1st level   | 2nd level | 3rd level |                   |                |                                   |                       |                |                |
| a           | Kaynak Akımı  | 75,9        | 75,4      | 77,2      | 3                 | 5,47           | 1,82                              | 16,99                 | 3              | 11KA           |
| b           | Kaynak Zamanı | 75,3        | 77,3      | 75,9      | 3                 | 6,24           | 2,08                              | 19,40                 | 2              | 10             |
| c           | Kuvvet        | 76,0        | 78,1      | 74,5      | 3                 | 20,48          | 6,83                              | 63,61                 | 2              | 3500           |
| Total       |               |             | 76,2      |           | 9                 | 32,19          |                                   | 100                   |                |                |
| Optimum S/N |               |             |           |           |                   |                |                                   |                       |                | 78,2           |

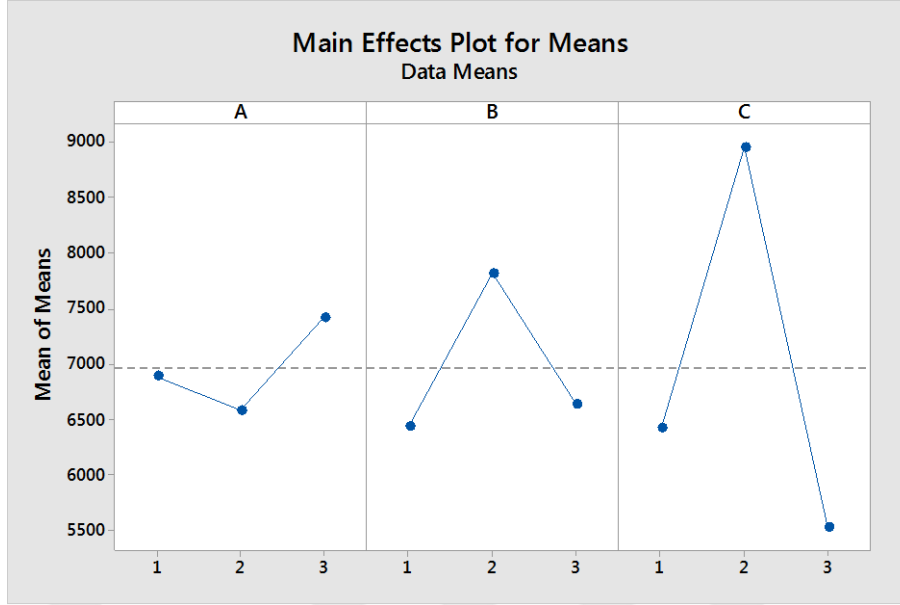
Ortalama değerler için sonuçlar incelendiğinde ise %81,19 etkiye sahip silindir kuvveti en etkili parametre olarak çıkmıştır. Kaynak zamanı ve kaynak akımı için yüzdeler ise sırasıyla %14,20 ve %4,61 çıkararak yaklaşık aynı etkiye sahiplerdir. Bu değerlere göre A3B2C2 dizini S/N de olduğu gibi optimum parametre olarak bulunmuş ve iyi bir korelasyon sergilemiştir. Denemeler sırasında yüksek ısı girdisine bağlı olarak numunelerin %20'sinde dişlerde erime görülmüştür.

Tablo 5.9. 50 kVA makine ortalama değerler etki tablosu

| main effect plot için (basma ortalamalarından) |               |                      |           |           |                   |                |                                  |                      |                |                |
|--|---------------|----------------------|-----------|-----------|-------------------|----------------|----------------------------------|----------------------|----------------|----------------|
|  |               | Average Aspect Ratio |           |           | Degree of freedom | Sum of squares | Average sum of squares( varince) | Effect of factors(%) | Optimum levels | Optimum values |
| Factors  |               | 1st level            | 2nd level | 3rd level | A                 | B              | C                                | D                    | E              | F              |
| a  | Kaynak Akımı  | 6891,2               | 6585,0    | 7424,4    | 1                 | 1082764,96     | 1082764,96                       | 4,61                 | 3              | 11KA           |
| b  | Kaynak Zamanı | 6442,6               | 7820,3    | 6637,8    | 1                 | 3334820,96     | 3334820,96                       | 14,20                | 2              | 10             |
| c  | Kuvvet        | 6421,1               | 8958,7    | 5520,9    | 1                 | 19067904,30    | 19067904,30                      | 81,19                | 2              | 3500           |
| Total  |               |                      | 6966,9    |           |                   | 23485490,22    |                                  | 100                  |                |                |
| Optimum S/N                                    |               |                      |           |           |                   |                |                                  |                      |                | 7732,1         |



Şekil 5.5. 50 kVA minitab ortalama değerler grafiği



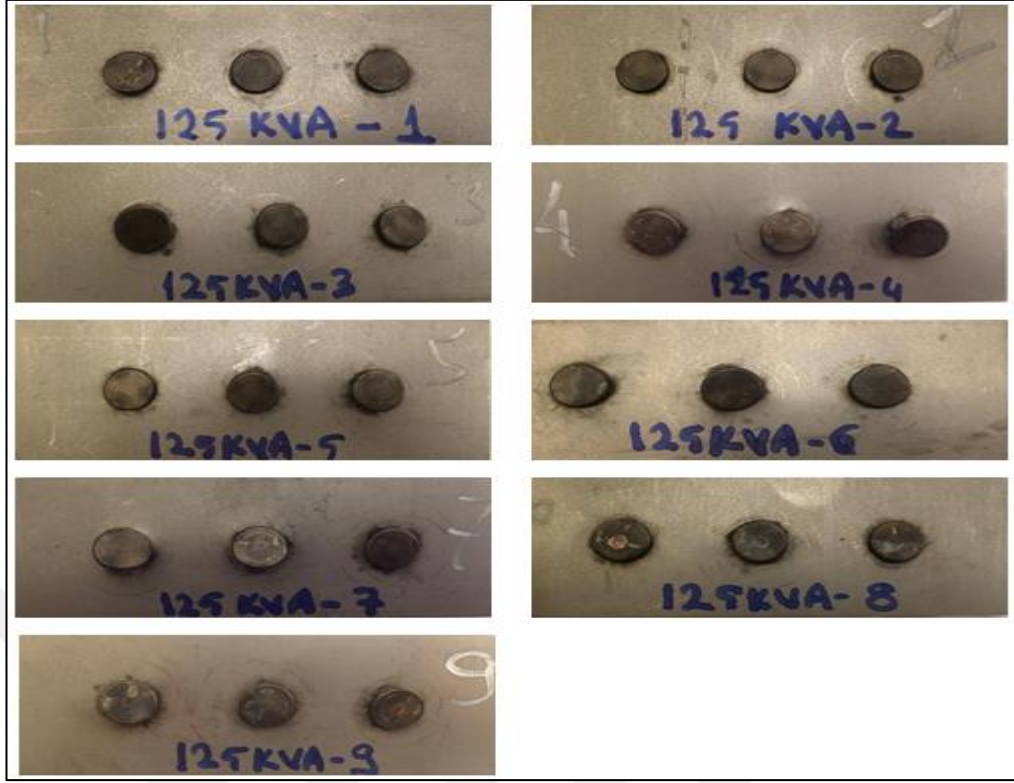
Şekil 5.6. 50 kVA minitab S/N oran grafiği

### 5.1.7. 125 kVA kaynak makinası denemeleri

Kaynak akımı, kaynak zamanı ve kuvvet ile ilgili aynı parametreler L9 ortogonal dizini için 125 kVA kaynak makinasında da yapılmıştır.

Tablo 5.10. 125 kVA makine taguchi denemeleri sonuçları

|   | 1.Basma | 2.Basma | 3.Basma     | Ort.Basma | S/N      | Sapma    |
|---|---------|---------|-------------|-----------|----------|----------|
| 1 | 7728    | 9693    | 10255       | 9225,3    | 79,10135 | 0,143507 |
| 2 | 7437    | 7857    | 7088        | 7460,7    | 77,43252 | 1,664109 |
| 3 | 11439   | 10247   | 9041        | 10242,3   | 80,08774 | 1,863818 |
| 4 | 12214   | 8514    | 10037       | 10255,0   | 79,93891 | 1,479586 |
| 5 | 12790   | 13411   | 13509       | 13236,7   | 82,42787 | 13,72959 |
| 6 | 6905    | 11359   | 5888        | 8050,7    | 77,16936 | 2,412313 |
| 7 | 8518    | 11908   | 10574       | 10333,3   | 80,03221 | 1,715265 |
| 8 | 4832    | 6219    | 6263        | 5771,3    | 75,03165 | 13,62257 |
| 9 | 7626    | 8171    | 6464        | 7420,3    | 77,28112 | 2,077659 |
|   |         |         | <b>ORT.</b> | 9110,6    | 78,72253 |          |



Şekil 5.7. 125 kVA makine ile kaynaklanmış civata görselleri

#### 5.1.7.1. 125 kVA taguchi dizine ait denemelerin yorumu

S/N ortalamaları için sonuçlar incelendiğinde 125 kVA makine de %63,16 etkisiyle silindir kuvveti en belirleyici parametre olmuştur. %24,79 etkiye sahip kaynak akımı ve %12,05 etkiye sahip kaynak zamanı ise en düşük etkili çıkmıştır. Bu değerlere göre A2B1C3 dizini yani 10 kA 8 cyc 4000 N'luk parametreler taguchi yönteminde optimum parametre olarak bulunmuştur.

Tablo 5.11. 125 kVA makine S/N ortalamaları etki tablosu

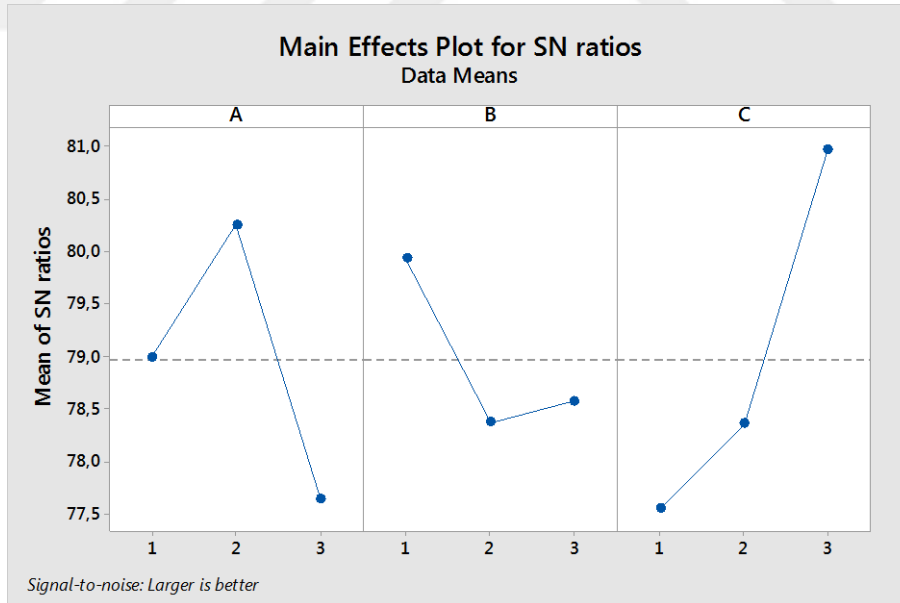
| 125 kVA için |               |             |           |           |                   |                |                                   |                       |                |                |
|--------------|---------------|-------------|-----------|-----------|-------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| Factors      |               | Average S/N |           |           | Degree of freedom | Sum of squares | Average sum of squares (variance) | Effect of factors (%) | Optimum levels | Optimum values |
|              |               | 1st level   | 2nd level | 3rd level |                   |                |                                   |                       |                |                |
| a            | Kaynak Akımı  | 78,9        | 79,8      | 77,4      | 3                 | 8,72           | 2,91                              | 24,79                 | 2              | 10KA           |
| b            | Kaynak Zamanı | 79,7        | 78,3      | 78,2      | 3                 | 4,24           | 1,41                              | 12,05                 | 1              | 8              |
| c            | Kuvvet        | 77,1        | 78,2      | 80,8      | 3                 | 22,22          | 7,41                              | 63,16                 | 3              | 4000           |
| Total        |               |             | 78,7      |           | 9                 | 35,19          |                                   | 100                   |                |                |
| Optimum S/N  |               |             |           |           |                   |                |                                   |                       |                | 75,4           |



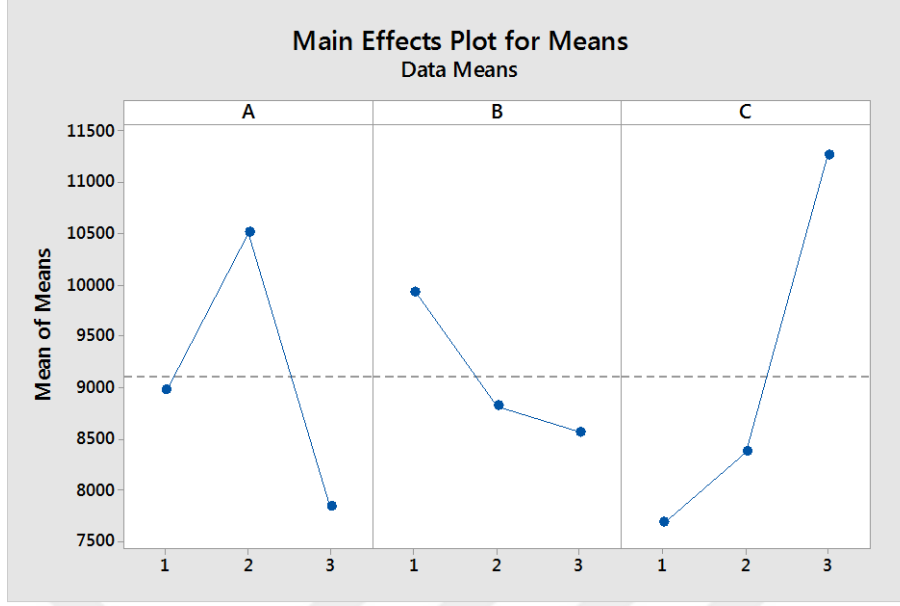
Ortalama değerler için sonuçlar incelendiğinde ise %60,86 etkiye sahip silindir kuvveti en etkili parametre olarak çıkmıştır. Kaynak zamanı ve kaynak akımı için yüzdelere ise sırasıyla %8,89 ve %30,24 çıkararak sonuçta dşuk etkiye sahiplerdir. Bu değerlere göre A2B1C3 dizini S/N de olduğu gibi optimum parametre olarak bulunmuştur.

Tablo 5.12. 125 kVA makine ortalamalar değerler etki tablosu

|             |               | Average Aspect Ratio |           |           | Degree of freedom | Sum of squares | Average sum of squares (variance) | Effect of factors(%) | Optimum levels | Optimum values |
|-------------|---------------|----------------------|-----------|-----------|-------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------|----------------|----------------|
|             |               | 1st level            | 2nd level | 3rd level |                   |                |                                   |                      |                |                |
| Factors     |               | 1st level            | 2nd level | 3rd level | A                 | B              | C                                 | D                    | E              | F              |
| a           | Kaynak Akımı  | 8976,1               | 10514,1   | 7841,7    | 1                 | 10794367,51    | 10794367,51                       | 30,24                | 2              | 10KA           |
| b           | Kaynak Zamanı | 9937,9               | 8822,9    | 8571,1    | 1                 | 3174698,54     | 3174698,54                        | 8,89                 | 1              | 8              |
| c           | Kuvvet        | 7682,4               | 8378,7    | 11270,8   | 1                 | 21725168,17    | 21725168,17                       | 60,86                | 3              | 4000           |
| Total       |               |                      | 9110,6    |           |                   | 35694234,22    |                                   | 100                  |                |                |
| Optimum S/N |               |                      |           |           |                   |                |                                   |                      |                | 6125,7         |



şekil 5.8. 125 kVA minitab S/N oran grafiği



Şekil 5.9. 125 kVA minitab ortalama değerler grafiği

#### 5.1.7.2. 125 kVA doğrulama deneyi

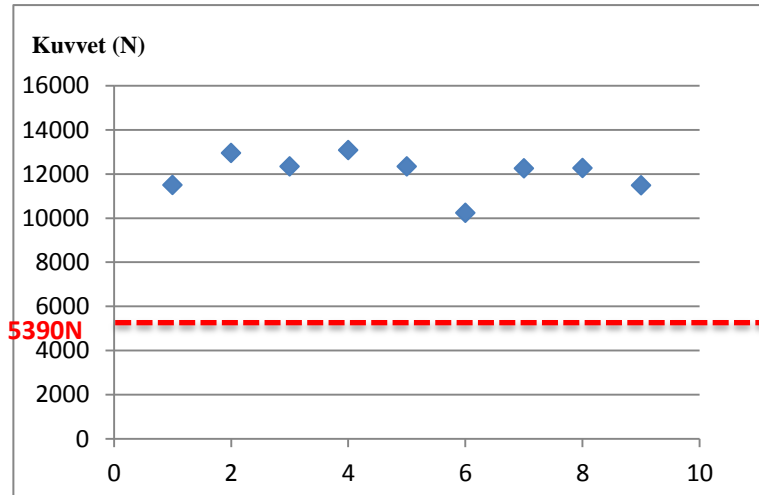
Yapılan tüm denemelerde 125 kVA makinedeki sonuçların, ısı girdisi, çapaklanma durumu ve dişlerde erime gibi kalitesel fonksiyonellik kontrolleri göz önüne alındığında ideale en yakın olduğu görülmüştür. Taguchi denemeleri ve minitab analizlerinden bize önerilen dizin, daha önce denenmemiş bir dizin olan A2B1C3 dizinidir. Bu dizine göre denemeler tekrar yapılmıştır. Denemeler öncesi ekipman ile ilgili gerçek akım ve gerçek kuvvet ölçümleri tekrardan yapılarak, deneylere olası olumsuz etkiler ortadan kaldırılmıştır. Elektrotlar ile ilgili aşınmalara bağlı olarak kullanılmamış elektrotlar ile denemeler tekrarlanmıştır. 125 kVA makine ile 10 kA, 8 cyc, 4000 N parametreleri en ideal dizin olarak makinaya set edilmiştir. Bu değere ait denemeler tekrarlanarak doğrulama sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Yapılan 9 adet doğrulama deneyinde Cp değeri 2.55 olarak bulunmuş ve 1.33'ün üstünde olduğu için istatistiksel olarak proses yeterliliği uygundur. Denemeler sırasında yapılan gözlemlerde uygunsuz bir durum görülmemiş olup parçalar araç gövdesine güvenle takılabilecek yeterliliktedir.

Tablo 5.13. 125 kVA makine doğrulama deney sonuçları

| Test No      | 125KVA    |
|--------------|-----------|
|              | M6 CVATA  |
| 1            | 11500     |
| 2            | 12948     |
| 3            | 12338     |
| 4            | 13074     |
| 5            | 12335     |
| 6            | 10230     |
| 7            | 12251     |
| 8            | 12258     |
| 9            | 11478     |
| MAX          | +13074,0  |
| MIN          | +10230,0  |
| R            | 2844,0    |
| X            | +12045,78 |
| $\delta$ n-1 | 869,248   |
| Cp(lower)    | 2,552     |
| CPK          | 2,552     |
| Judge        | o         |
| CP Judge     | o         |
| CPK Judge    | o         |
| Upper tol.   | -         |
| Under tol.   | +5390,0   |

### Doğrulama Deney Sonuçları



Şekil 5.10. Doğrulama deneyi Cp grafiği

## 6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan araştırmalar otomotiv üreticilerinin yakıt azaltımı ve emisyon azaltım çalışmaları kapsamında daha hafif araç ve parça üretimlerine ağırlık vermektedirler. Bu kapsamda alternatif malzeme arayışları ve buna bağılı olarak birleştirme tekniklerindeki beklentileri de artmaktadır. Ağırlıklı olarak sıcak pres ve çift fazlı malzeme kullanımına geçen sektörde, kaynaklı bağlantıların mukavemeti de direkt etkilenmekte ve birleştirme yöntemleri üzerine çalışmaların yoğunlaşması gerektiğini göstermektedir. Otomotiv ana ve yan sanayilerde çift fazlı çeliklerde projeksiyon kaynağı tekniğı konusunda eksiklikler yoğun bir şekilde hissedilmekte ve bu konuda yapılmış yayın sayısının azlığı sektörde bir boşluk oluşturmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle farklı parametreler herhangi sistematik kural olmadan denemeler yapılmış ve basma test sonuçları incelenmiştir. 3 farklı makine için yapılan testlerde optimum'a yakın parametre aralıkları çıkarılmıştır. Bu süreçte çok fazla sayıda deneme parçası harcanmış, fazla zaman kaybı yaşanmıştır. Daha sonra daha sistematik yaklaşım sergilemek için taguchi metodu kullanılmış ve ön analizlerde kullanılan parametreler limit değerler olarak belirlenmiştir. Taguchi metodu sayesinde çok düşük deneme adedi ile optimum parametre tespiti yapılmıştır. Bu sayede deneme parçalarının israfı da önlenmiştir. Taguchi metodunun sağladığı avantajlar değerlendirildiğinde fabrika proses iyileştirmelerinin her alanında uygulanabileceğı görülmüştür. Yapılan bu çalışma ile otomotiv sektöründeki yayın boşluğunun doldurulmasına katkıda bulunulması hedeflenmektedir. Deneme sonuçlarına ilişkin diğerk çıktılar aşağıdaki gibidir:

1) Bu çalışmanın bir çıktısı olarak dual faz çelik'te cıvata kaynağının yeterli mukavemeti sağlaması için güvenli parametre aralığı belirlenmiştir. 11 kA üzeri artan akım değerlerinde çapaklanma ve cıvata dişlerin de erime ve çarpılma problemi görülmüştür. Montaj da problem yaratacak bu durum için maksimum akım değerinin 11 kA seçilmesi uygun görülmüştür. Malzeme yapıları incelendiğinde, %28,1 olan sac metaldeki martenzit oranının, 8 kA için %41,3, 10 kA akım değerlerinde ise %57,2 ulaştığı tespit edilmiştir. Artan martenzit oranıyla birlikte sac malzeme

yüzeyine, projeksiyon ayaklarının girişimi de zorlaşmakta ve bunu yenmek için yüksek baskı kuvvetleri gerektiği görülmüştür. Yüksek baskılarda çıkan yüksek basma test sonuçları bu durumu doğrulamaktadır.

2) Projeksiyon kaynak yönteminde şu ana kadar elde edilen veriler incelendiğinde Cp sonucu en yüksek olan makine, 125 kVA makina olarak tespit edilmiştir. Bu makinada yapılan kaynaklarda sıçrantı oluşununun azlığı, daha kararlı ve varyasyonu az basma testi sonuçları vermesi olumlu çıktıları arasındadır. Deneysel veriler açasından kaynak akımının ve zamanının ısı girdisi fonksiyonu düşünöldüğünde, bunun sonucu doğrudan etkileyeceği düşünölmekteydi ve bugüne kadar ki denemelerde değişken parametre olarak ele alınmamaktaydı. Ancak taguchi analizleri sayesinde silindir kuvvetinin projeksiyon cıvata kaynağı üzerinde doğrudan etkili olduğu hatta dikkat çekici şekilde %70'e varan etkisi olduğu yapılan testler ile kanıtlanmıştır. Bu durum üzerine düşünöldüğünde silindir baskı kuvvetinin artmasının cıvata ayaklarını sac panele daha homojen yayarak akım geçişini nominale yaklaştırması olarak düşünölmektedir. Ayrıca cıvata ayakları ve panel arası olası boşlukları ortadan kaldırarak yüzey temasını artırması ve buna bağlı olarak direnç artışı sağlaması olarak düşünölmektedir.

3) Makinalar arası yaşanılan farklılıklar incelediğinde makine gücü arttıka sonuçların olumlu seviyeye yaklaştığı görülmüştür. Bundan en belirleyici noktanın makinaların akım yakalama kapasiteleri ve baskı anındaki kuvvet kontrolü olarak düşünölmektedir. Set edilen akımı daha yavaş yakalayan 35 kVA'daki makine de yapılan basma test sonuçları daha düşük ve varyasyonlu iken, artan kapasitelerde daha nominale yaklaşım sergilemiştir. 35 kVA makine 2003 yapımı olup kuvvet standardizasyonu noktasında sapmalar gösterdiği düşünölmektedir. Kaynak havuzundaki baskının birim değişimi, cıvata ayaklarının formunu ve ana metale nüfuziyetini etkilediği için değerlerin düşmesinde rol oynadığı düşünölmektedir. Ayrıca 35 kVA'daki denemelerde ergime kaynaklı ısıdan etkilenmiş bölge izlerinin diğerlerinden farklı olduğu görölmüş olup ısı transferi ve malzeme ilişkisi açasından bu konuda çalışmalar yapılabileceği önerilmektedir.

4) Denemelerde kaynak zamanının artmasının belirli bir noktaya kadar basma mukavemetini artırdığı görölmüştür. Ancak bir noktadan sonra durum terse

dönmekte ve artan çapaklarla birlikte mukavemetin zayıfladığı görülmüştür. Aynı akım değeri için zamanın artan değerlerinde kaynak yapısının bozulduğu görülmüştür. Bu durumda kaynak ayakları incelenmiş ve formunu kaybettiği ve metalde yeterli iz çıkarmadığı tespit edilmiştir. Direncin oluştuğu nokta olan bu ayaklar kaynak mukavemetini etkileyen en önemli bölgedir. Ayrıca bazı cıvata başlarında uzun kaynak zamanlarından dolayı ergimeye bağlı deformasyon görülmüştür.

5) Otomotiv sektöründe yeni nesil çeliklerin kullanımı artarak devam edecektir. Bu çalışmada dual faz çeliklerin cıvata kaynakları incelenmiş ve soğuk preslenmiş çelik olmalarından ötürü optimum veriler elde edilmiştir. Ancak yüzeyinde çinko-oksit tabakası bulunan ve otomotivde yoğun bir şekilde kullanılan sıcak pres malzemelerde, cıvata kaynağı konusunda sektörde yeterli yayın olmadığı görülmüş ve bu konuda çalışmalar yapılması önerilmektedir.

6) Yeni nesil MFDC (orta frekans doğru akım) kaynak makinaları bu çalışmanın dışında tutulmuştur. Araştırma ve edinilen bilgiler bu makinaların 1000 Hz'lik yüksek frekans değerleri stabil sonuçlar ortaya koyabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Gündoğdu E., Saplama Kaynağı ile Birleştirilmiş Saplama Kaynak Bölgesinin Mekanik ve Metalurjik Özelliklerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011, 376170.
- [2] Anık S., Anık E.S., Vural M., *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, İstanbul, Birsen Yayınevi, 2000.
- [3] Türkoğlu H., Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Darbe Sönümleyici Parçanın Nokta Direnç Kaynak Parametrelerinin Optimizasyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016, 432198.
- [4] Eryürek B., Elektrik Direnç Kaynağı, *Mühendis ve Makine*, 1983, **14**(279), 9-31.
- [5] Fritz H., Schulze G., *Fertigungs-technik*, 7th ed., Springer, Germany, 1991.
- [6] Anık S., *Kaynak Tekniği El Kitabı*, 2nd ed., Ergör Matbaası, İstanbul, 1983.
- [7] <https://docplayer.biz.tr/11366586-3-kabartili-direnc-kaynagi-05-05-2015-dr-salim-aslanlar-1.html>, (Ziyaret Tarihi 02 Mayıs 2019).
- [8] Bıyık A., İnce U., Ateş F., Yetilmezsoy K., Kaynak Cıvatalarının Projeksiyon Kaynağı ile Birleştirilmesinde Çapaklanmanın Azaltılmasına Yönelik Optimal Proses Parametrelerinin Taguchi ve Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemleriyle Tespit Edilmesi, *Mühendis ve Makine*, 2016, **57**(677), 36-37.
- [9] <http://www.blogquail.com/difference-between-ac-and-dc/>, (Ziyaret Tarihi: 20 Nisan 2019).
- [10] Gugel M.D., *Electrode Wear Mechanisms During The Resistance Spot Welding of Hot Dipped Galvanized Steel*, MTU, Phd Thesis, Michigan, 1995.
- [11] <http://mechanicalinventions.blogspot.com/2014/09/resistance-projection-welding-rpw.html--90/>, (Ziyaret Tarihi: 20 Nisan 2019).
- [12] Doruk E., Pakdil M., Çam G., Durgun İ., Kumru U.C., Otomotiv Sektöründe Direnç Kaynağı Tofaş Uygulamaları, *Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Ankara, 20-21 Kasım 2015.
- [13] <https://nptel.ac.in/courses/112107144/welding/lecture11&12.htm/>, (Ziyaret Tarihi: 20 Nisan 2019).

- [14] Sharma P., Ghosh P., Nath S., Fatigue Behavior of Resistance Spot Welded Mn-Cr-Mo Dual Phase Steel, *Zeitschrift fuer. Metallkde*, 1993, **84**(7), 13-517.
- [15] Yavuz N., Güner R., Demir Esaslı Toz Metal Parçaların Elektrik Direnç Kaynağında Optimum Kaynak Şartlarının Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi, *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2002, **7**(1), 221-228.
- [16] Peng J.H., Hu J.S., Controls of Resistance Spot Welding, *Proceedings of the American Control Conference*, San Diego, 21 June 1999.
- [17] Ghosh P.K., Gupta P.C., Avtar R. and Jha B.K., Resistance Spot Weldability of Comparatively Tick C-Mn-Cr-Mo Dual phase steel, *ISIJ International Conference*, India, 29 May 1990.
- [18] Volkan E.E., Arısoy C.F., Otomotiv Endüstrisinde Çelikten Vazgeçilebilir Mi ?, *Metal Dünyası*, 2003, **125**(2), 74-81.
- [19] Hayat F., Çift Fazlı Çeliklerin Nokta Direnç Kaynağında MHO ile Kaynak Süresinin Mekanik Özelliklerine Etkisi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2005, 198208.
- [20] <http://www.kocaelimakine.com/wp-content/uploads/2013/04/kaynak-teknolojisi-salim-aslanlar.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 20 Mayıs 2019).
- [21] [www.odd.org.tr](http://www.odd.org.tr), (Ziyaret Tarihi: 20 Nisan 2019).
- [22] [www.osd.org.tr](http://www.osd.org.tr), (Ziyaret Tarihi: 20 Nisan 2019).
- [23] [http://www.osd.org.tr/Sites/1/upload/files/2018\\_YILLIK-3299.pdf](http://www.osd.org.tr/Sites/1/upload/files/2018_YILLIK-3299.pdf), (Ziyaret Tarihi: 20 Mayıs 2019).
- [24] Sezgin T., Otomotiv Endüstrisinde Yeni Nesil Çelik Kullanımının Önemi, Kastamonu üniversitesi, *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2017, **1**(3), 205-210.
- [25] Hayat F., Trip Çeliklerin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımının İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, *Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2010, **25**(4), 701-712.
- [26] [www.researchgate.net/figure/Parts-of-various-types-of-materials-used-for-the-manufacture-of-car-parts\\_fig\\_322096172](http://www.researchgate.net/figure/Parts-of-various-types-of-materials-used-for-the-manufacture-of-car-parts_fig_322096172), (Ziyaret Tarihi: 21 Nisan 2019).
- [27] Keeler S., Kimchi M., Mooney J.P., Advanced High-Strength Steels Application Guidelines, *World Auto Steel Conference*, Belgium, 25 May 2017.
- [28] Jin Y., Development of Advanced High Strength Steels for Automotive Applications, *La Metallurgia Italiana*, 2011, **6**(1), 45-48.
- [29] Nemecek S., Muzik T. and Misek M., Differences Between Laser and Arc Welding of HSS Steels, *Physics Procedia*, 2012, **39**(5), 67-74.



- [30] Dilger K., *Welding and Joining of Advanced High Strength Steels*, 1st ed., Woodhead Publishing, Cambridge, 2015.
- [31] Mohrbacher H., Martensitic Automotive Steel Fundamentals and Metallurgical Optimization Strategies, *Advanced Materials Research*, DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.1063.130.
- [32] Shim J., Characteristics of Resistance Spot Welding for 1 GPA Grade Twin Induced Plasticity Steel, *The Japan Institute of Metals*, DOI:10320/matertrans.M2012167.
- [33] Cooman B., High Mn TWIP Steels for Automotive Applications, *New Trend and Developments in Automotive System Engineering*, DOI:10.5772/14086.
- [34] Guo Z., Influences of Alloying Elements on Warm Deformation Behavior of High Mn TRIP Steel with Martensitic Structure, *Materials&Design*, DOI: 10.1016/j.matdes.2015.10.010.
- [35] Ruscassier N., Sojka J., Effect of Hydrogen on the Properties and Fracture Characteristics of TRIP 800 steels, *Corrosion Science*, DOI: 10.1016/j.corsci.2011.04.015.
- [36] Speich G.R., Mechanical Properties of Ferrite-Martensite Steels, *AIME Annual Meeting*, New Orleans, 28-29 February 1979.
- [37] Rashid M.S., Relationship Between Steel Microstructure and Formability, Formable HSLA and Dual-Phase Steels, *AIME Annual Meeting*, New Orleans, 28-29 February 1979.
- [38] Furukawa T., Deformation For Manufacture: Forming And Shaping, *Proceedings of the 6th International Conference*. Melbourne, Australia, 16-20 August 1982.
- [39] Billur E., Çetin B., Gürleyik B., New Generation Advanced High Strength Steels: Developments, Trends and Constraints, *International Journal of Scientific and Technological Research*, 2016, **2**(1), 50-62.
- [40] Carrie M. Tamarelli, AHSS 101: The Evolving Use of Advanced High Strength Steels for Automotive Applications, *Steel Market Development Institute*, Michigan, USA, 16 May 2012.
- [41] Bilge D., Ticari M.E., Geliştirilmiş Çift Fazlı Çelik Üretimi , *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2014, **3**(2), 74-91.
- [42] Llewellyn D.T., Hillis D.J., Dual Phase Steels, *Ironmaking and Steelmaking*, 1996, **23**(6), 471-478.
- [43] Çimenoğlu H., Çift Fazlı Çeliklerin Deformasyon Davranışı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1988, 14049.

- [44] Demetri M.Y., Dual Phase Steels, *Metallurgical Transactions*, 1986, **11**(4), 1187-1196.
- [45] Weisman C., *Welding Handbook: Metals and Their Weldability*, 7. Ed., AWS, Florida, 1982.
- [46] Jenkins J.C., Dash E., Bodine W., Hubbard A., *Welding Handbook: Stud Welding*, 2nd Ed., AWS, Florida, 1978.
- [47] Şahin O., İstatistiksel Proses Kontrolünde Proses Yeterlilik Analizi ve Tekstil Endüstrisinde Uygulama, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 2013, **27**(2), 253-271.
- [48] Yıldırım S., Ürün Tasarım Geliştirilmesi: Taguchi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011, 28549.
- [49] [Content.IMS.sabis.sakarya.edu.tr/uploads/39220/33244/taguchi08.pdf](http://Content.IMS.sabis.sakarya.edu.tr/uploads/39220/33244/taguchi08.pdf), (Ziyaret Tarihi: 21 Nisan 2019).

## **KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER**

**Demir S.**, Sınmazçelik T., Canel T., 980 MPa Dual Faz Çeliğe Projeksiyon Kaynağı ile Cıvata Kaynatılması ve Taguchi Yöntemini Kullanarak Parametre Optimizasyonu Sağlanması, *4.Uluslararası Mühendislik ve Mimarlık Kongresi*, İstanbul, 23-24 Nisan 2019.



## **ÖZGEÇMİŞ**

Samet Demir 1988’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 2006 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden 2010 yılında mezun oldu. Çalışma hayatına 2010 yılında inşaat sektörüyle başlayıp 1 yıl sonunda proje bitimi nedeniyle ayrıldı. 6 aylık kısa dönem askerlik dönemi sonrasında, 2012 yılında otomotiv sektöründe Toyotetsu Otomotiv firmasında proje/kaynak mühendisi olarak çalışmaya başladı. Halen Toyotetsu Otomotiv firmasında geliştirme mühendisliği/kaynak departmanında müdür yardımcısı olarak çalışmaktadır.

