

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAYNAK DİKİŞLERİNDE YÜKLEME DURUMLARINA  
BAĞLI OLARAK YÖNTEM VE KALİTE SEÇİM  
ESASLARININ İNCELENMESİ**

Makina Mühendisi Zeynep KERSE

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı:** Prof. Nurullah Gültekin

**İSTANBUL, 2009**

# İÇİNDEKİLER

|  | Sayfa |
|--|-------|
| SİMGE LİSTESİ.....   | v     |
| KISALTIMA LİSTESİ.....   | vi    |
| ŞEKİL LİSTESİ.....   | vii   |
| TABLO LİSTESİ.....   | ix    |
| ÖNSÖZ.....   | x     |
| ÖZET.....  | xi    |
| ABSTRACT.....  | xii   |
| <br>   |       |
| 1. KALİTE SİSTEMİ.....   | 1     |
| 1.1 Giriş .....  | 1     |
| 1.2 Kaliteyi Oluşturan Temel Unsurlar .....                      | 1     |
| 1.2.1 Tasarım Kalitesi.....                                      | 2     |
| 1.2.2 Uygunluk Kalitesi (Üretim Kalitesi).....                   | 2     |
| 1.2.3 Kullanım Kalitesi.....                                     | 2     |
| 1.3 Kaynak Tekniğinde Kalite Sistemi Oluşturma.....              | 2     |
| <br>   |       |
| 2. KAYNAK TEKNİĞİNDE KALİTEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....           | 4     |
| 2.1 Kaynak Kalite Faktörleri.....                                | 4     |
| 2.2 Kaynağa Yatkınlık / Malzemelerin Kaynak Edilebilirliği ..... | 5     |
| 2.3 Kaynak İşleminin Uygulanabilirliği .....                     | 9     |
| 2.4 Kaynak Yöntemi Kaynak Süreksizlik İlişkisi .....             | 12    |
| 2.5 Kaynak Parametreleri Kaynak Kalite İlişkisi.....             | 13    |
| 2.6 Kaynak Sonrası İşlemler .....                                | 18    |
| 2.6.1 Isıl İşlemler.....   | 19    |
| 2.7 Kaynak Emniyeti .....  | 22    |
| 2.7.1 Tasarım.....   | 23    |
| <br>   |       |
| 3. KAYNAK MUKAVEMETİ.....  | 37    |
| 3.1 Kaynak Dikişlerindeki Gerilmeler.....                        | 37    |
| 3.1.1 Normal Gerilmeler ve Kayma Gerilmeleri .....               | 37    |
| 3.1.2 Bileşik Gerilmeler ve Mukayese Gerilmeleri.....            | 37    |
| 3.2 Statik Zorlama .....   | 38    |
| 3.3 Dinamik Yükleme Çeşitleri.....                               | 42    |
| 3.3.1 Tek Kademeli Yükleme .....                                 | 42    |
| 3.3.2 Çok Kademeli Yükleme.....                                  | 43    |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 3.4     | Wöhler Eğrileri ve Yorulma Diyagramları .....   | 44  |
| 3.4.1   | Wöhler Eğrileri .....   | 44  |
| 3.4.2   | Smith Diyagramları.....   | 46  |
| 3.4.3   | Haigh Diyagramı .....   | 46  |
| 3.4.4   | Moore- Kommers-Jasper Diyagramı .....   | 47  |
| 3.5     | Kaynaklı Birleştirmelerin Statik ve Yorulma Dayanımına Etki Eden Faktörler.....   | 47  |
| 3.5.1   | Çentik Etkisi ve Gerilme Yığılmaları .....  | 47  |
| 3.5.2   | Kaynak Dikişinin Etkisi .....   | 52  |
| 3.5.3   | Kaynaklı Birleştirme Şeklinin Etkisi .....  | 54  |
| 3.5.3.1 | Alın Kaynaklı Bağlantıların Mukavemeti.....   | 54  |
| 3.5.3.2 | İç Köşe Kaynaklı Bağlantılarının Mukavemeti.....  | 55  |
| 3.5.4   | Kaynak Hatalarının Etkisi .....   | 58  |
| 3.5.5   | İç Gerilmelerin Etkisi.....   | 61  |
| 3.5.6   | Isı Tesiri Altındaki Bölgenin (ITAB) Özelliklerinin Mukavemete Etkisi .....   | 61  |
| 3.6     | Kaynak Kabul Kriterleri.....  | 62  |
| 4.      | <b>KAYNAKLI KONSTRÜKSİYONLAR İÇİN ÖLÇÜLENDİRME KONSEPTLERİ...65</b>   |     |
| 4.1     | Emniyetli Gerilmeler Konsepti.....  | 66  |
| 4.2     | Kısmi Emniyetler (Sınır Gerilme) Konsepti .....   | 66  |
| 4.3     | Makine Elemanları Kitaplarında Kullanılan Hesaplama Yöntemleri.....   | 67  |
| 4.3.1   | Birinci Yöntem .....  | 68  |
| 4.3.2   | İkinci Yöntem.....  | 71  |
| 4.4     | Kaynaklı Konstrüksiyon Tasarımcılarının Kullandığı Hesaplama Yöntemleri .....   | 72  |
| 5.      | <b>KAYNAK TEKNİĞİNDE DAYANIM HESAPLAMALARI VE KALİTE SINIF BELİRLEMELERİNDE KULLANILAN STANDART VE TALİMATNAMELER..... 73</b>           |     |
| 5.1     | Kaynak Dikişlerinde Standartlara Göre Değerlendirme Grupları .....  | 75  |
| 5.2     | Kaynak Dikişleri İçin Değerlendirme Gruplarının Belirlenmesi .....  | 76  |
| 5.3     | EN 25817 Dikkate Alınarak Düzenli Olmayan Alanlarda Yapılan Kaynaklı Birleştirmelerin Hesaplanması İçin Tavsiye Edilen Bir Yöntem ..... | 77  |
| 5.3.1   | Statik Zorlama Durumunda Değerlendirme Grubun Saptanması .....  | 77  |
| 5.3.2   | Dinamik Zorlamalar Durumunda Değerlendirme Gruplarının Saptanması.....  | 78  |
| 5.4     | DIN 18800-1 .....   | 81  |
| 5.5     | Eurocode 3 (ENV 1993) .....   | 86  |
| 5.6     | DS 952.....   | 86  |
| 5.7     | IIW Tavsiyeleri.....  | 91  |
| 5.7.1   | Gerilme Oranı R'nin Etkisi .....  | 94  |
| 5.7.2   | Cıdar Kalınlığının ve Yüksek Sıcaklıkların Etkisi .....   | 95  |
| 5.8     | FKM Talimatnamesi .....   | 95  |
| 5.8.1   | Yorulma Dayanımı Kontrolü.....  | 96  |
| 6.      | <b>DEMİR ESASLI MALZEMELERİN KAYNAKLI BİRLEŞTİRİLMESİNDE YÖNTEM SEÇİMİ.....98</b>   |     |
| 6.1     | Teknik Açıdan Değerlendirmeler .....  | 99  |
| 6.1.1   | Malzemenin Tipi.....  | 100 |
| 6.1.2   | Bağlantının Tipi.....   | 100 |
| 6.1.3   | Üretim İhtiyaçları.....   | 101 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 6.2     | Kaynak İşleminin Maliyetleri.....  | 101 |
| 6.3     | Genel Giderler .....   | 103 |
| 6.3.1   | Sarf Malzemelerin Maliyeti .....   | 103 |
| 6.3.2   | Tesis ve Bakım Maliyetleri .....   | 103 |
| 6.4     | Kaynakta Otomasyon ve Mekanizasyon.....  | 104 |
| 7.      | TEORİK ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....   | 106 |
| 7.1     | Konstrüksiyon Seçimi.....  | 106 |
| 7.2     | Yöntem Seçimi .....  | 107 |
| 7.3     | Elektrod Seçimi .....  | 110 |
| 7.3.1   | Elektrik Ark Kaynağında Elektrod Seçimi .....  | 110 |
| 7.3.2   | MAG Kaynağında Elektrod Seçimi.....  | 110 |
| 7.4     | Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi.....  | 111 |
| 7.4.1   | Örtülü Elektrod İle Ark Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Seçimi .....                        | 111 |
| 7.4.1.1 | Elektrod Türü .....  | 112 |
| 7.4.1.2 | Elektrod Çapı.....   | 112 |
| 7.4.1.3 | Akım Türü.....   | 112 |
| 7.4.1.4 | Kaynak Akım Şiddeti.....   | 112 |
| 7.4.1.5 | Ark Boyu.....  | 113 |
| 7.4.1.6 | Kaynak Hızı.....   | 113 |
| 7.4.1.7 | Elektrod Açıları .....   | 113 |
| 7.4.2   | MAG Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Seçimi .....  | 114 |
| 7.4.2.1 | Elektrod Çapı ve Akım Şiddeti.....   | 114 |
| 7.4.2.2 | Koruyucu Gaz Türü .....  | 114 |
| 7.4.2.3 | Ark Boyu.....  | 115 |
| 7.4.2.4 | Kaynak Hızı.....   | 115 |
| 7.4.2.5 | Elektrod Açısı.....  | 116 |
| 7.5     | Analiz Çalışması.....  | 116 |
| 7.6     | Tasarım Değişikliklerine Bağlı Olarak Kaynak Metal Kullanımının İncelenmesi ..                 | 118 |
| 7.6.1   | 1 numaralı konstrüksiyon için etkiyen kuvvetlerin incelenmesi:.....                            | 118 |
| 7.7     | Kaynaklı Konstrüksiyonların FEM ile modellenmesi ve Analizi .....                              | 120 |
| 7.7.1   | 1 Numaralı Konstrüksiyonun ( Düz Tabla-Açılı Silindir) FEM ile Modellenmesi ve Analizi .....   | 120 |
| 7.7.2   | 2 Numaralı Konstrüksiyonun ( Açılı Tabla - Düz Silindir) FEM ile Modellenmesi ve Analizi ..... | 123 |
| 7.8     | Analizlerin Değerlendirilmesi .....  | 126 |
| 7.9     | Kaynak Metal Hacminin Azaltılmasının Kaynak Kalitesi Üzerindeki Etkileri .....                 | 130 |
| 7.10    | Kaynak Metalinin Değiştirilmesinin Kaynak Kalitesi Üzerindeki Etkileri .....                   | 133 |
| 8.      | SONUÇLAR .....   | 136 |
|         | KAYNAKLAR .....  | 138 |
|         | EKLER.....   | 139 |
|         | EK-1 :Düz Tabla-Açılı Silindirden Oluşan Konstrüksiyonun Gerilme Analizi.....                  | 140 |
|         | EK-2 Açılı Tabla-Düz Silindirden Oluşan Konstrüksiyonun Gerilme Analizi .....                  | 147 |
|         | ÖZGEÇMİŞ .....   | 152 |

## SİMGE LİSTESİ

|                      |   |
|----------------------|---|
| $\alpha_k$           | Form sayısı   |
| $\gamma_F$           | Kısmi emniyet katsayısı   |
| $\sigma_a, \sigma_g$ | Gerilme genliği (N/mm <sup>2</sup> )                                    |
| $\sigma_{a,em}$      | Emniyetli gerilme genliği (N/mm <sup>2</sup> )                          |
| $\sigma_{k,Rd}$      | Kaynak dikişi sınır gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )                      |
| $\sigma_m$           | Ortalama gerilme (N/mm <sup>2</sup> )                                   |
| $\sigma_{max}$       | En büyük gerilme (N/mm <sup>2</sup> )                                   |
| $\sigma_{min}$       | En küçük gerilme (N/mm <sup>2</sup> )                                   |
| $\sigma_n$           | Nominal gerilme (N/mm <sup>2</sup> )                                    |
| $\sigma_{na}$        | Nominal gerilme genliği (N/mm <sup>2</sup> )                            |
| $\sigma_o$           | Üst gerilme (N/mm <sup>2</sup> )  |
| $\sigma_u$           | Alt gerilme (N/mm <sup>2</sup> )  |
| $\sigma_{II}$        | Dikiş doğrultusundaki normal gerilmeler (N/mm <sup>2</sup> )            |
| $\sigma_{\perp}$     | Kaynak dikişine dik doğrultudaki normal gerilmeler (N/mm <sup>2</sup> ) |
| $\tau_{II}$          | Dikiş doğrultusundaki kayma gerilmeleri (N/mm <sup>2</sup> )            |
| $\tau_{\perp}$       | Kaynak dikişine dik doğrultudaki kayma gerilmeleri (N/mm <sup>2</sup> ) |
| $A_3$                | Üst dönüşüm sıcaklığı sıcaklığı   |
| $F_b$                | Boyuna etkiyen kuvvet (N)   |
| $F_e$                | Enine etkiyen kuvvet (N)  |
| $I$                  | Akım (amper)  |
| $K_k$                | Kaynak dikişi kalite faktörü  |
| $K_{kç}$             | Kaynak dikişi çentik faktörü  |
| $n$                  | Kalınlık düzeltme üssü  |
| $N$                  | Çevrim sayısı   |
| $P$                  | Kırlmama olasılığı  |
| $R_s$                | Soğuma hızı (°C/saniye)   |
| $S$                  | Emniyet katsayısı   |
| $T_V$                | Ön tavlama sıcaklığı (°C)   |
| $T_N$                | Son tavlama sıcaklığı (°C)  |
| $T_{A1}$             | Çalışma sıcaklığı (°C)  |
| $T_S$                | Malzemenin ergime sıcaklığı (°C)  |
| $t_S$                | Kaynak zamanı   |
| $t_A$                | Oda sıcaklığına soğuma zamanı   |
| $t_v$                | Ön tavlama zamanı   |
| $t_N$                | Son tavlama zamanı  |
| $t_R$                | Bekleme zamanı  |
| $t_s$                | Kaynak zamanı   |
| $Q_{is1}$            | Isı girdisi (kJ/mm)   |
| $V$                  | Ark gerilimi (volt)   |
| $V_1$                | Dikiş katsayısı   |
| $V_2$                | Kalite katsayısıdır.  |
| $V_3$                | Darbe katsayısı   |
| $V_4$                | Gerilme yığılma katsayısı   |
| $W$                  | Köşe kaynağı dik kenar uzunluğu (mm)                                    |

## KISALTMA LİSTESİ

|      |  |
|------|--|
| EGW  | Electrogas Welding ( Elektrogaz Kaynağı)                 |
| ESW  | Electroslag Welding ( Elektroslag Kaynağı)               |
| FCAW | Fluxed Core Arc Welding (Özlu Elektrod Ark Kaynağı)      |
| GMAW | Gas Metal Arc Welding (Gaz Metal Ark Kaynağı)            |
| GTAW | Gas Tungsten Arc welding (Gaz Tungsten Ark Kaynağı)      |
| IIW  | Uluslararası Kaynak Enstitüsü                            |
| ITAB | Isı Tesiri Altındaki Bölge                               |
| PAW  | Plasma Arc Welding (Plazma Ark Kaynağı)                  |
| SAW  | Submerged arc Welding (Tozaltı Ark Kaynağı)              |
| SMAW | Shielded Metal Arc Welding (Örtülü Elektrod Ark Kaynağı) |

## ŞEKİL LİSTESİ

|  | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 2. 2 Tavlama sıcaklıkları ve soğuma hızları arasındaki ilişki.....                                       | 19    |
| Şekil 2. 3 Basit ön tavlama ile yapılan kaynak .....   | 20    |
| Şekil 2. 4 Ön ve son tavlama kaynak .....  | 21    |
| Şekil 2. 5 Çok pasolu kaynakta sıcaklığın zamana bağlı değişimi .....  | 22    |
| Şekil 2. 6 Kaynak boyutunun tespit edilmesi .....  | 23    |
| Şekil 2. 7 Tasarımın ulaşılabilirlik üzerindeki etkisi .....   | 24    |
| Şekil 2. 8 Bindirme kaynağının dayanım üzerindeki olumsuz .....  | 24    |
| Şekil 2. 9 Kaynak dikişi kuvvetin yön değiştirme bölgesinde olmamalıdır .....                                  | 25    |
| Şekil 2. 10 Kaynak dikişlerinin yük taşıma kapasiteleri .....  | 25    |
| Şekil 2. 11 Kaynak dikişi içinde kuvvet akış çizgileri .....   | 25    |
| Şekil 2. 12 Kuvvet akış çizgilerinin kaynak dikişindeki dağılımı .....   | 26    |
| Şekil 2. 13 Kaynak dikişlerinin yük taşıma kapasiteleri .....  | 26    |
| Şekil 2. 14 Farklı kalınlıktaki malzemelerin kaynağı .....   | 26    |
| Şekil 2. 15 Çekme etkisindeki kaynak dikiş kökü .....  | 27    |
| Şekil 2. 16 Çekmeye karşı hassas olan kaynak dikiş kökleri .....   | 27    |
| Şekil 2. 17 Kaynak dikişinin yeri uygun seçilmelidir .....   | 28    |
| Şekil 2. 18 Kaynakta çentik etkisi.....  | 28    |
| Şekil 2. 19 Kaynakta düğüm noktasından kaçınılmalıdır.....   | 28    |
| Şekil 2. 20 Düğüm noktaları mukavemeti olumsuz etkiler .....   | 28    |
| Şekil 2. 21 Kaynak dikiş boyutları arasındaki ilişki .....   | 29    |
| Şekil 2. 22 Kapalı kesitlerin kaynak özellikleri .....   | 29    |
| Şekil 2. 23 Silindirik basınçlı kapların N/mm <sup>2</sup> cinsinden basınç değeri .....                       | 29    |
| Şekil 2. 24 İşlenecek yüzeylerde kaynak dikişi olmamalıdır .....   | 30    |
| Şekil 2. 25 İç köşe dikişleri çift yapılmalıdır.....   | 30    |
| Şekil 2. 26 İnce levha yerine kalın levha tercih edilmelidir .....   | 30    |
| Şekil 2. 27 Delik açılarak gaz sıkışması önlenmelidir .....  | 31    |
| Şekil 2. 28 Kaynak dikişi az zorlanan yerlere konmalıdır .....   | 31    |
| Şekil 2. 29 Kaynak ağzı keskin köşeye neden olmamalıdır .....  | 31    |
| Şekil 2. 30 Kaynak yapılacak bölgeye kolay ulaşılmalıdır .....   | 32    |
| Şekil 2. 31 deformasyonla kaynak sonrası çekilmelerin önlenmesi .....  | 32    |
| Şekil 2. 32 Kaynakta paso sırası .....   | 32    |
| Şekil 2. 33 Kaynakta kaynak pasosu sırası .....  | 33    |
| Şekil 2. 34 Takviyeli kaynak dikişi.....   | 33    |
| Şekil 2. 35 Kaynakta işlenecek yüzeyler birbirine dik olmalıdır .....  | 33    |
| Şekil 2. 36 Kaynak dikişi kolay ulaşılacak yerlere konmalıdır .....  | 34    |
| Şekil 2. 37 Ön şekillendirme işçilik ve maliyeti artırır .....   | 34    |
| Şekil 2. 38 Ucuz malzeme pahalı işçilik gerektirir .....   | 34    |
| Şekil 2. 39 Dinamik zorlanmalar iç köşe dikişler için tehlikelidir .....                                       | 35    |
| Şekil 2. 40 Dairesel parçaların kaynağı.....   | 35    |
| Şekil 2. 41 Köşe kaynağında bindirme yamak zorunludur .....  | 35    |
| Şekil 2. 42 Bir sıvı deposunun kaynaklı tasarımı .....   | 36    |
| Şekil 3. 1 Kaynak dikişlerindeki gerilmeler .....  | 37    |
| Şekil 3. 2 Çeşitli kaynak dikişlerinde zorlama durumuna göre meydana gelen gerilmeler .....                    | 40    |
| Şekil 3. 3 Çeşitli yükleme durumlarında kaynak dikişlerinde meydana gelen basit gerilmelerin hesaplanması..... | 41    |
| Şekil 3. 4 Bileşik zorlama durumunda meydana gelen gerilmeler ve mukayese gerilmesinin hesaplanması.....       | 41    |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 3. 5 Yorulma zorlamasında değişken ve dalgali zorlama bölgeleri .....  | 42  |
| Şekil 3. 6 Çok kademeli yükleme akışı .....  | 43  |
| Şekil 3. 7 Wöhler eğrilerinin (çelik için) şematik olarak gösterimi.....   | 45  |
| Şekil 3. 8 IIW' ye göre Wöhler eğrilerinin şematik olarak gösterimi.....   | 45  |
| Şekil 3. 9 Smith Diyagramları .....  | 46  |
| Şekil 3. 10 Haigh' a göre yorulma dayanımı diyagramı .....   | 47  |
| Şekil 3. 11 Moore –Kommers- Jasper Diyagramı .....   | 47  |
| Şekil 3. 12 Levhadaki bir delik civarındaki gerilme yığılması.....   | 48  |
| Şekil 3. 13 Düz bir parça ile delikli bir parçadaki gerilme dağılımları.....   | 50  |
| Şekil 3. 14 Çentik parçaların Charpy deneyi sonuçlarına sıcaklığına etkisi .....   | 51  |
| Şekil 3. 15 Çeşitli çentik şekilleri için gerilme dağılımları ve form sayıları.....  | 51  |
| Şekil 3. 16 Deliksiz ve delikli parçaların yorulma dayanım diyagramları.....   | 52  |
| Şekil 3. 17 İşlenmemiş ve işlenmiş durumdaki çeşitli kuvvet iletmeyen kaynak dikişleri..   | 53  |
| Şekil 3. 18 Bir alın kaynağında tasarım kalınlığı.....   | 54  |
| Şekil 3. 19 İç köşe kaynağında dikiş kalınlığı ve ayak uzunluğu .....  | 56  |
| Şekil 3. 20 Kaynaklı Birleştirme Şekline Göre Kuvvet Akışı ve Çeşitli Kesitlerdeki Dağılımı .....  | 57  |
| Şekil 3. 21 Çekmeye Zorlanan Değişik Kaynaklı Birleştirmelerde Gerilme Dağılımı.....   | 58  |
| Şekil 3. 22 Birleştirme Hataları Alın Kaynak Dikişi .....  | 59  |
| Şekil 3. 23 Kaynaklı Birleştirmelerde Mümkün Olan Dış Hatalar .....  | 60  |
| Şekil 5. 1 Kaynak Tekniğinde Kalite Çemberi .....  | 73  |
| Şekil 5. 2 S235 için DIN 18800 Kısım 1'e göre sınır gerilme değerlerinin gösterildiği gerilme – uzama diyagramı .....  | 84  |
| Şekil 5. 3 S235 için eski DIN 18800 Kısım 1'e göre (03.81) emniyetli gerilmelerin gösterildiği gerilme-uzama diyagramı .....   | 84  |
| Şekil 5. 4 Makine yapımındaki kaynaklı birleştirmelerin imalatı için örnekler .....  | 87  |
| Şekil 5. 5 Makine yapımındaki kaynaklı birleştirmelerin imalatı için örnekler .....  | 88  |
| Şekil 5. 6 Makine yapımındaki kaynaklı birleştirmelerin imalatı için örnekler .....  | 89  |
| Şekil 5. 7 Makine yapımındaki kaynaklı birleştirmelerin imalatı için örnekler .....  | 90  |
| Şekil 5. 8 Yapı çeliklerinden kaynaklı birleştirmeler için standart Wöhler eğrileri; Emniyetli nominal gerilme alanı $\Delta\sigma_{n,em}$ (Hasar olasılığı $P_k=2,3\%$ )..... | 91  |
| Şekil 7. 1 Analiz çalışmasında kullanılan ana konstrüksiyon .....  | 116 |
| Şekil 7. 2 1 no'lu tasarımın isometrik ve soldan görünüşü .....  | 117 |
| Şekil 7. 3 2 no'lu tasarımın isometrik ve soldan görünüşü .....  | 117 |
| Şekil 7. 4 1 numaralı konstrüksiyonda kuvvetlerin dağılımı.....  | 118 |
| Şekil 7. 5 2 numaralı konstrüksiyonda kuvvetlerin dağılımı.....  | 119 |
| Şekil 7. 6 X doğrultusunda maksimum gerilmenin olduğu bölgede gerilme dağılımı .....   | 122 |
| Şekil 7. 7 Y doğrultusunda maksimum gerilmenin olduğu bölgede gerilme dağılımı .....   | 122 |
| Şekil 7. 8 Z doğrultusunda maksimum gerilmenin olduğu bölgede gerilme dağılımı.....  | 123 |
| Şekil 7. 9 X doğrultusunda maksimum gerilmenin olduğu bölgede gerilme dağılımı .....   | 125 |
| Şekil 7. 10 Y doğrultusunda maksimum gerilmenin olduğu bölgede gerilme dağılımı ....   | 125 |
| Şekil 7. 11 Y doğrultusunda maksimum gerilmenin olduğu bölgede gerilme dağılımı ....   | 126 |
| Şekil 7. 12 Kaynak hacminin azaltıldığı durumda kaynak dikişindeki kaynak güvenilirliği .....  | 132 |
| Şekil 7. 13 Teorideki kaynak hacmi sağlandığında kaynak dikişindeki kaynak güvenilirliği .....   | 132 |
| Şekil 7. 14 E60XX kaynak metali kullanılarak oluşturulmuş kaynak dikişindeki gerilme dağılımı.....   | 135 |



## TABLO LİSTESİ

|  | Sayfa |
|--|-------|
| Tablo 2. 1 Kaynağa yatkınlık .....   | 6     |
| Tablo 2. 2 Önemli alaşım elementlerinin çeliğin bazı mekanik özelliklerine etkisi .....  | 7     |
| Tablo 2. 3 Karbon miktarının, yumuşak çeliklerin ergitme kaynağına uygunluğu üzerindeki önemi .....  | 8     |
| Tablo 2. 4 Elle elektrik ark kaynağı için malzeme özelliklerinin artan ısı girdisi ile değişimi .....  | 17    |
| Tablo 3. 1 Tipik Hata Kabul Kriterleri.....  | 49    |
| Tablo 3. 2 İç köşe kaynağının mukavemeti.....  | 56    |
| Tablo 4. 1 Değişken zorlamalarda çeşitli bağlantı ve dikiş şekilleri için v1 katsayısı .....   | 70    |
| Tablo 5. 1 EN 25817 ve Din 8563 Kısım 3 ' e göre değerlendirme grupları ve seçim kriterleri .....  | 75    |
| Tablo 5. 2 Statik zorlama durumunda alın ve iç köşe dikişleri için EN 25817'ye göre verilen değerlendirme gruplarının seçimi için .....                              | 78    |
| Tablo 5. 3 Alın dikişi ( enine zorlanan) : EN 235817'de verilen düzensizlikler ve değerlendirme gruplarına göre IIW-sınıflarının koordinasyonu için tavsiyeler ..... | 80    |
| Tablo 5. 4 Tablo 5.3 için özel belirlemeler .....  | 81    |
| Tablo 5. 5 Çelik yapılar için DIN 18800-1'e göre haddelenmiş çeliklerin akma sınırları ve çekme dayanımları .....  | 85    |
| Tablo 5. 6 Kaynaklı birleştirmelerin Uluslar arası Kaynak Enstitüsü'nün (IIW) tavsiyesine göre sınıflandırılması .....   | 93    |
| Tablo 5. 7 İç gerilme etkisine göre üç farklı durum için yükseltme faktörleri f( R) .....  | 94    |
| Tablo 5. 8 Kalınlık düzeltme için n üssü.....  | 95    |
| Tablo 6. 1 İlave metal ergimeli ark kaynak yöntemlerinin avantajları .....   | 104   |
| Tablo 7. 1 Elektrik ark kaynak yöntemlerinin malzeme ve kalınlığa göre uygulanabilirliği .....   | 108   |
| Tablo 7. 2 Ark kaynağında uygun elektrod açıları.....  | 113   |
| Tablo 7. 3 Yığılan kaynak metali, akım şiddeti ve elektrod çapı arasındaki ilişki.....   | 114   |
| Tablo 7. 4 Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri .....  | 115   |
| Tablo 7. 5 Konstrüksiyonlara ait dikiş form sonuçları.....   | 120   |
| Tablo 7. 6 Düz Tabla-Açılı Silindir Modelinde Analiz Sonucu Çıkan Gerilme Değerleri  | 121   |
| Tablo 7. 7 Düz Tabla-Açılı Silindir Modelinde Analiz Sonucu Çıkan Gerilme Değerleri  | 124   |
| Tablo 7. 8 Esas metalin karbon içeriğine ve kalınlığına bağlı olarak ön tavlama ve pasolar arası sıcaklık.....   | 130   |
| Tablo 7. 9 Atlamalı dikiş ve ilk tasarımdaki gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....   | 131   |
| Tablo 7. 10 Farklı kaynak metallerinin kullanılması durumunda kaynak dikişindeki gerilmelerin karşılaştırılması .....  | 134   |

## **ÖNSÖZ**

Yüksek lisans tez çalışmamda ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve çalışmamı yönlendiren Sayın Hocam Prof. Nurullah Gültekin'e sonsuz şükranlarımı sunarım.  
Ayrıca tez çalışmamda her türlü ilgi ve desteğini gördüğüm Hema Otomotiv Sistemleri montaj sorumlusu sayın Oral Erol'a ve beni her daim destekleyen aileme çok teşekkür ederim.

## **ÖZET**

Firmalar, iç ve dış pazarlarda varlıklarını sürdürebilmek için yüksek kalitede üretim yapmak zorundadırlar. Bu durum kaynaklı konstrüksiyonlar için de geçerlidir. Kaynaklı konstrüksiyonlarda kalite, kaynak dikişlerinin kalitesiyle doğrudan ilgilidir.

Kaynak kalitesine kaynak metali, çevresel koşullar, dizayn, kaynakçılar gibi bir çok faktör etki eder. Yüksek kalitede bir kaynak dikişi oluşturmak için tüm bu faktörlerin kontrol altında tutulması gereklidir.

Çalışmanın ilk 6 bölümünde kaynak kalitesini etkileyen unsurlar, kaynak tekniğinde kullanılan ilgili standart ve talimatnameler, kaynaklı konstrüksiyonların ölçülendirme konseptleri ve kaynak mukavemeti incelenmiştir. 7. bölümde, tasarım değiştirilerek, tasarıma uygun olarak yöntem ve kaynak parametrelerinin seçilmesi incelenmiş, ve bu parametrelere göre sonlu elemanlar yoluyla analizi yapılmış. Bu analiz ile kaynak kalitesini etkileyen unsurlardan tasarım, kaynak metali, kullanılan kaynak metal miktarı değiştirilerek sonuçlar yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:**Kaynak kalitesini etkileyen faktörler, kaynak parametreleri.

## **ABSTRACT**

Firm's production must assume high quality in order to survive in the internal and external market. This is also same for welded constructions. In welded constructions, quality is related with weld beams.

Weld quality is affected by many factors such as welded and welding materials, environmental conditions, design, operators, etc. For ensuring high quality in welded structures, all these factors must be controlled.

In the first 6 chapters, the factors that affect the weld quality, the norms and instruction manuals about welding techniques, measurement concepts about welding constructions and weldment resistance are analyzed. In seventh chapter, by changing the design of the construction, the welding method and welding parameters are analyzed with FEM. In this analyze, the factors that affect the welding quality have changed, and the results are explained.

**Key Words:**The factors that affect weld quality, welding parameter

## **1. KALİTE SİSTEMİ**

### **1.1 Giriş**

En genel anlamda kalite bir ürünün ekonomik ve standartlara uygun olarak fonksiyonunu yerine getirebilecek şekilde üretilmesidir. Bunun yanında dünya çapındaki uzmanlar ve çeşitli kuruluşlar tarafından kalite değişik şekilde tanımlanmaktadır. Gelişen teknoloji ile artan rekabet karşısında, rekabet gücünün bir göstergesi olan kalitenin ve dolayısıyla kalite kontrolünün de önemi artmaktadır. Firmaların başlıca hedefi daha düşük maliyetle daha kaliteli üretim yapmaktır.

Kalite kavramına olan ilginin son yıllarda artması da bir rastlantı değildir. İç ve dış pazarlarda uzun süre var olabilmek için üretimin yüksek kalitede yapılması ve bu kalitenin sürdürülmesi tüm firmalar için geçerli hale gelmiştir. Kaynaklı tasarımların kalitesi yapılacak birleştirmelerin, diğer bir ifade ile kaynak dikişlerinin kalitesiyle doğrudan ilgilidir

Kalitenin oluşturulması için sistemli, planlı ve uzun vadeli bir çalışma gerekir. Tüm bu süreç içinde bir ürünün kalitesi,

- Müşterilerin istek ve ihtiyaçlarından,
- Müşteri isteklerine uygun tasarımdan,
- Üretimin tasarıma uygunluğundan,
- Üretim maliyetinden,
- Üretim teknolojisi ve yönetiminden,

etkilenir.

### **1.2 Kaliteyi Oluşturan Temel Unsurlar**

Bir ürünün kalitesi başlıca üç unsurun bileşimi olarak ortaya çıkmaktadır. Kaliteyi geliştirmek amacıyla olan yöneticilerin bu üç unsuru göz önünde bulundurması gerekir.

Bunlar:

- 1) Tasarım kalitesi
- 2) Uygunluk kalitesi
- 3) Kullanım kalitesi

### **1.2.1 Tasarım Kalitesi**

Bir ürünün ortaya çıkarılmasında ilk adım tasarım aşamasıdır. Ürünün ulaşabileceği kalite düzeyi hemen hemen tasarım aşamasında belirlenir. Bu nedenle, günümüzdeki kalite rekabetinin temel yönü ürünün tasarım kalitesidir. Müşterilerin gereksinimleri, tasarım aşamasında, ürüne, malzemeye ve süreçlere dönük şartnamelere çevrilir. Bu çeviri işleminin sonucu ortaya çıkacak ürünün, müşterinin beklentilerini kabul edilebilir bir fiyattan karşılaması ve firmaya da tatmin edici bir kar bırakması temeldir.

### **1.2.2 Uygunluk Kalitesi (Üretim Kalitesi)**

Tasarım kalitesi ile belirlenen özelliklere üretim esnasındaki uyma derecesidir. Bu nedenle uygunluk kalitesine üretim kalitesi de denmektedir. Başarılı bir tasarımın aynı başarı ile ürüne dönüştürülememesi durumunda tüm çabalar sonuçsuz kalır. Elde edilecek üretim kalitesi, tasarım aşamasında konulmuş olan koşulların üretim esnasında ne ölçüde yerine getirilebildiğine bağlıdır. Diğer bir ifade ile tasarlanan ürün ile ortaya çıkan ürün arasındaki uyumdur.

### **1.2.3 Kullanım Kalitesi**

Müşterinin memnuniyeti için, müşterinin beklediği özelliklerin üründe olması kadar,

ürünün bu özelliklerini kullanım süresi içinde koruması da temel ilkedir. Dolayısıyla, kalitenin bir de süre boyutu vardır. Bir ürünün kullanım süresi içinde de kalite düzeyinin korunması, kalite anlayışının önemli bir yönüdür. Bakım kolaylığı ve lojistik desteğin (ürünü çalışır durumda tutmak için gereken parçaların sağlanma kolaylığı ve maliyeti) yanı sıra, çalışır teslim, kullanıcının eğitimi, garanti hizmetleri gibi değişik destek hizmetleri de kullanım kapsamındadır.

Yukarıda üç ana başlık altında toplanmış olan temel kalite unsurları kalitenin oluşturulmasında geniş kapsamlı kalite faaliyetlerini gerektirir. Bu faaliyetler şematik olarak kalite halkası biçiminde gösterilmektedir.

## **1.3 Kaynak Tekniğinde Kalite Sistemi Oluşturma**

Kalite güvencesi bir işletmenin bütün fonksiyonlarının toplam olarak bütünleştirilmesi ve kontrolünü gerektirir. Yalnızca muayene ile kalite elde edilemez, kalitenin üretilmesi gerekir. Kalite müşteri gerekliliklerinin tanımlandığı aşamada tasarlanmalıdır. Bu duyarlı kalite oluşturma çabaları planlama, imalat, sevkiyat ve satış sonrası aşamalarda da sürdürülmelidir.

Yeni kalite bilincinin prensipleri ISO 9000m standart serisinde tespit edilmiş ve 1985 yılında dünya çapında kullanıma sunulmuştur. Daha sonraları bu standart serisi EN 29000 standart serisi şeklinde aynen Avrupa standardı olarak kabul edilmiştir. Kaynak tekniği yüksek değerdeki ürünlerin (konstrüksiyonların) elde edilmesinde en iyi teknik ve ekonomik şartları sunan anahtar teknolojilerdendir. Günümüzdeki kaynak yöntemleri ve bunların çalışma şekli tüm endüstri branşlarında rekabet gücünün sağlanmasında önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Basıncılı direnç kaynağı ve lehimleme, yapıştırma ve termik püskürtme gibi kaynağa yakın teknolojilerin yanında ergitme kaynağı daha çok tercih edilen üretim yöntemlerindedir. Çeşitli kapların, çeşitli tesislerin, boru iletim hatlarının yapılmasında, makine yapımı ve çelik yapılarında otomobil ve raylı sistem taşıtlarının yapımında, deniz içine kurulan tesislerin yapımında, hava ve uzay taşıtlarının yapımında, mikro elektronikte ve tıpta geniş uygulama alanları bulunmaktadır. Metallerin işlenmesi suretiyle yapılan üretimde anahtar rolü oynayan kaynak tekniğinin, ortaya çıkan ürünlerin kalitesi ve üretim maliyetleri üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Kaynak, kalitenin bizzat oluşturulması gereken bir üretim yöntemidir. Kaynak tekniği alanında bir kaynaklı birleştirmenin kalitesinin, ürünü tahrip etmeden yüzde yüz güvenlikle tespit edilmesinin nadiren gerçekleşmesi özel bir anlam taşımaktadır. Kaynağa ne kadar iyi bir tahribatsız muayene yöntemi uygulanırsa uygulansın, kaynaklı bağlantının dayanımı, çentik darbe tokluğu, metalürjik yapısı veya korozyon direnci tespit edilemez. Bu faktörler, kullanılan kaynak ilave malzemesi, ısı girdisi gibi çeşitli etkenler tarafından etkilenmektedir. Bu nedenle kaynak örneğinin EN 29001'e göre özel bir proses olarak sınıflandırılmakta ve kalite güvence sistemi içinde önemli düzenlemeleri gerektirmektedir. EN 29000 standart serisi çeşitli endüstri branşlarından bağımsız olarak ortaya çıkan ve genelde endüstri ve hizmet sektöründeki tüm kuruluşlara uygulanabilen standartlardır. Ancak kaynak tekniği gibi bazı endüstri branşlarının özel durumları nedeniyle tüm faaliyetlerinin bu standart yardımıyla düzenlenmesi mümkün değildir. Bu nedenle bir kalite sisteminin oluşturulmasında başka standartlara da gerek olmaktadır. Bu ihtiyaçtan dolayı kaynak tekniğinde metalik malzemelerin ergitme kaynağa için kalite şartları adı altında dört kısımda oluşan EN 729 standardı çıkarılmıştır. EN 29000 ve EN 729 birlikte bir bütün oluşturarak bir kalite yöntemi sistemi kurulması mümkün olabilmektedir. Bunun yanında kaynak tekniğinde kalite ile doğrudan ilgili ve kaliteyi düzenleyen çeşitli Avrupa standartları da mevcuttur. Kaynak işlemlerinin tüm bu standartlardan oluşan bir kalite sistem, tarafından kontrolü gerekmektedir.

## 2. KAYNAK TEKNİĞİNDE KALİTEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

### 2.1 Kaynak Kalite Faktörleri

#### **Kalite Faktörü 1: Tasarım**

Kaynaklı bir yapı elemanının tasarımında, imalatçı ve/veya müşterinin deneyimleri yanında, tüm yasal düzenleme ve kurallara (basınçlı kap talimatları, boru hatları yapımı talimatları, mesleki kuruluşların talimatları, Avrupa standartları vs.) mümkün olduğu kadar dikkatli edilmeli ve yerine getirilmelidir. Bunun gerçekleştirilmesi, ancak konstrüksiyon kurallarının, çalışma şartlarının yerine getirilmesiyle mümkündür. Ancak bir teknik resim veya bazen bir eskiz dahi yeterli olabilir. Burada önemli olan nokta, tasarım sırasında geçerli kriterlere uyulması ve bunların uygulanacakları yerlerin gösterilmesidir.

#### **Kalite Faktörü 2: Malzeme**

Mümkün olduğu kadar, standartlaştırılmış, sertifikalı esas ve ilave malzemeler kullanılmalıdır. Bu mümkün değilse, kural olarak müşteri ile üzerinde anlaşılmalı bir kabul yöntemi veya yeri tercih edilir. Kullanılan malzemenin ispatında, tarafların uygun bir sistem üzerinde anlaşmaları gerekir. Bu sistem, standartlara uygunluk belgesi olabileceği gibi, bir kabul muayenesi sonucunda alınan bir sertifika da olabilir. Taraflar ayrıca uygun bir standarda göre, doğru nakliye ve depolama yöntemi ve koşulları belirlenmelidir.

#### **Kalite Faktörü 3: Kaynak Yöntemi**

Kaynaklı yapı elemanı imalatçısının, kullandığı kaynak yöntemini ve tüm uygun kaynak parametrelerini tanımlayabilmesi ve yöntemlerin ispatını sağlayabilmesi gerekir. Burada EN 288 standardı kullanılabilir.

#### **Kalite Faktörü 4: Kaynak Tekniği Personeli**

Kaynak uzmanı, kaynak teknikeri ve kaynak mühendisi gibi kaynak gözlem personeli ile birlikte, EN 287'ye göre kalifiye edilmiş ve sertifikalandırılmış kaynakçıların varlığı gerekir. İmalatçı tüm bu personelin uygun şekilde sertifikalandırılmasını sağlamalıdır. Bunun gerçekleştirilmesi amacıyla, gerekli sınavlara, eğitim kurslarına başvurabilir.

#### **Kalite Faktörü 5: Kaynak Ağızı Hazırlığı**

Ağızların hazırlanması, dikiş kalitesinin çekirdeğidir. Bu nedenle kaynak ağızları özenle planlanmalı ve hazırlanmalıdır. Ayrıca ağızların yapılış şekli, temizliği ve türü de çok önemlidir. Bu konuda standartlardaki verilere uyulması gerekir. Bu noktada, konstrüksiyon bürosu ile atölye arasında sıkı bir işbirliği olmasının önemi büyüktür.



### **Kalite Faktörü 6: Çalışma Koşulları, İşyeri Donanımı, İşyeri Denetimi**

Kaynak atölyesi, her bir imalat konusuna uyacak minimum bir donanıma sahip olmalıdır. Donanımın uygunluğu ve fonksiyonlarını yerine getirilmesi garanti altına alınmalı veya muayene edilmelidir. Bundan başka, gerekli emniyet koşullarının yerine getirilmesi gerekir.

### **Kalite Faktörü 7: Kaynaktan Sonraki Isıl İşlemler**

Kaynaktan sonraki ısıl işlem tanımlaması, 3.kalite faktörü olan kaynak yöntemi ile birlikte yapılabilir. Bu durumda parametrelerin tolerans sınırlarının belirlenmesi gerekir. Bu konuda uygun standartları, malzeme tablolarının veya üretici talimatlarının göz önünde bulundurulması gerekir.

### **Kalite Faktörü 8: Muayene**

Bir kaynaklı bağlantının veya kaynaklı yapı elemanının muayenesi, çok farklı durumlarda ortaya çıkabilir. Bir kaynaklı bağlantının dayanımı, bağlantı türüne ve maruz kaldığı zorlama seviyesine bağlıdır. Bu nedenle muayene yöntemi ve muayene ortamı, sadece üretici ile kullanıcı arasındaki veya konstrüksiyon ile imalat arasındaki kaynak dikiş özellikleri için kabul sınırlarını uyumlu olmalıdır. Bu şekilde oluşturulan uyum sonucu, teknik resimlere, kaynak planına, muayene talimatına veya muayene yöntemine göre tespit edilebilir. Görsel kontrol, dış bulguların DIN 8563'e göre TS 7830'a, ISO 5817 veya EN 25817'ye göre kontrolü, tahribatsız muayeneler, basınç deneyi, dayanım deneyi, sızdırmazlık deneyi vs. gibi tüm uygun muayeneler dikkatle yapılmalıdır.

### **Kalite Faktörü 9: Kontrol**

Kontrol deyiminden, bağımsız bir kontrol kuruluşu ve eğitimli personel aracılığıyla yapılan kontrol anlaşılmalıdır. Dokümantasyon, bir yapı elemanındaki tüm kalite güvencesi önlemlerinin sonuçlandırılmasıdır. Bunun çerçevesi müşteri ile ilk başta çizilmelidir. Dokümantasyon görevi konusundaki önlemlerin, çalışma planında muayene planı veya dengi bir planda belirtilmesi unutulmamalıdır.

## **2.2 Kaynağa Yatkinlık / Malzemelerin Kaynak Edilebilirliği**

Malzemenin, kaynak edilebilirliğe etkisi şeklinde tanımlanan kaynağa yatkinlık, yürütülen kaynak yönteminden de etkilenmektedir. Kaynağa yatkinlık tablo 2.1' de gösterildiği gibi üç alt başlıkta incelenebilir.

Tablo 2. 1 Kaynağa yatkınlık [1]

| <b>Kaynağa Yatkınlık</b>   |                              |                            |
|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| <b>Kimyasal Özellikler</b> | <b>Metalürjik Özellikler</b> | <b>Fiziksel Özellikler</b> |
| Sertleşme eğilimi          | Segregasyonlar               | Genleşme davranışı         |
| Yaşlanma hassasiyeti       | İnklüzyonlar                 | Isı iletkenlik             |
| Sıcak çatlama hassasiyeti  | Tane boyutu                  | Ergime noktası             |
| Kaynak banyosu davranışı   | Yapı                         | Mukavemet                  |
|                            | Anizotropi                   | Tokluk                     |

Bir malzemenin kimyasal kompozisyonu ve aynı zamanda metalürjik özellikleri, esas olarak üretimi esnasında ona kazandırılır. Bu iki özellik türü malzemenin fiziksel özellikleri üzerinde çok güçlü bir etkiye sahiptir. Çelik üretim sürecinin adımları, işlenebilir ve kullanılabilir bir malzeme elde etmedeki temel adımlardır. Çeliğin arzu edilen kimyasal kompozisyonu ve metalürjik özellikleri üretimi sırasında elde edilir (örneğin, kimyasal kompozisyon alaşımlama ile metalürjik özellikler ingota dökülmesi ile elde edilir).

Malzeme davranışının bir diğer değişimi ham malzemenin şerit, levha, çubuk ve profil gibi yarı-bitmiş mamule haddelendiği bir sonraki uygulama esnasında meydana gelir. Haddeme prosesi ile birlikte malzemenin tipik dönüşüm, sertleşme ve çökelti oluşturma prosesleri, optimize edilmiş malzeme karakteristiklerini ayarlamak için kullanılır. En önemli alaşım elementlerinin bazı mekanik özelliklere etkisi ile ilgili bir inceleme aşağıdaki tabloda verilmiştir.(Tablo 2.2)

Tablo 2. 2 Önemli alaşım elementlerinin çeliğin bazı mekanik özelliklerine etkisi [1]

|                                      | C | Si        | Mn        | P   | S   | O         | Cr  | Ni | Al |
|--------------------------------------|---|-----------|-----------|-----|-----|-----------|-----|----|----|
| Çekme Mukavemeti                     | + | +         | +         | +   | (-) | +         | +   | +  | +  |
| Sertlik                              | + | +         | +         | +   |     | +         | +   | +  |    |
| Charpy-V tokluğu                     | - | -         | +         | -   | -   | -         | (+) | ++ |    |
| Sıcak çatlama hassasiyeti            |   |           | -         |     | ++  |           |     |    |    |
| Sürünme dayanımı (400 <sup>0</sup> ) | + | (+)       |           | (+) | (+) |           | +   | +  |    |
| Kritik soğuma hızı                   | - | -         | -         |     |     |           | -   | -  |    |
| Segregasyon oluşumu                  | + | ++        | ++        | ++  | +   |           |     |    |    |
| İnklüzyon oluşumu                    |   | +(Mn ile) | +(Si ile) |     | +   | +(Al ile) |     |    | +  |

Karbon miktarının, yumuşak çeliklerin ergitme kaynağına uygunluğu üzerindeki açık önemi tablo 2.3'te tanımlanmıştır. Kusursuz ergitme kaynak edilebilirliği için kılavuz niteliğindeki değer, C miktarının % 0,22'den az olmasıdır. Daha yüksek C miktarında sertleşme tehlikesi vardır ve kaynak ancak ön ve son ısıl işlem gibi özel önlemlerin alınmasıyla mümkün olabilir.

Tablo 2. 3 Karbon miktarının, yumuşak çeliklerin ergitme kaynağına uygunluğu üzerindeki önemi [1]

| Malzeme   | % C miktarı                           | Ergitme kaynak edilebilirliği  |
|---|---------------------------------------|--|
| S185 (St 33) [EN 10 025]  | sınırsız (0,30' a kadar)              | Garanti edilmez, bununla birlikte çoğu zaman düşük C miktarı ile sorun yaşanmaz.   |
| S250GT (St 34), S235JR (St 37)<br>S275JR (St 42) [EN 10 025]                                  | 0,21' e kadar                         | % 0,22 C oranına kadar: İyi kaynak edilebilir (0,5 mm den ince levhalar hariç, özel şartlar altında), P ve S gibi katımsı miktarları da çok fazla olmamalıdır. |
| L235GT (St 35), L375GT (St 45)<br>[Tüp/boru için olan çelikler EN 10 208]                     | 0,17' ye kadar                        |  |
| P235GH (H I), P265GH (H II), P285NH (H III)<br>[Basıncılı tank kons. için çelikler EN 10 028] | 0,22' ye kadar                        |  |
| C10 (C 10), C15 (C 15), C22 (C 22)<br>[EN 10 083]   | 0,18' e kadar<br>(0,24' e kadar)      | -  |
| S355J0 (St 52)  | 0,22' ye kadar ve yüksek Mn ve Si ile | Kaynak edilebilir.   |
| E295 (St 50) Mak. müh. için çelik.  | sınırsız (yaklaşık 0,30)              | Elektrik ark yöntemleri ile sınırlı kaynak edilebilir. İnce levhaların gaz altı kaynağı mümkün değildir.   |
| E355 (St 60), C35 (C 35)  | yaklaşık 0,40                         | Özel elektrotlarla kaynak edilebilir. Çoğu zaman kaynak öncesi ve sonrası ısıtma işlemi gerekir.   |
| E360 (St 70), C45 (C 45)  | yaklaşık 0,50                         | Özel önlemlere rağmen çok sınırlı  |

Ark kaynağında, kaynak metalinin mekanik özelliklerinin ana malzemeninkine yakın seçilmesinin gerekliliği kadar kaynakçı da kaynakta hata oluşumundan kaçınmalıdır. Kusurlar temel olarak aşağıdaki faktörlerden kaynaklanır.

- Kaynakçının teknik yetersizliği
- Malzeme ve kaynak yönteminin birbirine uygun hale getirilmesindeki yetersizlik
- Parçadaki yüksek gerilme durumu

Kaynak edilebilirlik kavramı düşünüldüğünde yaygın olarak kullanılan malzemeler aşağıdaki sınıflara ayrılabilir.

- Çelikler
- Alüminyum ve alaşımları
- Nikel ve alaşımlar
- Bakır ve alaşımları
- Titanyum ve alaşımlar

- Dökme demirler

Ergitme esaslı kaynak yöntemleri bu malzemelerin kaynağında geniş bir kalınlık aralığında kullanılabilir. Kusurlar, kaynak metalinde veya ona komşu ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) meydana gelir. Kaynak metalinin kimyasal kompozisyonunun kusur oluşma riskini belirlediği gibi, dolgu malzemesinin seçimi de sadece yeterli mekanik özelliklerin ve korozyon direncinin başarılmasını değil sağlam bir kaynak yapılabilmesi açısından da çok önemli olabilir. Bununla birlikte ITAB kusurları kaynak esnasında üretilen enerjinin olumsuz etkilerinden kaynaklanabilir ve sadece kaynak prosedürüne sıkı bir şekilde bağlı kalınarak önlenir.

### 2.3 Kaynak İşleminin Uygulanabilirliği

Kaynak işleminin uygulanabilirliği hem malzeme hem de konstrüksiyondan etkilenir. Kaynak işlemi eğer verilen koşullar altında belirli bir işçilik ile yürütülebiliyorsa kaynak olabilirliğinin var olduğu anlaşılır. Konstrüksiyon ve malzemenin özel önlem (örneğin ısı işlem) gereksinimini azaldıkça kaynak işleminin olabilirliği artar. Kaynak işleminin uygulanabilirliği kaynak öncesi hazırlık aşaması, kaynakçının çalışma ortamı, kaynak prosesinde gerekli görüldüğü takdirde yapılan ısı işlemler, parçanın distorsiyonuna karşı alınan önlemler, yüzey ve ağız işlemleri olarak irdelenebilir.

Günümüz endüstrisindeki kaynak işlemlerinin bir kısmı otomobil imalatında olduğu gibi tam ya da yarı otomatik hale gelmiştir. Ancak ağır sanayide ise gerek ürün çeşitliliği gerek birleştirme pozisyonlarının otomatik kaynak makinelerinin ulaşabilirliğine imkân vermemesi sebebiyle otomasyon oranı diğer endüstrilere nazaran daha düşüktür. Bu sebeple, bazı durumlarda otomasyonla verimi artırmak zordur. Otomatik kaynak uygulamalarında, kaynak kalitesinin tekrarlanabilir şekilde elde edilmesi bazı sabit parametreler ile kaynağı yapmaya bağlı iken manuel kaynakta kaynak kalitesi ciddi biçimde kaynakçının yetenek ve tecrübesine bağlıdır.

Ön tavlama, kaynaktan önce ana metalin bütünüyle ya da sadece birleşme bölgesinin etrafının, ön tavlama sıcaklığı olarak adlandırılan bir sıcaklığa kadar ısıtılmasıdır. Ön tavlama pek çok faydalar sağlamanın yanı sıra temel çalışma bilgileri olmaksızın maliyet artışı veya kaynak bütünlüğünün bozulmasına yol açabilir.

Ön tavlama uygulanmasının 4 temel amacı vardır:

1. Kaynak metali ve ana metaldeki soğuma hızının azaltılarak daha yüksek toklukta ve süneklikte metalurjik yapı oluşturması.
2. Soğuma hızının azaltılarak, hidrojenin yapıya zarar vermeden difüze olabilmemesinin sağlanması ve çatlak oluşma riskinin azaltılması
3. Özellikle yüksek mertebede hareketli kısıtlanmış bağlantılarda, kaynak metali ve ona komşu ana metalde kendini çekme gerilmelerinin düşürülmesi
4. Bazı çeliklerin, imalat aşamasında gevrek kırılma olabilecek sıcaklığın üzerine çıkarılması.

Bunlara ilave olarak ön tavlama, kaynak metalinin çentik darbe tokluğu gibi belirli mekanik özelliklerinin sağlanmasına yardımcı olabilir. Ön tavlamanın uygulanması konusunda, şartname koşulları, et kalınlıkları, ana metalin kimyasal durumu, sınırlandırılma durumu, ortam sıcaklığı, dolgu malzemesinin hidrojen içeriği ve çatlama problemleri belirleyici rol oynar.

Puntalama genellikle pek ciddiye alınmadan yapılan bir işlem olmasına rağmen bu durum, AWS standardının ilgili maddeleri 5.18.1 ve 5.18.2 'de açıkça ifade edilmiştir.

İlgili standartlara göre punta dikişinin boyutları, yeri ve adedi seçilmeli, düşük sıcaklık ve malzeme türüne göre ön tavlama sıcaklığı tespit edilmeli ve çatlama karşı önlem alınmalıdır. Tasarım prensibi olarak gerilme yığılma bölgeleri puntalanmaması ve kalın et kalınlıkları puntalanırken simetrik ilerleme sağlanmalıdır. Punta kaynakları, konu ile ilgili ve kalifiye edilmiş köşe ya da alın kaynağı prosedürü kullanılarak kalifiye edilmiş bir kaynakçı tarafından yapılmalıdır.

Kaynakta distorsiyon, kaynak işleminin ısınma ve soğuma döngüsü esnasında kaynak metali ve ona komşu bölgenin genişmesi ve kendini çekmesi sonucu oluşur. Bu ısınma ve soğuma döngüsü esnasında uygulanan ısının etkisi ile değişen fiziksel ve mekanik özellikler gibi birçok faktör metalin kendini çekmesini etkileyerek distorsiyona yol açar. Örneğin, kaynak bölgesinin sıcaklığı arttıkça, ısıl genişleme artarken akma mukavemeti, elastikliği ve ısıl iletkenliği azalır. Tüm bu değişkenler ısı akışını ve ısı dağılımının düzgünlüğünü etkiler.

Kaynak distorsiyonunu azaltmak ya da önlemek için, ısınma ve soğuma döngüsü etkilerini bertaraf edecek önlemler hem tasarım hem de kaynak aşamasında uygulanmalıdır. Kendini çekme engellenemez ancak kontrol edilebilir. Kendini çekme sonucu oluşan distorsiyonu minimuma indirmek için çeşitli metotlar kullanılabilir. Bu metotlardan biri de birleşmenin genişleme ve çekilme serbestliğinin temin edilmesidir. Kaynaklı bir birleştirmede, kaynak metali ve ana metale genişleme ve kendini çekme kuvvetleri etki eder. Kaynak metali ergiyerek ana metal ile birleştiğinde, kaynak metali maksimum genişleme durumuna ulaşmıştır. Soğuma

başladığında, kaynak metali kendisini çekerek küçülme eğilimine girer ancak kendisine komşu ana metal bölgesinde gerilme oluşumu başlar. Bu noktada, kaynak plastik şekil değiştirerek inceler (alın birleştirmelerde) ve böylece düşük sıcaklığın gerektirdiği ölçülere geriler. Akma mukavemetini aşarak plastik şekil değişimine sebep olan gerilmeler bu gerinim ile değer kaybeder. Kaynak oda sıcaklığına ulaştığında, metalin akma mukavemetine yakın çekme gerilmelerinin etkisinde kalmaya devam eder. Eğer sınırlandırmalar ( iş parçasını tutan bağlama aparatları veya zıt yöndeki bir kendini çekme kuvveti ) kaldırılırsa ana metali zorlayarak distorsiyona yol açan kalıntı gerilmeler kısmi olarak giderilmiş olur.

Kaynaklı birleşmeler ile birleştirilen elemanlar arasında gerilme iletiminin sağlanması tasarlanır. Kuvvetler ve yükler farklı noktalardan etkir ve kaynaktan geçerek farklı alanlara taşınır. Yüklemin tipi ve kaynağın kullanım şartları gerekli birleşme tasarımı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Tüm kaynaklı birleştirmelere iki ana gruba ayrılabilir: Tam nüfuziyetli birleştirmeler ve kısmi nüfuziyetli birleştirmeler.

Tam nüfuziyetli bir birleşme, kaynaklı birleşmenin tüm kesiti boyunca kaynak metali içerir. Kısmi nüfuziyetli bir birleşme ise ergiyerek birleşmemiş bölgeye sahiptir ve kaynak birleşmeye tamamıyla nüfuz etmez. Birleşme oranı, kaynak metali derinliğinin tüm birleşmeye yüzde olarak oranıdır. Örneğin, % 50 kısmi nüfuziyetli birleşme, birleşmenin yarısına kadar kaynak metaline sahiptir.

Birleşmeler dinamik yüklemeye, ters yüklemeye ve darbeleri etkilere maruz olduğunda da kaynak yeterli dayanıma sahip olmak zorundadır. Kaynaklı yapı düşük sıcaklıkta çalışmaya maruz ise bu durum daha fazla önem arz eder. Bu gibi servis koşulları tam nüfuziyetli kaynak gerektirir. Kısmi nüfuziyetli birleşme sebebiyle gerilme artışına sebep olan tasarımlar bu tür çalışma koşulları için kabul edilemez niteliktedir. Kaynaklı birleşmenin mukavemeti sadece kaynağın boyutuna değil, kaynak metalinin mukavemetine bağlıdır.

Az karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler kaynak açısından birleştirilen diğer malzemelerden daha elverişlidir. Yüksek alaşımlı veya ısıl işlem görmüş malzemelerin kaynağında, kaynağa komşu ana malzeme bölgesinin düşük dayanım değerlerine geri dönmesine sebep olarak ana malzemenin ısıl işlem üstünlüklerini geçersiz kılmasını engellemek için özel önlemler alınmalıdır. Kaynaklı birleşme, kesit alanı mümkün olan en düşük değere sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. Kesit alanı birleşmeyi gerçekleştirmek için kullanılması gereken kaynak metali miktarı ya da ağırlığının bir ölçüsüdür. Birleşmeler, mekanik olarak kesme, ısıl kesme veya talaşlı işleme yapılarak hazırlanmalıdır.

## 2.4 Kaynak Yöntemi Kaynak Süreksizlik İlişkisi

Bazı kaynak yöntemleri belirli tipteki kaynak süreksizliklerinin oluşumuna karşı daha hassastır ve bazı kaynak süreksizlikleri de sadece birkaç çeşit kaynak yöntemi ile ilgilidir. Aksine bazı kaynak yöntemleri de hemen hemen belirli tip süreksizlikleri hiç içermez. Yaygın kaynak yöntemleri ve onların kaynak kalitesi ile ilgili hassasiyetleri aşağıda incelenmiştir.

Elle elektrik ark kaynağının sınırlamaları 3 kategoriye ayrılır. Ark boyu ile ilgili süreksizlikler, başlama bitirme ile ilgili süreksizlikler ve örtü nemi ile ilgili problemler. Elle elektrik ark kaynağında ark uzunluğunu kaynakçı kontrol eder. Aşırı kısa ark boyları, elektrodun iş parçasına yapışmaya başladığı ark bozulmasına yol açabilir. Elektrot iş parçasından mekanik olarak ayrıldığında eksiklik olan kısmın (yani son çekilen dikişin uç kısmının) sonra çekilecek pasoların ergimesine yardımcı olabilmesi için dikkatli bir şekilde temizlenmesi gerekir. Elektrot iş parçasından ayrıldığında, bir miktar örtü elektrottan kırılarak ayrıldığından elektrot genellikle atılır. Aşırı uzun ark boyları gözeneklilik, yanma oluşu ve aşırı sıçramaya sebep olur. Elle elektrik ark kaynağında kullanılan elektrotların sınırlı boyları sebebiyle, zorunlu olarak birçok başlangıç ve bitiş noktası oluşur. Arkın sona erdiği yerlerde, doldurulmamış kaynak kraterleri, krater çatlamasına sebep olabilir. Düşük hidrojenli elektrotların uygun olmayan şekillerde korunması, hidrojen destekli çatlama, dikiş altı veya enine çatlak oluşumuna yol açabilir.

Özgülü elektrotla ark kaynağında da diğer gaz korumalı yöntemlerde olduğu gibi yığılan kaynak dolgununun çevresinin gazla korunması önemlidir. Eğer özgülü elektrot ark kaynağında gaz koruması rüzgar, fan veya duman emme sistemi tarafından bozulursa gözeneklilik meydana gelebilir. Özgülü elektrot ark kaynağının derin nüfuziyet karakteristikleri genellikle avantaj sağlar, ancak aşırı nüfuziyet, kaynak dikiş kesitinde düşük genişlik/derinlik oranı oluşturduğundan dikiş ortası çatlamasına yol açabilir. Aşırı fazla ark gerilimi veya uygun olmayan şekilde kısa serbest elektrot uzunluğu özgülü elektrotla kendinden korumalı ark kaynağında gözenekliliğe yol açabilir. Gereğinden yüksek gerilim kullanıldığında koruma gereksinimi de artar ancak koruma miktarı halihazırda sabit (sınırlı) olduğundan gözeneklilik ortaya çıkabilir. Serbest elektrot uzunluğu çok kısa olduğunda elektrotun özündeki bileşenlerin arka girmeden (yanmadan) önce kimyasal olarak görevlerini yerine getirebilmeleri için yeterli zaman olmayabilir. Bu durum da gözenekliliğe sebep olur. Bazı kendinden korumalı özgülü elektrot ark kaynağı elektrotlarının son derece yüksek yığılma oranı yetenekleri buna karşılık gelen bir ilerleme hızı ile dengelenemediği takdirde, ergimede azlığa yol açan aşırı geniş kaynak dikişleri ile sonuçlanan kaynak metalinin yığılması olasıdır.



Tozaltı ark kaynağı elektrotun hizalanması konusunda hassastır. Olması gereken yerden kaçık dikişler uygun olmayan dikiş yerleşimi sebebiyle meydana gelebilir. Tozaltı yönteminin derin nüfuziyeti, dikiş kesitinde (enine kesit) uygun olmayan genişlik/derinlik oranına sebep olduğundan dikişte boylamasına çatlama sebepleri olabilir.

Katı elektrotlar ve özellikle zor pozisyonda kaynakta kullanıldığından çoğu kez kısa ark iletimi kullanılır. Bu olay direk olarak; kaynak metali ve ana metal arasında tam ( bütün ) ergimenin elde edilemediği koşul olan soğuk yapılmaya yol açabilir. Bu, gazaltı kaynak prosesinin en büyük sorunlarından biridir ve ön kalifiye edilmiş durumda AWS D1.1 tarafından uygulanmasının sınırlandırılmasının sebeplerinden biridir. Tüm gaz korumalı yöntemlerde olduğu gibi, gazaltı kaynağı da gaz koruması kaybına karşı hassastır.

## **2.5 Kaynak Parametreleri Kaynak Kalite İlişkisi**

Kaynak değişkenlerinin kaynak kalitesi üzerindeki etkileri bir dereceye kadar kullanılmakta olan kaynak yöntemine bağlıdır. Ancak genel eğilimler tüm yöntemler için geçerlidir.

Isı girdisinin tespitindeki temel değişkenlerden biri elektrottan iş parçasına geçen akım miktarıdır. Genellikle akımdaki artış, daha yüksek yığılma oranı, daha derin nüfuziyet ve daha iyi bir karışma anlamına gelir. Akım, ısı girdisi ve akım yoğunluğu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Sabit gerilimli kaynak için, tel besleme hızındaki bir artış direkt olarak akımı artırır. Elle elektrik ark kaynağı için, kaynakçı tarafından kontrol edilen ark uzunluğundaki değişiklikler, akımı ayrıca değiştirecekse de asıl akımı kaynak makinesinin ayarı tespit eder. Artan ark boyu akımı düşürür.

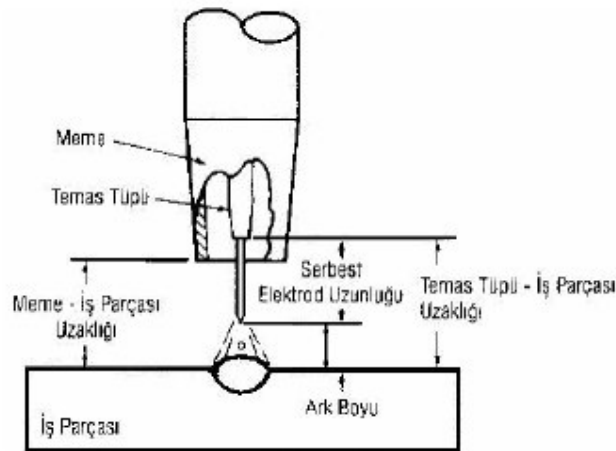
Ark gerilimi direkt olarak ark uzunluğu ile ilgilidir. Gerilim artınca, ark uzunluğu artar, arkın korunması ihtiyacı da artar. Sabit gerilimli kaynak için, gerilim esas olarak makine ayarları tarafından belirlenir. Bu yüzden sabit gerilimli kaynakta ark uzunluğu göreceli olarak sabittir. Elle elektrik ark kaynağı için ark gerilimi, kaynakçı tarafından manipüle edilen ark uzunluğu tarafından belirlenir. Elle elektrik ark kaynağından ark uzunluğu artarsa, ark gerilimi artar ve akım azalır. Ark gerilimi kaynak dikiş genişliğini de kontrol eder. Artan ark gerilimi ile daha geniş dikişler oluşur. Ark gerilimi, ısı girdisi hesabında direkt bir etkiye sahiptir. Bir kaynak devresindeki gerilim sabit değildir ancak gerilim değerlerinin toplamından oluşur. Örneğin 40 voltluk bir toplama sistem gerilimi dağıtan bir güç kaynağı göz önüne alalım. Güç kaynağı ve kaynak torcu arasında, kablo direnci sebebiyle yaklaşık 3 voltluk gerilim düşüşü vardır. İş parçasının güç kaynağına bağlandığı noktada 7 voltluk ilave bir düşüş daha yaşanır. Başlangıç geriliminden 10 volt düşülmesiyle ark için 30 volt kalır.

Ark gerilimini tespit etmenin en doğru yolu, temas ucu ve iş parçası arasındaki gerilim düşüşünün ölçülmesidir. Elle elektrik ark kaynağında, voltaj sürekli olarak değişir ve sadece kaynakçı tarafından kontrol edilir. En iyi kaynak kalitesi için ark uzunluğu kısa tutulmalıdır.

İlerleme hızı elektrodun yapılan birleştirmeye göre bağlı hareketinin oranı olan bu hız, mm/dk olarak ölçülmektedir. Diğer tüm değişkenler sabit olduğunda, ilerleme hızı ile dikiş ölçüleri arasında bir ters orantı söz konusudur. İlerleme hızı arttığında kaynak dikişinin ölçüleri azalır. Özellikle düşük ilerleme hızlarında; ark kalın bir ergimiş metal tabakasına çarptığından ve ergimiş kaynak banyosu arkın önünde yuvarlandığından, yetersiz nüfuziyet meydana gelebilir. İlerleme hızı, ısı girdisinin hesaplanmasında kullanılan temel değişkenlerden biridir. İlerleme hızının azalması ısı girdisini artırır.

Tel besleme hızı, torcun içinden geçen ve arka verilen elektrot miktarının ölçüsüdür. Genellikle mm /dk olarak ölçülen tel besleme hızı yığma oranı ile direk t orantılı ve akım ile doğrudan ilgilidir. Diğer tüm kaynak parametreleri ( elektrot çapı, tipi, serbest elektrot uzunluğu, ark gerilimi) sabit tutulduğunda, tel besleme hızındaki artış direkt olarak akımda bir artışa sebep olur. Düşük tel besleme hızları için, tel besleme hızının akıma oranı göreceli olarak sabittir ve lineerdir. Daha yüksek tel besleme hızlarında, akımdaki artışa nazaran tel besleme hızını orantısız olarak yüksek bir şekilde arttırmak mümkündür. Bu koşullar mevcut olduğunda, amper başına yığma oranı artar ancak nüfuziyet azalır.

Serbest elektrod uzunluğu temas ucundan elektrotun ucuna kadar olan mesafedir. Sadece tel beslemeli sistemlerde mevcuttur. Gazaltı kaynağında kullanılan terimler şekil 2.1'de belirtilmiştir.



Şekil 2. 1Gazaltı kaynağında kullanılan terimler (Blodgett, 1999)

Sabit gerilimli bir sistemde, serbest elektrot uzunluğu arttığında, elektrodun elektriksel direnci artar. Bu durum elektrodun ısınmasına yol açar. Direnç ısıtması ya da “  $I^2.R$  ” ısıtması olarak bilinen bu ısı arttıkça elektrodu eritmek için gerekli ark enerjisi azalır. Yüksek serbest elektrot uzunluğu değerleri, belirli akım miktarında daha yüksek yığılma oranlarına ulaşmak için kullanılabilir. Tel besleme hızında herhangi bir değişme olmaksızın serbest elektrot uzunluğu arttığında akım düşer. Bu durum daha az nüfuziyet ve daha az karışım ile sonuçlanır. Sabit gerilimli sistemlerde, akımın sabit kalması için aynı anda serbest elektrot uzunluğu ve tel besleme hızını dengeli bir şekilde arttırmak mümkündür. Bu yapıldığında daha yüksek yığılma oranlarına ulaşılabilir. Gerilim ve ilerleme hızı gibi diğer kaynak değişkenleri, stabil bir ark ve kaliteli kaynak elde etmek için uygun değerlere ayarlanmak zorundadır.

Kalın elektrotlar, ince elektrotlara nazaran daha yüksek akım taşıyabilirler. Sabit bir akım değeri için, ince elektrotlar daha yüksek yığılma oranı sağlarlar. Bunun sebebi ileriki kısımlarda incelenmiş olan akım yoğunluğunun etkisidir.

Kutuplama akım geçişinin yönünün tarif eden bir tanımdır. Pozitif kutuplama ( ters kutuplama), elektrot; doğru akımlı güç kaynağının pozitif kutbuna bağlandığında meydana gelir. Negatif kutuplamada (düz kutuplama) ise elektrot, güç kaynağının negatif kutbuna bağlıdır. Alternatif akım durumunda ise elektrot sırasıyla pozitif ve negatif olur. Toz altı kaynak yöntemi, aynı elektrodun ya pozitif ya da negatif kutuplanarak yaygın bir şekilde kullanıldığı tek yöntemdir. Sabit bir tel besleme hızı için toz altı elektrodu, pozitif kutuplamada negatif kutuplamadakine daha fazla akım gerektirir. Sabit bir akım içinse negatif kutuplama ile pozitif kutuplamaya nazaran daha yüksek tel besleme hızları ve yığılma oranları kullanmak mümkündür. Alternatif akım, pozitif ve negatif kutuplama özelliklerinin her ikisinin bir karışımını gösterir ve ark üflemesine daha az eğilimlidir.

Ark kaynağında, enerji elektrottan ana malzemeye elektrik arkı vasıtasıyla iletilir. Kaynakçı arkı başlattığında, hem ana malzeme hem de dolgu malzemesi kaynağı oluşturmak için erir. Bu ergime, belirli miktar enerji ( birim zamanda transfer edilen enerji ) ve elektroda uygulanan enerji yoğunluğunda mümkün olur.

Isı girdisi genellikle, gücün (örneğin akım ile gerilimin çarpımı) ısı kaynağının (örneğin kaynak arkı) hızına oranı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Q_{\text{ısı}} = \frac{60.V.I}{1000.S} \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte,

$Q_{ısı} =$  Isı girdisi (kJ/mm)

$V =$  Ark gerilimi (volt)

$I =$  Akım (amper)

$S =$  İlerleme hızını (mm/dk) göstermektedir.

Bu eşitlik verilen bir yöntem için kaynak şartnamelerini kıyaslamada son derece uygundur. Bununla birlikte ısı girdisi, ısı iletim verimliliği gibi ilave bilgiler mevcut olmadan farklı yöntemlerin ( örneğin elle elektrik ark kaynağı ve gaz altı kaynağı ) kıyaslanması için mutlak olarak uygulanabilir değildir.

Bir kaynağın kesit alanı genellikle ısı girdi miktarı ile orantılıdır. Bu durum sezgisel olarak insan da bir kanı oluşturur çünkü arka daha fazla enerji uygulandığında birim uzunluk başına ilave ve ana malzemeden daha fazla ergir ve bu durum daha geniş bir kaynak dikişi ile sonuçlanır. Eğer bir kaynakçı aynı kaynağı yüksek ve düşük ilerleme hızı ile aynı akım ve gerilim değeri ile yaparsa düşük ilerleme hızı ile yapılandan daha geniş olacaktır. Aşağıdaki eşitlik, köşe kaynağının dik kenar uzunluğunun ısı girdisine bağlı olarak yaklaşık bir hesabıdır;

$$w = \frac{Q_{ısı}}{500} \quad (2.2)$$

Burada,

$W =$  Köşe kaynağı dik kenar uzunluğu (mm)

$Q_{ısı} =$  Isı girdisini (kJ/mm) tanımlamaktadır.

Isı girdisi ve köşe kaynağı boyutu arasındaki bu hassas ilişkinin yanı sıra, yöntem ve kutuplamayı içeren diğer değişkenler de kaynak boyutunu etkiler, bu eşitlik özellikle kaynak şartnamelerinin oluşturulması ve gözden geçirilmesinde yardımcı bir araçtır. Örneğin, bir minimum köşe kaynak boyutu tanımlandığında buna karşılık gelen ısı girdisi belirlenebilir ve kontrol edilebilir.

Isı girdisinin soğuma hızı üzerindeki etkisi ön tavlama sıcaklığının etkisine benzer. Verilen bir ana metal kalınlığı için, ısı girdisi veya ön tavlama sıcaklığı arttığında soğuma hızı azalır. Bu ise yüksek karbonlu malzemelerdeki martenzit oluşma eğilimini, dolayısıyla çatlama riskini ve çarpılma şiddetini azaltır. Bu iki değişken ( ısı girdisi ve ön tavlama sıcaklığı), soğuma hızını etkileyen malzeme kalınlığı, özgül ısı, yoğunluk ve ısı iletkenlik gibi diğer değişkenler ile etkileşim halindedir. Aşağıdaki orantı bağıntısı, ön tavlama sıcaklığı, ısı girdisi ve soğuma hızı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

$$R_s \propto \frac{1}{T_v Q_{ısı}} \quad (2.3)$$

Bu bağıntıda,

$R_s$ = Soğuma hızı ( $^{\circ}\text{C}/\text{saniye}$ )

$T_v$ = Ön tavlama sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$Q_{ısı}$ =Isı girdisi (kJ /mm) ni temsil etmektedir.

Soğuma hızı, kaynağın ve ısıdan etkilenmiş bölgenin nihai metalurjik yapısını belirleyen ana faktörlerden birisidir ve özellikle ısı işlem uygulanmış çelikler için önemlidir. Örneğin, su verilmiş ve temperlenmiş çeliklerin kaynağında, düşük soğuma hızları (yüksek ısı girdisinden kaynaklanan), kaynağa yakın bölgedeki malzemeyi yumuşatabilir ve bağlantının yük taşıma kabiliyetini azaltır.

Isı girdisinin değişimi genellikle kaynağın malzeme özelliklerini etkiler. Tabloda listelenmiş özelliklerin artan ısı girdisi ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Yukarı ok, artan ısı girdisi ile özellikteki artışı, aşağı ok ise artan ısı girdisi ile özellikteki azalışı göstermektedir. Okun yanındaki sayı, test edilen ısı girdisinin maksimum ve minimum değeri arasındaki yaklaşık değişimi göstermektedir (Tablo 2.4).

Tablo 2. 4 Elle elektrik ark kaynağı için malzeme özelliklerinin artan ısı girdisi ile değişimi (Funderburg, 1999)

| Özellik (15-110 kJ/inç lik ısı girdisinde yapılan elle elektrik ark kaynağı) | Değişim   |
|--|---|
| Akma mukavemeti  | ↓ 30 %  |
| Çekme mukavemeti   | ↓ 10 %  |
| Yüzde uzama  | ↑ 10 %  |
| Çentik tokluğu   | ↑ 10 %, 15<Q<50 kJ/inç için<br>↓ 50 %, 50<Q<110 kJ/inç için |
| Sertlik  | ↓ 10 %  |

Çentik tokluğu dışındaki diğer mekanik özellikler ısı girdisi ile mekanik özelliğin ısı girdisindeki artışa karşılık sadece artması ya da azalması şeklinde bir tekdüze ilişki içerisindedir. Buna karşılık, çentik tokluğu, ısı girdisindeki artışa karşılık az bir artış ve ciddi miktarda bir azalma göstermektedir. Çentik tokluğundaki değişim sadece ısı girdisine bağlanmaz ve kaynak dikiş boyutundan önemli ölçüde etkilenmektedir. Dikiş boyutu arttığında ki bu artış daha yüksek bir ısı girdisi demektir, çentik tokluğu azalma eğilimindedir. Çok

pasolu kaynakta, her paso altındaki kaynak metalini temperlediğinden bir önceki kaynak pasosunun bir kısmı yenilenmiş olur ve tokluk gelişmiş olur. Diğer faktörler aynı olduğunda, dikişler daha küçük olursa daha fazla yenilenmesi meydana gelir ve daha iyi bir çentik tokluğu elde edilir.

Isı girdisindeki değişimler yukarıdaki tablodakinin aksine göreceli olarak küçükse mekanik özelliklerde önemli bir değişiklik olmaz. Sonuç olarak, kaynaklı konstrüksiyonlarda yüksek kalite temini için, çentik tokluğunun ve ITAB özelliklerinin kontrol edilmesi gerektiğinde ve yüksek alaşımli çeliklerin kaynağı durumunda yukarıda anlatılan prensiplerin anlatılması ve uygulanması önem arz etmektedir.

Pasolar arası sıcaklık genel olarak ana metaldeki çatlama hassasiyetini kontrol etmede kullanılır. Kaynak metali özellikleri ile ilgili olarak, çoğu C-Mn-Si içeren çelikler için orta derecedeki bir pasolar arası sıcaklık yeterli bir çentik darbe tokluğu gelişimine yardımcı olur. Ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklık  $290^0$  C 'den fazla ise çentik darbe tokluğu negatif etkilenir. Ana malzeme çok az bir ön ısıtma gördüğünde ya da hiç görmediğinde meydana gelen hızlı soğuma, çentik darbe tokluğunda bir gerilemeye de sebep olabilir Bu yüzden ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklığın dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi gerekir

## 2.6 Kaynak Sonrası İşlemler

Kaynak işleminin tamamlanmasının ardından kaynağın amaca uygunluğunun sağlanması, yapısal bütünlüğünün korunması ve beklenen mekanik özelliklerin temini için bir takım işlemler yapılması gerekebilir.

İçyapıdaki dönüşümler sonucu sertlikte artış, ısıl genleşme ve kendini çekme neticesinde meydana gelen gerilmeler ve hareket imkanının kısıtlanması sebebiyle bu gerilmelerin sebep olduğu çarpılma ve şekil bozuklukları kaynak kalitesini olumsuz etkiler. Kaynaklı yapının bu tür olumsuz özelliklerden arındırılarak kendisinden beklenen nitelikleri karşılayabilecek kapasiteye getirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple yürütülen faaliyetler genel olarak üç başlıkta toplanır.

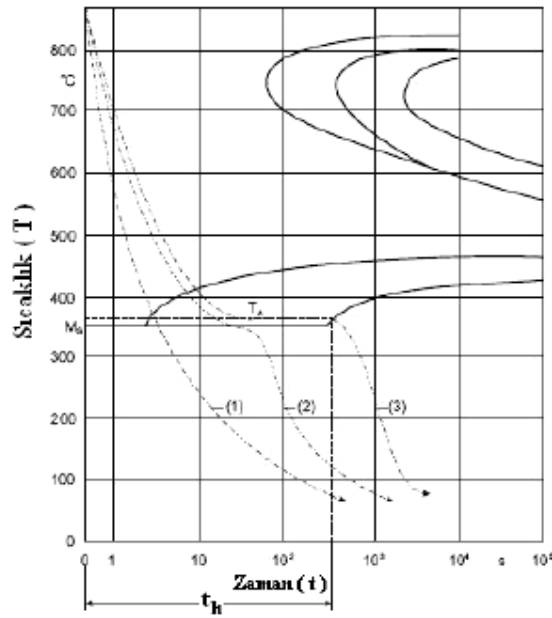
1. Isıl işlemler
2. Gerilme giderme işlemleri
3. Şekil bozukluklarının giderilmesi

### 2.6.1 Isıl İşlemler

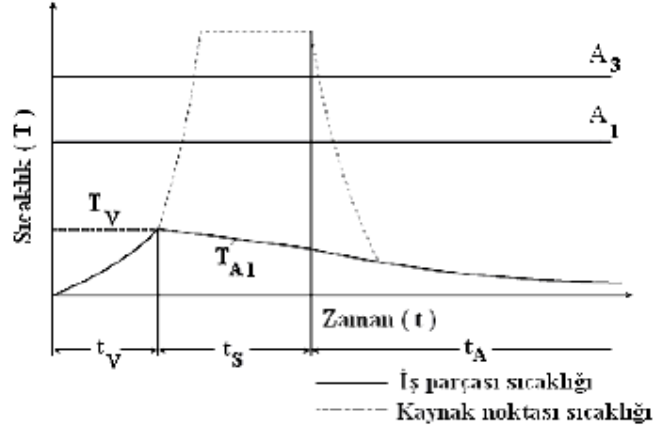
Kaynakla ilgili ısıl işlemler, kaynak öncesi, kaynak esnasında ve kaynak sonrası olmak üzere 3 gruba ayrılır.

Normalde gerilim giderme veya normalizasyon ısıl işlemi, kaynaktan önce kaynağa uygun malzeme özelliklerinin sağlanması için yapılır. Kaynak sonrası ısıl işlem ise iş parçası boyutları, şekilleri ve maliyet artışıyla sınırlanır. Özellikle yüksek mukavemetli ince taneli çelikler ve örneğin belirli saldırgan ortamlara karşı korozyon direnci gibi özel kalite beklenen yüksek alaşımlı malzemelerde kaynak sonrası ısıl işlem uygulaması büyük öneme sahiptir.

Şekil 2.2'de 1 numaralı soğuma eğrisi, ön tavlamasız kaynağı, 2 numaralı soğuma eğrisi  $380^{\circ}\text{C}$ 'de ve bu sıcaklıkta bekleme olmaksızın yapılan ön tavlmalı kaynağı, 3 numaralı soğuma eğrisi  $380^{\circ}\text{C}$ 'de ve bu yaklaşık 10 dk. beklenecek yapılan ön tavlmalı kaynağı göstermektedir.  $T_A$ , bekleme sıcaklığını,  $t_h$ , bekleme süresini ve  $M_s$ ' de martenzit oluşumu başlangıç sıcaklığını göstermektedir. En hızlı soğuma, ön tavlama olmaksızın yapılan kaynak sonucu oluşur, esas olarak martenzit olan yapı çok az miktarda beynit içerir (1 nolu eğri). Kaynak öncesi bekleme süresi olmaksızın yapılan basit bir ön tavlama soğuma hızını 2 nolu eğrideki gibi azaltır. Oluşan martenzitin azalmasına bağlı olarak sertlik de azalır. Eğer malzeme kaynak esnasında, martenzit oluşum sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta bir süre tutulursa (3 nolu eğri), martenzit oluşumu tamamen önlenmiş olur.[2]



Şekil 2. 2 Tavlama sıcaklıkları ve soğuma hızları arasındaki ilişki [2]



Şekil 2. 3 Basit ön tavlama ile yapılan kaynak [2]

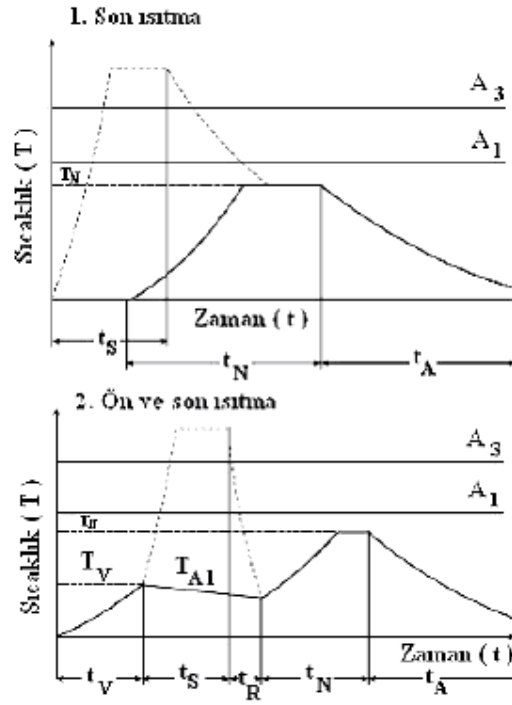
|          |                       |       |                                |
|----------|-----------------------|-------|--------------------------------|
| $T_V$    | :Ön tavlama sıcaklığı | $t_s$ | :Kaynak zamanı                 |
| $T_{A1}$ | :Çalışma sıcaklığı    | $t_A$ | :Oda sıcaklığına soğuma zamanı |
| $t_v$    | :Ön tavlama zamanı    |       |                                |

$t_s$  kaynak zamanı içerisinde, çalışma sıcaklığı  $T_{A1}$ 'de bir düşüş meydana gelir. Daha sonra havada soğuma periyodu başlar ve soğuma hızının düşük tutulabilmesi için ısı yalıtım malzemelerin ile kaplama yapılabilir.

Şekil 2.4'te kaynak sonrası sıcak tutuma uygulamasındaki sıcaklık- zaman diyagramı görülmektedir. Bu şekilde kullanılan simgeler aşağıda açıklanmıştır.

|          |                        |       |                                |
|----------|------------------------|-------|--------------------------------|
| $T_V$    | :Ön tavlama sıcaklığı  | $t_s$ | :Kaynak zamanı                 |
| $T_{A1}$ | :Çalışma sıcaklığı     | $t_A$ | :Oda sıcaklığına soğuma zamanı |
| $t_v$    | :Ön tavlama zamanı     | $t_N$ | :Son tavlama zamanı            |
| $T_N$    | :Son tavlama sıcaklığı | $t_R$ | :Bekleme zamanı                |



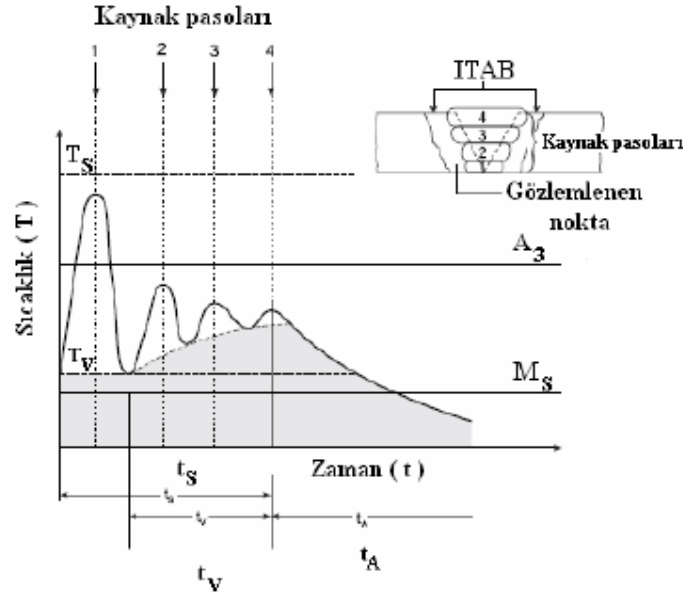


Şekil 2. 4 Ön ve son tavlama kaynak [2]

Bu tür bir uygulama, oksii-asetilen torcu ile bölgesel ısıtma yapılarak kolayca ulaşılabilir. Bu yolla bazı çeliklerin tokluk özellikleri önemli ölçüde geliştirilebilir. Bu şekilde alttaki çizim ise kaynak öncesi ve sonrası ısı uygulamasının bir arada yapılmasını göstermektedir. Bu şekilde bir uygulama; çalışma sıcaklığından direkt olarak soğuduklarında kaynak öncesi basit tavlama rağmen yüksek sertleşme ve çatlama riski giderilmeyen çeliklerde kullanılır. Bu hassasiyete sahip malzemeler, kaynaktan sonra ara verilmeksizin  $600^0-700^0C$  arasındaki bir sıcaklıkta ısıtmaya tabi tutulurlar. Böylece martenzit oluşu önlenmiş ve kaynak sonrası kalıntı gerilmeler eş zamanlı olarak giderilmiş olur.

Şekil 2.5’de çok pasolu kaynakta sıcaklık dağılımı görülmektedir

|       |                              |       |   |
|-------|------------------------------|-------|---|
| $T_V$ | :Ön tavlama sıcaklığı        | $t_S$ | :Kaynak zamanı                          |
| $T_S$ | :Malzemenin ergime sıcaklığı | $t_A$ | :Oda sıcaklığına soğuma zamanı          |
| $t_V$ | :Ön tavlama zamanı           | $M_s$ | :Martenzit dönüşümü başlangıç sıcaklığı |
| $A_3$ | :Üst dönüşüm sıcaklığı       |       |   |



Şekil 2. 5 Çok pasolu kaynakta sıcaklığın zamana bağlı değişimi [2]

Sürekli eğri, ilk pasoda ITAB'daki bir noktanın sıcaklığının zaman göre değişimini göstermektedir. Kök paso ön ısıtma uygulanmadan yapılmıştır. Sonraki pasolar belirli bir sıcaklık değerinin altına soğuma olmasına fırsat verilmeden çekilmiştir. Sonuç olarak çalışma sıcaklığı, artan paso sayısı ile doğru orantılı olarak artmıştır. İkinci paso martenzit oluşum sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta ön ısıtma etkisi altında yapılmıştır. İş parçasında absorbe edilen ısı, kaynağın üst pasoları üzerinde ön ısı etkisi yaratmıştır. Kök paso da üzerindeki pasoların tavlama etkisiyle ısı işleme maruz kalmıştır. Son pasonun kaynağında, ön tavlama sıcaklığı kritik soğuma hızının aşlamayacağı kadar yüksek bir seviyeye ulaşmıştır. Çok pasolu kaynağın en önemli faydası her pasonun ITAB'ının yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerine ısıtılması ve kristalleşme etkilerinin giderilmesidir. Böylece, kaba taneli bölgenin ve bunun getirdiği istenmeyen özelliklerin sadece son pasonun ITAB'ında kalması sağlanmış olur.

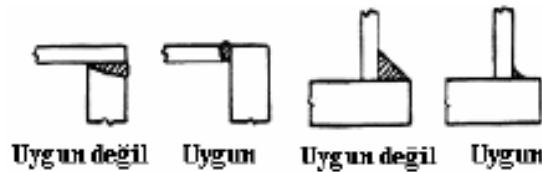
## 2.7 Kaynak Emniyeti

Eğer kullanılan malzeme ile konstrüksiyonun gerektirdiği özelliklere karşılık veren, geçerli bir kaynaklı bileşen elde ediliyorsa kaynak emniyeti sağlanmıştır. Kaynak emniyeti; konstrüksiyondan ve bileşenin sonraki kullanımları esnasında ortaya çıkacak gerilmelerden etkilenir. Bileşenin maruz kalacağı gerilmenin tipi ve miktarı önemlidir. Yüksek gerilme yüklenme kapasitesine sahip bir malzeme, kaynak hataları oluşturmaksızın kontrollü bir şekilde kaynak edildiğinde, uygun olmayan bir konstrüksiyon bile uzun bir çalışma ömrünün gerçekleştirebilir.

### 2.7.1 Tasarım

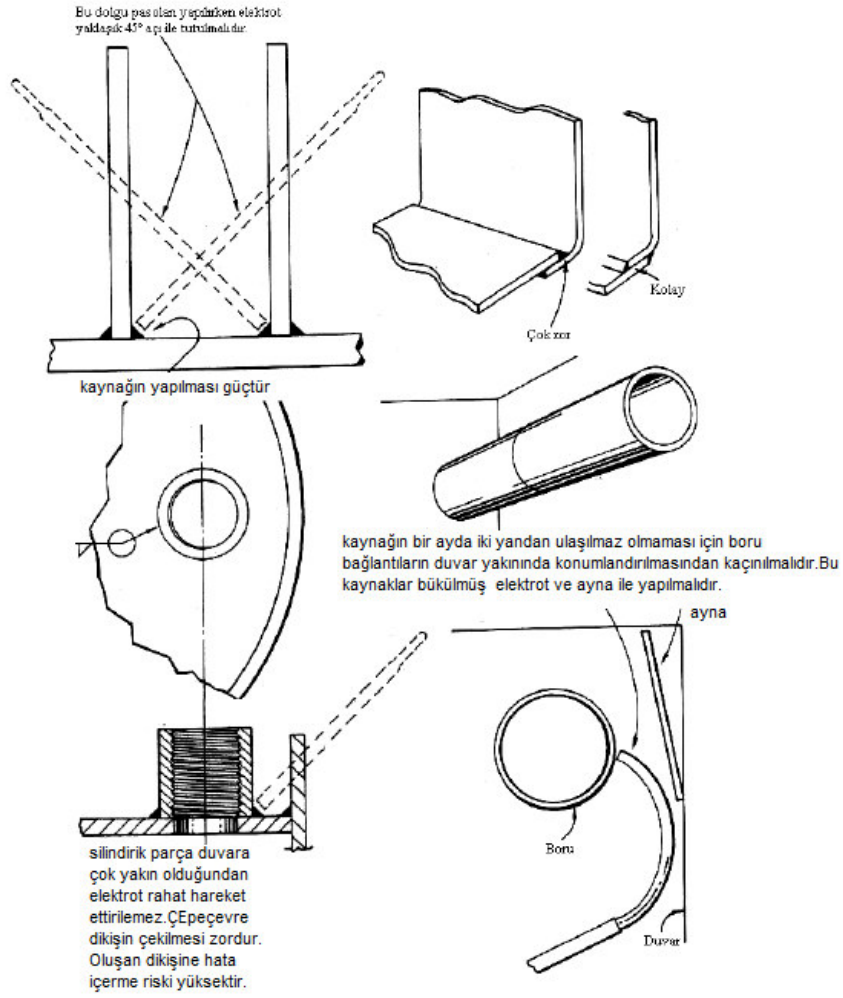
Kaynaklı birleştirme, birleştirilen parçalar ve mevcut yapı arasındaki gerilme aktarımını sağlamaya hizmet eder. Farklı noktalara etkiyen kuvvetler ve yükler, kaynak bölgesinden geçerek farklı alanlara taşınır. Kaynaklı bağlantının yükleme ve çalışma koşulları, onun tasarımını etkiler. Kaynaklı bağlantılar öncelikli olarak çalışmak zorunda oldukları koşulların gerektirdiği mukavemet ve emniyeti karşılayacak şekilde tasarlanır. Tasarım yapılırken çalışma esnasında uygulanacak çekme, eğilme veya burulma gibi gerilmeler göz önünde bulundurulmak zorundadır. Yüklemin statik veya dinamik oluşu ve ayrıca yorulma da düşünülüyorsa farklı tasarımlar gerekebilir. Bağlantılar, gerilme yığılmaları oluşturmayacak ya da azaltacak ve bir optimum gerilme aktarımı elde dileyen şekilde tasarlanmalıdır. Erozyon ya da korozyona maruz kalacak bağlantılar, düzensizlik, yarıklar, çatlak ve bağlantıyı bu tür etkilere karşı hassaslaştıracak bölgeler içermeyecek şekilde yapılmalıdır. Tasarımda göz önüne alınacak faktörler, distorsiyonun ve kendini çekme çatlama kontrolü, iyi bir işçiliğin kolaylaştırılması ve kusursuz kaynaklar yapılmasında büyük öneme sahiptir. Yapım aşamasındaki ulaşılabilirlik sadece maliyetlerin düşürülmesini sağlamaz, aynı zamanda daha iyi işçilik, hataların azalmasını, distorsiyon ve kalıntı gerilmeleri kontrolünü de sağlar.

Bir kaynağın mukavemeti için en önemli kriter birleşme nüfuziyeti derecesidir. Tasarım yapılırken, istenen derecede birleşme nüfuziyeti ile sonuçlanan birleşme tasarımı seçilmelidir. Mukavemetin yanı sıra ekonomiklik de tasarımda önem arz eden bir diğer parametredir. Buna göre ideal kaynaklı bağlantı, maruz kaldığı yükü tatmin edici bir emniyet payı ile taşıırken hala minimum maliyetle imal edilebilir. Genellikle, belirlenen birleştirme ve kaynak tipleri, gereksiz maliyetten kaçınmak için en az miktarda dolgu malzemesi gerektirmelidir. Birleştirme; kaynak boyutunu, daha fazla kaynak metali gerektiren daha kalın elemanınkine eşleyerek daha mukavemetli yapılamaz. (Şekil 2.6)



Şekil 2. 6 Kaynak boyutunun tespit edilmesi (Nippes, 1983)

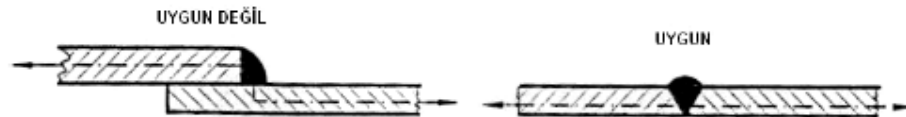
Bir kaynağın tasarımındaki önemli bir faktörde kaynak edilecek parçalara ulaşılabilirliğidir. Kaynakçı kaynağı yaparken elektrotu hareket ettirebilmek için bir boşluğa ihtiyaç duyar. Şekil 2.7 'de yapılması genellikle zor olan bağlantı yerleşim örneklerini göstermektedir.



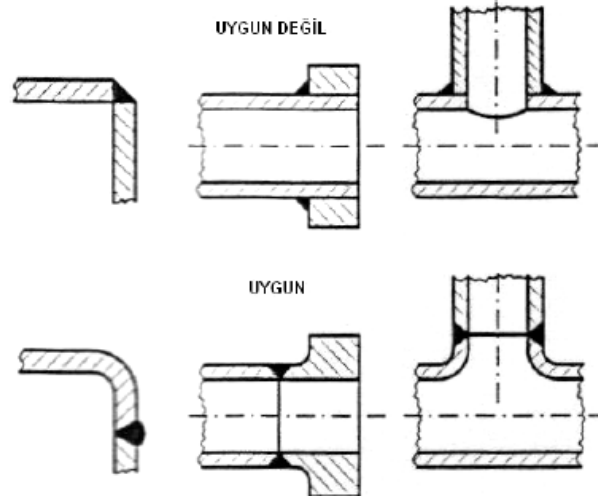
Şekil 2. 7 Tasarımın ulaşılabilirlik üzerindeki etkisi (Nippes,1983)

Tüm bu sayılan hususlar göz önüne alındığında, kaynaklı bağlantıların tasarımında dikkat edilmesi gereken noktaları şu şekilde sıralayabiliriz.

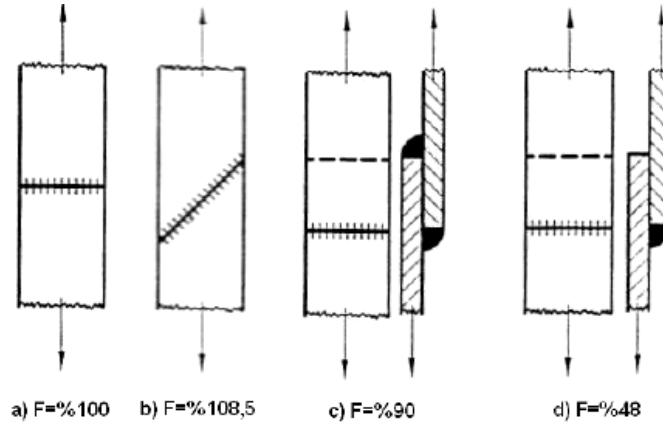
1. Kuvvet çizgileri kaynak dikişi içinde yön değiştirmemelidir. Örneğin alın kaynağı yerine bindirme kaynağı kullanılırsa, kayma gerilmesi oluşacağından dikişi kesiti fazla zorlanır ve taşıma kapasitesi düşer (şekil 2.8, 2.9, 3.10). Şekil 2.10' da kaynak dikişinin yük taşıma durumları gösterilmiştir.



Şekil 2. 8 Bindirme kaynağının dayanım üzerindeki olumsuz (Cürgül, 2001)

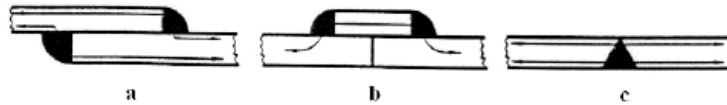


Şekil 2. 9 Kaynak dikişi kuvvetin yön değiştirme bölgesinde olmamalıdır (Cürgül, 2001)

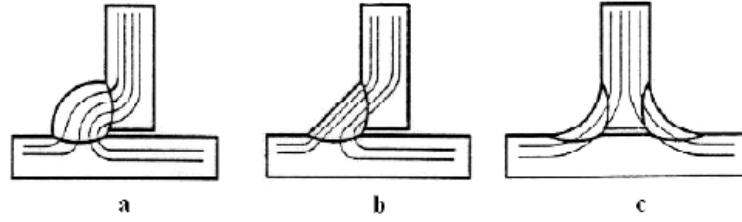


Şekil 2. 10 Kaynak dikişlerinin yük taşıma kapasiteleri (Cürgül, 2001)

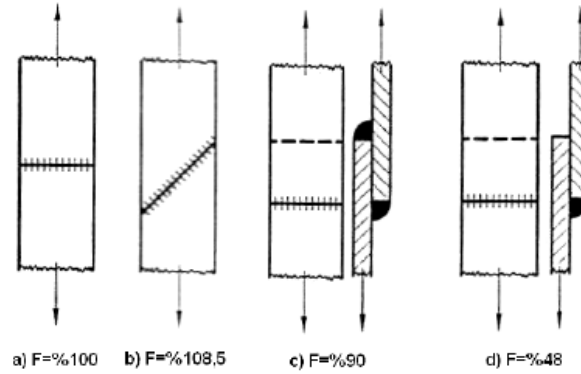
2. Kaynak dikişlerinde kuvvet akış çizgilerinin düzgün olmasına dikkat edilmelidir. Buna göre alın kaynağı (Şekil 2.11,c), bindirme kaynağına (Şekil 2.11 a,b), köşe kaynağında oyuk köşe dikişi ( 2.12,c) düz köşe dikişine (Şekil 2.12,b) ve bu da bombeli köşe dikişine (Şekil 2.12,a) tercih edilmelidir.



Şekil 2. 11 Kaynak dikişi içinde kuvvet akış çizgileri (Cürgül, 2001)

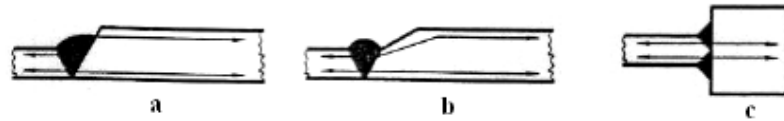


Şekil 2. 12 Kuvvet akış çizgilerinin kaynak dikişindeki dağılımı (Cürgül, 2001)



Şekil 2. 13 Kaynak dikişlerinin yük taşıma kapasiteleri (Cürgül, 2001)

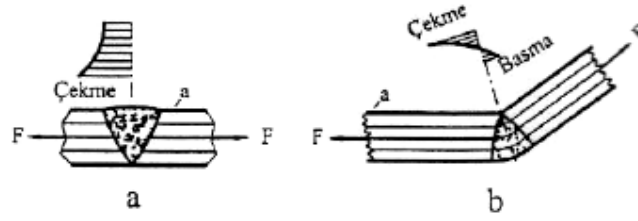
3. Birbirinden farklı kalınlıktaki iki parçanın alın kaynağında, kalın olan parça kaynak dikişine doğru küçük bir eğimle inceltilerek, kaynak bölgesinde kalınlık değişiminin kademe şeklinde keskin olmaması sağlanmalıdır (şekil 2.14, a ve b) veya ince olan parçanın her iki tarafı kaynak edilmelidir. (şekil 2.14, c). Kaynak bölgesinde ani kalınlık değişimi, mukavemet bakımından sakıncalı olup çentik etkisini artırır. Özellikle dinamik yük etkisinde bu durum daha büyük öneme sahiptir. Farklı kalınlıktaki sacların alın kaynağında; kalın sac, ince sac kalınlığına kadar işlenerek, bağlantının dinamik yük taşıma yeteneği artırılır. İnceltilmiş kısmın uzunluğu, ince sac parça kalınlığının üç katından az olmamalıdır.



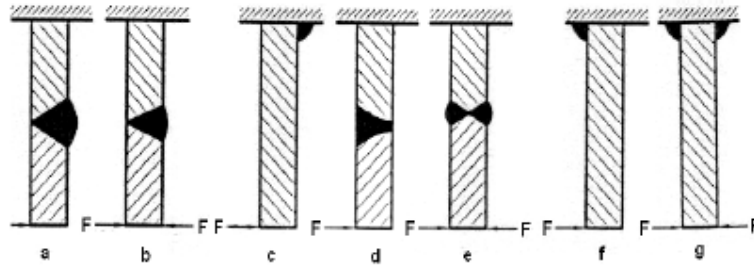
Şekil 2. 14 Farklı kalınlıktaki malzemelerin kaynağı (Cürgül, 2001)

4. Kaynak dikişinin kök kısmında oldukça büyük çekme gerilmesi yığılmaları meydana gelmektedir. (Şekil 2.15, a ve b). Bu nedenle eğilme etkisindeki parçalarda kaynak dikişi kökü çekme gerilmesi etkisinde kalmamalıdır. Çünkü kaynak kökü kaynak kalitesi yönünden en zayıf bölgedir ve çekmeye karşı çok hassastır. Bu bölgeler genellikle basma etkisinde kalacak

şekilde zorlanmalıdır. (Şekil 2.16). Şekil 2. 16'daki a, b ve c uygun olmayan; d, e, f ve g uygun kaynak dikişleridir.



Şekil 2. 15 Çekme etkisindeki kaynak dikiş kökü (Cürgül, 2001)

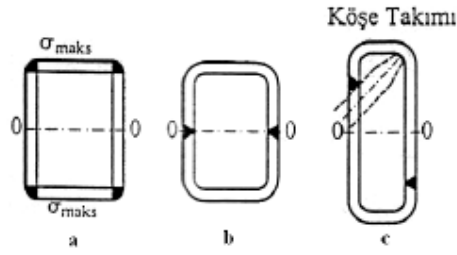


Şekil 2. 16 Çekmeye karşı hassas olan kaynak dikiş kökleri (Cürgül, 2001)

5. Kaynak işlemi sırasında parçaların maruz kaldığı farklı sıcaklıklar nedeni ile dikiş bölgesinde ısıl gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler ise kaynak edilen parçalarda şekil değiştirme ve çarpılmalara sebep olur. Bunu önlemek için;

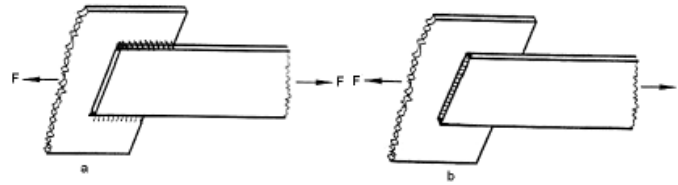
- Kaynak dikişleri az ve basit olmalıdır. Bu amaçla kaynak edilecek parçalar şekil bakımından basit ve yeteri kadar büyük olmalıdır.
- Kalın ve kısa kaynak dikişleri yerine, ince ve uzun dikişler tercih edilmelidir.
- Nispeten büyük parçalar kaynak işleminden sonra gerilme giderme tavlamasına tabi tutulmalıdır.

6. İşletme anında gelecek kuvvetlerin oluşturulacağı gerilmeleri doğru değerlendirip, tasarımda kaynak dikişinin yeri, gerilmelerin sıfır veya çok az olduğu bölgeler olacak şekilde seçilmelidir. (şekil 2.17) .Kaynak dikişi hatalı bir şekilde gerilmelerin en çok olduğu bölgeye yapılırsa, kaynağın sebep olabileceği çentik ve iç gerilmeler nedeniyle gerçekte karşılaşılabilecek gerilmeler, hesaplanandan çok daha büyük olacak ve emniyet sınırı aşılabilecektir. Şekil 2.17 b veya c tercih edilmelidir.



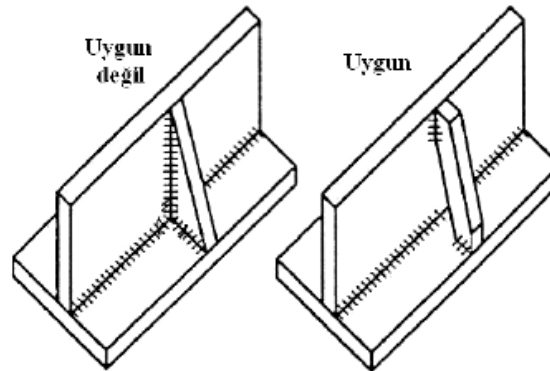
Şekil 2. 17 Kaynak dikişinin yeri uygun seçilmelidir (Cürgül, 2001)

7. Çentik etkisi bakımından yan köşe kaynağı (2.18, a), alın köşe kaynağından (şekil 2.18, b) daha uygundur.

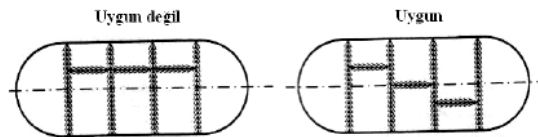


Şekil 2. 18 Kaynakta çentik etkisi (Cürgül, 2001)

8. Mukavemetin düşürülmemesi için düğüm noktalarından kaçınılmalıdır. Şekil 2.19'daki köşe birleştirme şekli 2.20'deki kazan konstrüksiyonu buna örnek gösterilebilir.



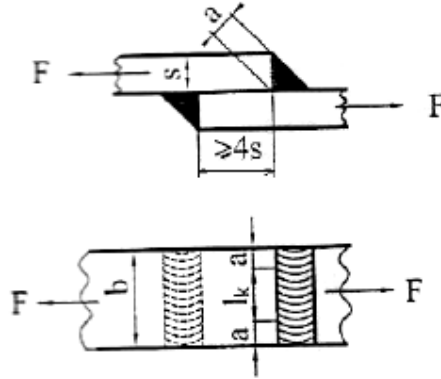
Şekil 2. 19 Kaynakta düğüm noktasından kaçınılmalıdır (Cürgül, 2001)



Şekil 2. 20 Düğüm noktaları mukavemeti olumsuz etkiler (Cürgül, 2001)

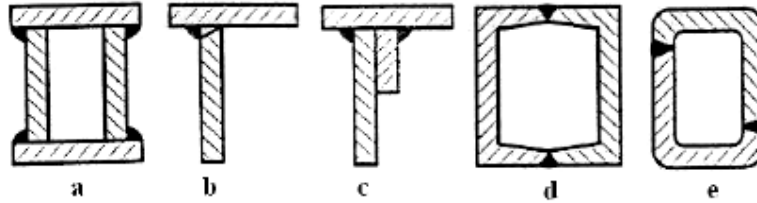


9. Kuvvet taşıyan dikişlerin kalınlığı en az 4 mm olmalıdır. Ayrıca alın köşe kaynağında kuvvet çiftinin oluşturduğu momentin etkisini azaltmak için kaynak dikişlerinin arası  $4s$  uzunluğundan daha büyük olmalıdır. (Şekil 2.21)



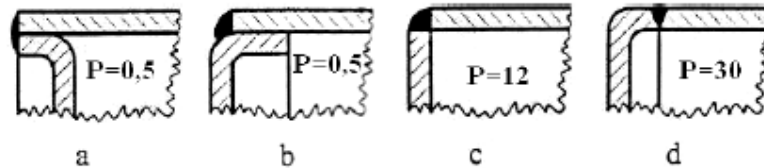
Şekil 2. 21 Kaynak dikiş boyutları arasındaki ilişki (Cürgül, 2001)

10. Kapalı ve içi boş kesitler elde etmek için şekil 2.22'deki örneklerden yararlanılabilir. İç kısmından kaynak yapılamayan küçük içi boş kesitler için (a) örneğindeki gibi yalnız dış köşe dikişleri kullanılabilir. Daha büyük kesitler için (b) deki gibi kaynak yama veya (c) deki gibi önceden yardımcı parça kaynak edilmesi daha uygundur. Ayrıca içi boş kesitler için (d) deki gibi profil parçalardan yararlanılabilir. İnce cidarlı içi boş kesitler için ise (e)'deki yöntem seçilmelidir.



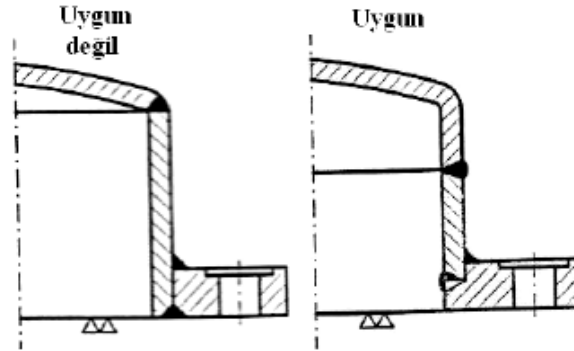
Şekil 2. 22 Kapalı kesitlerin kaynak özellikleri (Cürgül, 2001)

11. Silindirik basınçlı kaplarda taban kısımlarının kaynağında düz sac malzemeler kullanılmamalıdır. Çünkü eğilme etkisi yaparak dikişi patlatır. Şekil 2.23'de çeşitli kaynak tasarımları için dikişlerin emniyetli basınç değerleri  $N/mm^2$  olarak verilmiştir.



Şekil 2. 23 Silindirik basınçlı kapların  $N/mm^2$  cinsinden basınç değeri (Cürgül, 2001)

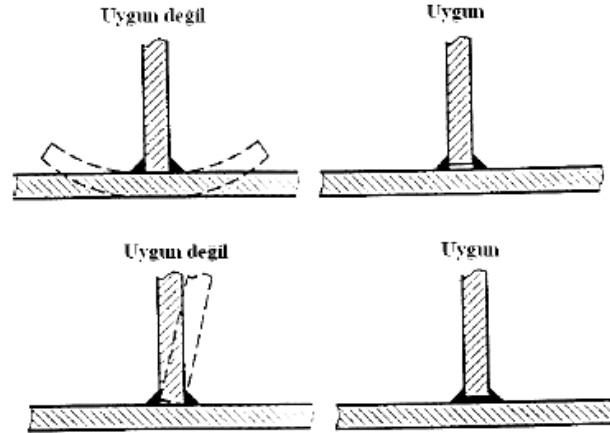
12. Kaynak dikişi işlenecek yüzeylere konmamalıdır. Aksi halde hem işçilik artar hem de kaynaklı kısmın işlenmesinde güçlük çekilir (Şekil 2.24).



Şekil 2. 24 İşlenecek yüzeylerde kaynak dikişi olmamalıdır (Cürgül, 2001)

13. Kaynak sırasında meydana gelen farklı soğuma ve çekmelerin oluşturduğu büzülme gerilmeleri ve şekil değiştirmeler için önlemler alınmalıdır.

a) İç köşe dikişleri olanaklar çerçevesinde çift dikiş olarak yapılmalıdır (Şekil 2.25).



Şekil 2. 25 İç köşe dikişleri çift yapılmalıdır (Cürgül, 2001)

b) İnce levhalar kaynak sonrası oluşan gerilmelerden dolayı dışa doğru bombe yaparlar. Bu nedenle ince levhalar yerine kalın levhalar kullanılmalıdır (Şekil 2.26).



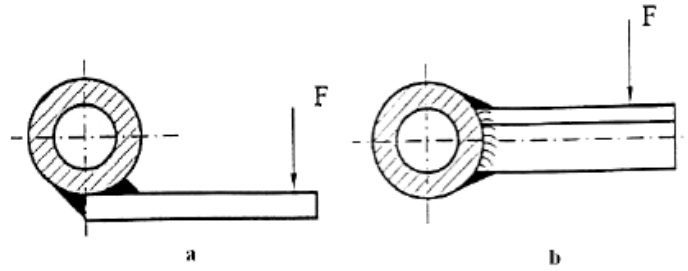
Şekil 2. 26 İnce levha yerine kalın levha tercih edilmelidir (Cürgül, 2001)

c) İşlenmiş parçaların üst üste kaynak edilmesinde yüzeyler arasında gaz çıkmasını önlemek için delik açılmalıdır (şekil 2.27).



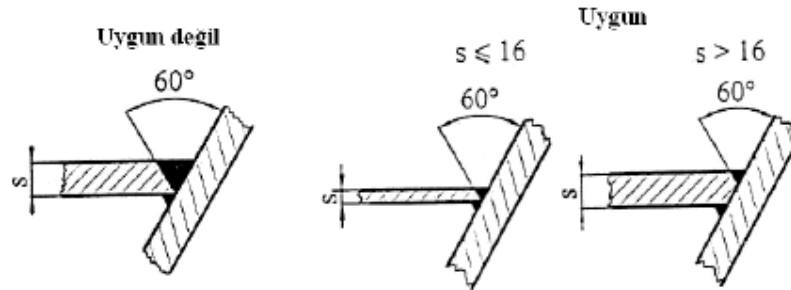
Şekil 2. 27 Delik açılarak gaz sıkışması önlenmelidir (Cürgül, 2001)

14. Kaynak dikişleri şekillendirilen elemanın en çok zorlanan bölgelerine konulmamalıdır. Ancak zorunluluk halinde mukavemet kurallarına uygun önlemler alınmalıdır. Şekil 2.28,a' daki tasarım zayıf, şekil 2.28,b' deki ise daha uygun çözümdür.



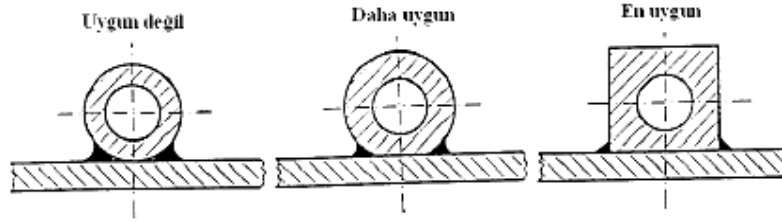
Şekil 2. 28 Kaynak dikişi az zorlanan yerlere konmalıdır (Cürgül, 2001)

15. Eğimli birleştirmelerde kaynak ağzından dolayı keskin köşe oluşmasına meydan verilmemelidir.  $s \leq 16$  mm için keskin köşe kullanılabilir. (Şekil 2.29)



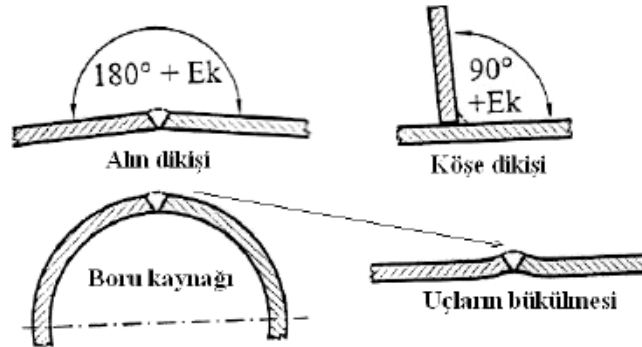
Şekil 2. 29 Kaynak ağzı keskin köşeye neden olmamalıdır (Cürgül, 2001)

16. Kaynak edilecek kısımlar kolay ulaşılabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Çelik yapılarda zor ulaşılarak kaynak edilmiş dikişler ve  $60^\circ$ 'den az ( en az  $45^\circ$ ) küçük dikiş ağzına sahip bağlantılar yük taşıyıcı olarak kabul edilmezler. Özellikle silindirik parçaların düz parçalara kaynağında kaynak ağzı açısı çok küçüktür. Mümkün olduğunca aradaki açı dik veya geniş açı olacak şekilde uygun tasarım seçilmelidir.(Şekil 2.30)

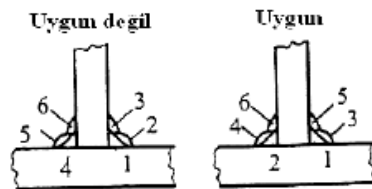


Şekil 2. 30 Kaynak yapılacak bölgeye kolay ulaşılmalıdır (Cürgül, 2001)

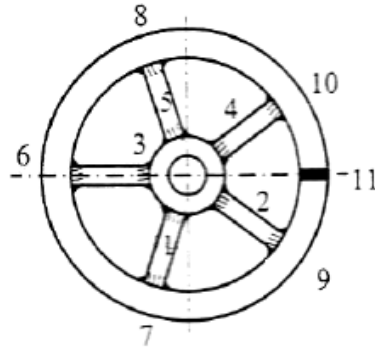
17. Kaynaktan dolayı parçalarda çekme olacağı dikkate alınarak, birleştirilecek parçaların birbirlerine göre konumlarına başlangıçta bir tür ön deformasyon verilmeli, köşe kaynağında ise açı  $90^\circ$ 'den biraz fazla alınmalıdır (Şekil 2.31). Bu ön deformasyon yeterince deneyim sahibi olmayı gerektirir ve üretim açısından her zaman mümkün olmayabilir. Alın ve köşe kaynağında her bir pasoda çeşitli kaynak sıraları uygulanarak çekmenin en aza indirgenmesi sağlanabilir. Çift yönlü köşe dikişlerinde bir sağ, bir sol tarafa kaynak yapılarak  $90^\circ$ 'lik açının değişmesi önlenir (Şekil 2.32). Çerçeve, kasnak vb. elemanların şekillendirilmesinde kaynak işlemine, kasnak göbeğinden başlanmalı, daha sonra şekil 2.33' de belirtilen sıra izlenerek, çember kısmı kaynak edilmelidir. Böylece son kaynağa kadar kasnağa genişleme veya büzümeye serbestliği sağlanmış olur.



Şekil 2. 31 deformasyonla kaynak sonrası çekilmelerin önlenmesi (Cürgül, 2001)

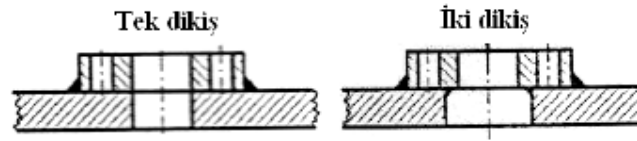


Şekil 2. 32 Kaynakta paso sırası (Cürgül, 2001)



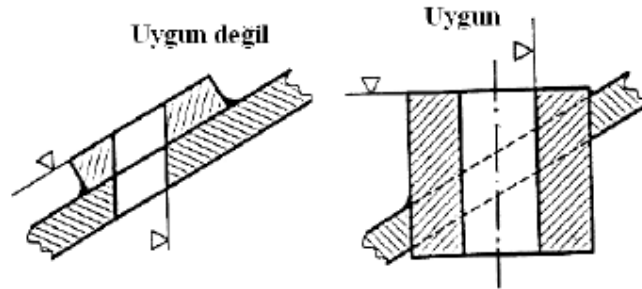
Şekil 2. 33 Kasnakta kaynak pasosu sırası (Cürgül, 2001)

18. İki levha kaynak edilirken göbek içine de dikiş konabilir (Şekil 2.34).



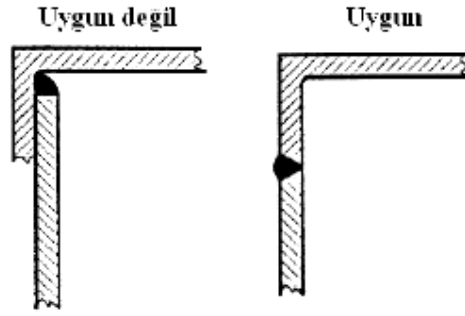
Şekil 2. 34 Takviyeli kaynak dikişi (Cürgül, 2001)

19. İşlenmiş delikli yüzeylerin eğimli birleştirmelerinde, işleme yüzeyleri birbirine dik olacak halde şekillendirilmelidir. Esasen böyle durumlarda deliğin tek parçada öngörülmesi ve diğer parçaya yanlardan kaynakla bağlanması en uygun çözümdür (Şekil 2.35).



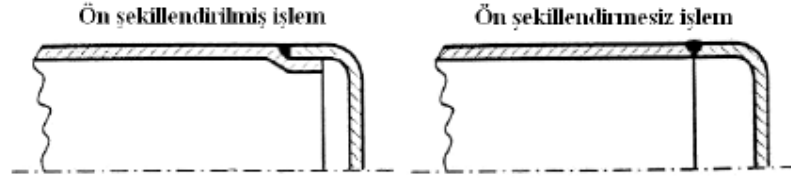
Şekil 2. 35 Kaynakta işlenecek yüzeyler birbirine dik olmalıdır (Cürgül, 2001)

20. Kaynak dikişleri, kolay ulaşılabilecek yerlere konmalıdır. Bu durum, gerek kaynak sırasında işçiliğin azalması ve daha kaliteli kaynak yapılması, gerekse kaynak sonrası yapılacak işlemlere kolaylık sağlaması bakımından gereklidir. Zorunlu olmadıkça iç köşe kaynağı yapılmamalıdır (Şekil 2.36).



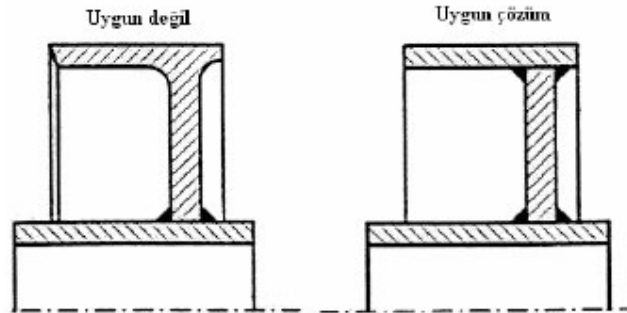
Şekil 2. 36 Kaynak dikişi kolay ulaşılacak yerlere konmalıdır (Cürgül, 2001)

21. Gerektiği zaman kaynak yapılacak bölgede ön şekillendirme yapılmalıdır. Ön şekillendirme işlemi, montajı kolaylaştırmanın yanında, işçilik ve diğer üretim masraflarını artırır. Bu iki birlikte göz önünde tutularak optimum özümün gerektirdiği kadar ön şekillendirme yapılmalıdır (şekil 2.37)



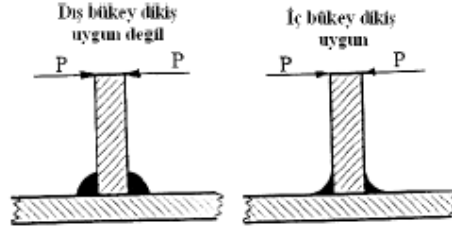
Şekil 2. 37 Ön şekillendirme işçilik ve maliyeti artırır (Cürgül, 2001)

22. Kaynaklı birleştirme yapılırken olanaklar çerçevesinde çeşitli profiller (prizmatik, silindirik vb. kesitlerde) veya kenarı düzeltilmiş sac malzeme kullanılmalıdır. Bu durumun malzeme masraflarını azaltması yanında kaynak işçiliğini arttırdığı da unutulmamalıdır (şekil 2.38)



Şekil 2. 38 Ucuz malzeme pahalı işçilik gerektirir (Cürgül, 2001)

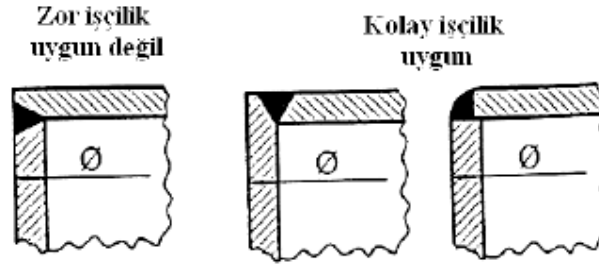
23. Dinamik gerilmelere maruz iç köşe dikişleri çentik etkisini önlemek için içbükey yapılmalıdır. Aksi halde dinamik zorlamalar sonucu kaynak dikişi kısa sürede çatlayabilir (şekil 2.39)



Şekil 2. 39 Dinamik zorlanmalar için köşe dikişleri için tehlikelidir (Cürgül, 2001)

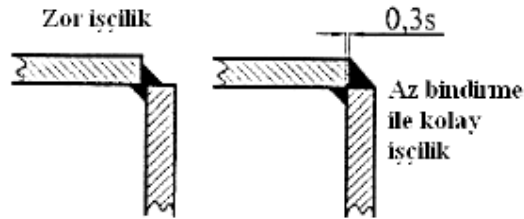
24. Flanşların gövdeye bağlandığı tasarımlarda kaynak ağzlarının gövde yerine flanşa açılması daha uygundur. Flanşın gövdeye göre küçük ve hafif olması sonucu üretim masrafları düşer, ayrıca ön işlem sırasında yapılabilecek yanlışlıkların neden olacağı daha büyük zararlar önlenmiş olur.

25. Silindirik parçaların kaynakla birleştirilmelerinde dikişler, olacaklar dahilinde parça çevrilmeden yapılabilmelidir (şekil 2.40).



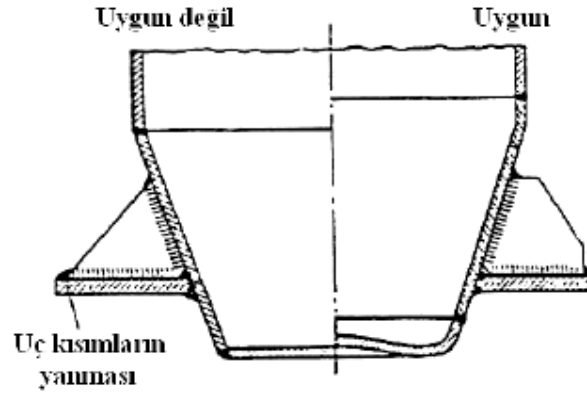
Şekil 2. 40 Dairesel parçaların kaynağı (Cürgül, 2001)

26. Sac parçaların köşe kaynağında bindirme olmaksızın kaynak yapmak çok zor olacağından en az 0.3 s kadar bir bindirme yapılmalıdır (Şekil 2.41)



Şekil 2. 41 Köşe kaynağında bindirme yamak zorunludur (Cürgül, 2001)

27. Sac kenarlarının ince olması halinde, bu bölgeler kaynak sırasında yanabileceğinden, parçaların şekillendirilmesinde bu duruma dikkat edilmelidir. Şekil 2.42 'deki tasarım bu konuda uygun bir çözüm örneği oluşturmaktadır.



Şekil 2. 42 Bir sıvı deposunun kaynaklı tasarımı (Cürgül, 2001)

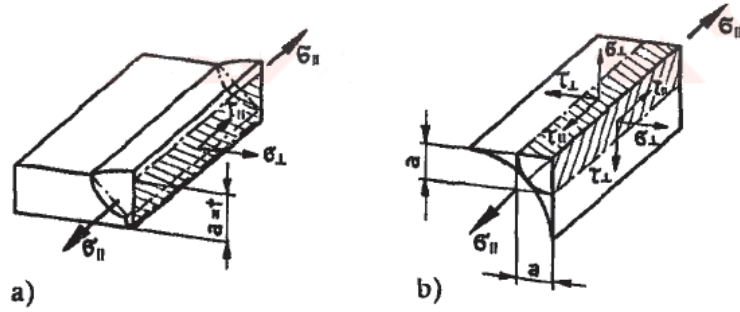


### 3. KAYNAK MUKAVEMETİ

#### 3.1 Kaynak Dikişlerindeki Gerilmeler

##### 3.1.1 Normal Gerilmeler ve Kayma Gerilmeleri

Kaynak dikişlerinde mevcut gerilmeler (nominal gerilmeler), yükleme durumuna göre elementer mukavemet kuralları yardımıyla hesaplanır. Kaynak dikişlerinde hesaplanacak olan gerilmeler şekil 3.1’ de gösterildiği şekilde ayırt edilmektedir.



Şekil 3. 1 Kaynak dikişlerindeki gerilmeler (Karakaş, 2002)

$\sigma_{II}$  =Dikiş doğrultusundaki normal gerilmeler. Önemi fazla değildir, örneğin statik yükleme altındaki çelik yapılarda dikkate alınmaz.

$\sigma_{\perp}$ =Kaynak dikişine dik doğrultudaki normal gerilmeler. Alın ve köşe dikişlerinin hesaplanmasında önemi çok büyüktür.

$\tau_{II}$  =Dikiş doğrultusundaki kayma gerilmeleri. Boyun ve yan köşe dikişlerinde ve enine kuvvet etkisi altındaki bağlantılarda meydana gelir.

$\tau_{\perp}$ =Kaynak dikişine dik doğrultudaki kayma gerilmeleri. Alın köşe dikişlerinde meydana gelir.

##### 3.1.2 Bileşik Gerilmeler ve Mukayese Gerilmeleri

Gerilmeler basit gerilmeler ve bileşik gerilmeler olarak ikiye ayrılabilir. Basit gerilme durumu, çekme (basma), kesme, eğilme ve burulma olmak üzere dört tür zorlamadan meydana gelmektedir.

Bileşik gerilme durumunda ise gerilmeler basit gerilmeler gibi ayrı olarak hesaplanır ve sonuçlar belirli bir kurala göre birleştirilir. Bileşik gerilme durumunda genellikle iki durum ortaya çıkar. Birincisi; aynı çeşit gerilmeler, örneğin normal gerilmeler (çekme veya basma ve eğilme) veya kayma gerilmeleri (kesme ve burulma), ikincisi; farklı çeşit gerilmeler, örnek olarak normal ve kayma gerilmeleri (eğilme ve burulma).

Bir kaynak bağlantısında aynı andan birden fazla normal gerilme meydana gelirse ( çoğunlukla bir eğme zorlaması ile birlikte çekme veya basma zorlamasıyla oluşur) toplam gerilme eşitlik (3.1)' e göre bunların aritmetik toplamına eşittir.

$$\sigma_{\perp, \text{top}} = \sigma_{\perp e} + \sigma_{\perp \text{ ç, b}} \quad (3.1)$$

Aynı anda normal ve kayma gerilmelerinin meydana gelmesi halinde ( bileşik zorlanma durumlarında), bu gerilmeler birbirine dik konumda olduğundan aritmetik olarak toplanamaz. Bu durumda bir mukayese gerilmesi hesaplanır ve bu değer çizelgelerde verilen veya hesaplanan emniyetli gerilme ile mukayese edilir. Şekil değiştirme enerjisi hipotezine göre elde edilen ve eşitlik (3.2)' de gösterilen mukayese gerilmesinin uygunluğu deneylerle ispatlanmıştır.

$$\sigma_{\text{Muk, k}} = \sqrt{\sigma_{\parallel}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp} \sigma_{\parallel} + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \quad (3.2)$$

Çelik yapılarda (DIN 18800 Kısım 1 ), kaynak dikişi doğrultusundaki  $\sigma_{\parallel}$ 'in önemi fazla olmayıp statik yükleme durumunda dikkate alınmaz. Bu durumda mukayese gerilmesi alın ve iç köşe dikişlerinde eşitlik (3.3)'e göre hesaplanmaktadır. Kaynak dikişlerinin hesaplanmasında bu eşitlik yaygın olarak kullanılmaktadır.

$$\sigma_{\text{Muk, k}} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \quad (3.3)$$

### 3.2 Statik Zorlama

Statik (sabit) zorlamada kuvvetler veya momentler sabittir. Böylece kuvvet veya moment etkisinde oluşan gerilme de sabit olacaktır. Bir F kuvvetiyle çekmeye veya basmaya zorlanan bir kesitin emniyetle taşıyabileceği gerilmeler eşitlik (3.4)'e göre kontrol edilir.

$$\sigma_{\text{zor}} = F/A \leq \sigma_{\text{em}} \quad (3.4)$$

Verilen bir kuvvet için gerekli olan en küçük kesit alanı bulunmak istenirse eşitlik (3.5) ve belli bir kesit alanı için, bu kesitin emniyetle taşıyabileceği maksimum kuvvet bulunmak istenirse eşitlik (3.6) kullanılır.

$$A_{\text{ger}} = F/ \sigma_{\text{em}} \quad (3.5)$$

$$F_{\text{max}} = A \cdot \sigma_{\text{em}} \quad (3.6)$$

Kaynak dikişleri için de aynı düşünce şekli geçerlidir. Ancak müsaade edilen emniyet gerilmeleri kaynak dikişlerindeki zayıflatıcı faktörler nedeniyle daha düşük olmaktadır. Bu

nedenle kaynak dikişlerindeki emniyet gerilmelerinin de ayrıca tespit edilmesi gerekir. Bu nedenle kaynak dikişlerinin kontrolü eşitlik (3.7) yardımıyla gerçekleştirilir.



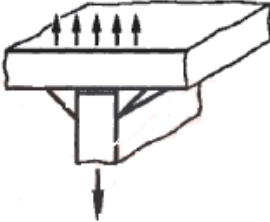

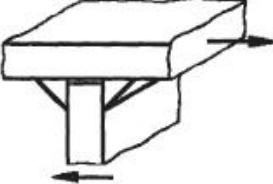
$$\sigma_k \leq \sigma_{em} \text{ veya } \sigma_{muk,k} \leq \sigma_{k,em} \quad (3.7)$$

Burada  $\sigma_k$  değeri yukarıda verilen gösterim şekline göre  $\sigma_{\perp}$  (birden fazla normal gerilme bulunması durumunda  $\sigma_{\perp,top}$ ) ile gösterilmektedir. Aynı düşünce şekli kayma gerilmeleri için de geçerlidir. Çeşitli kaynak dikişlerinde zorlama durumuna göre meydana gelen gerilmeler şekil 3.2 'de gösterilmiştir. Bu gerilmelerin çeşitli durumlar için (çekme, eğilme ve burulma) hesaplanması aşağıda açıklanmıştır.

Genel olarak, boyuna etkiyen kuvvet  $F_b$  veya enine etkiyen kuvvet  $F_e$  ile yüklenen bir kaynaklı birleştirmede meydana gelen normal veya kayma gerilmeleri eşitlik (3.8)'e göre hesaplanır.

$$\sigma_{\perp}, \tau_{\perp}, \tau_{||} = \frac{F}{A_k} = \frac{F}{\sum a_i} \quad F=F_b \text{ veya } F=F_e \quad (3.8)$$

Şekil 3.3 'te çeşitli yükleme durumlarında kaynak dikişlerinde meydana gelen basit gerilmelerin hesaplanması ve şekil 3.4'te bileşik zorlama durumunda meydana gelen gerilmeler ve mukayese gerilmesinin hesaplanması gösterilmiştir.

| <b>Kaynak Dikişi Uzunlamasına Eksenine Paralel Nominal Gerilmeler</b> |   |
|---|---|
| $\sigma_{\parallel}$  |  <p>Kaynak dikiş doğrultusundaki gerilmelerin taşıyıcı yapı elemanlarında önemi yoktur. Statik yüklem durumunda dikkate alınmazlar.</p>  |
| <b>Kaynak Dikişi Uzunlamasına Eksenine Dik Nominal Gerilmeler</b>     |   |
| $\sigma_{\perp}$  |  <p>Alın kaynaklı yapı elemanlarının hesaplanmasında önemli olan gerilmelerdir. Alın birleştirmelerde kaynak dikiş doğrultusuna dik zorlamalarda meydana gelir.</p>  |
|   |  <p>T-birleştirmelerinde kaynak dikişi doğrultusuna dik zorlamalarda meydana gelir. İç köşe dikişlerinde dik olarak etki eden kuvvetler veya eğme momenti etkisinde sık olarak karşılaşılan gerilmelerdir.</p> |
| <b>Kaynak Dikişi Uzunlamasına Eksenine Paralel Nominal Gerilmeler</b> |   |
| $\tau_{\perp}$  |  <p>Boyun ve yan köşe dikişlerinde kombine enine kuvvet-eğme zorlamasında ve kaynak dikişlerinde enine kuvvet zorlamasında meydana gelir</p>   |
| <b>Kaynak Dikişi Uzunlamasına Eksenine Dik Kayma Gerilmeleri</b>      |   |
| $\tau_{\parallel}$  |  <p>İç köşe dikişlerinde kaynak dikişi doğrultusuna dik zorlamalarda meydana gelir.<br/><math>\sigma_{\perp}</math>, <math>\tau_{\perp}</math> aynı büyüklüktedir.</p>                                       |

Şekil 3. 2 Çeşitli kaynak dikişlerinde zorlama durumuna göre meydana gelen gerilmeler (Scheermann, 1986)

|  |  |
|--|--|
|  | <p>Kaynak dikiş kesiti:<br/> <math>A_k = a \cdot l</math><br/> <math>A_k = \sum (a \cdot l)</math></p>   |
|  | <p>Boyuna veya enine kuvvetle yüklenen kaynak dikişleri :</p> $\sigma_{\perp}, \tau_{\perp}, \tau_{\parallel} = \frac{F}{A_k} = \frac{F}{\sum a \cdot l}$  |
|  | <p><math>M_b</math> eğme momenti ile eğilmeye zorlanan kaynak dikişi :</p> $\sigma_{\perp} = \frac{M_b}{I_k} \cdot y = \frac{M_b}{W_k}$ <p><math>I_k = \sum A_k \cdot y^2 \rightarrow</math> Atalet momenti<br/> <math>W_k \rightarrow</math> Mukavemet momenti</p>  |
|  | <p><math>F_e</math> Enine kuvveti ile eğmeye zorlanan boyun iç köşe dikişi:</p> $\tau_{II} = \frac{F_e \cdot S}{I_x \cdot \sum a}$ <p><math>I_x \rightarrow</math> x - eksenine göre toplam kesitin atalet momenti<br/> <math>S = A_F \cdot y \rightarrow</math> Statik moment</p> <p>Aralıklı dikişlerde:</p> $\tau_{II} = \frac{F_e \cdot S}{I_x \cdot \sum a} \cdot \frac{e+l}{l}$ <p><math>l \rightarrow</math> Dikiş boyu<br/> <math>e \rightarrow</math> Dikiş aralığı</p> |

Şekil 3. 3 Çeşitli yükleme durumlarında kaynak dikişlerinde meydana gelen basit gerilmelerin hesaplanması (Scheermann, 1986)

|  |  |
|--|--|
|  | <p>1 numara ile gösterilen yerde</p> <p>Bileşik zorlama durumunda :</p> $\sigma_{i,D} = \frac{M_b}{I_k} \cdot y_I \quad \text{ve} \quad \tau_{II} = \frac{F_e}{A_{k,D}}$ <p>Mukayese gerilmesi:</p> $\sigma_{Muk,k} = \sqrt{\sigma_{i,D}^2 + \tau_{II}^2}$ |
|--|--|

Şekil 3. 4 Bileşik zorlama durumunda meydana gelen gerilmeler ve mukayese gerilmesinin hesaplanması (Scheermann, 1986)

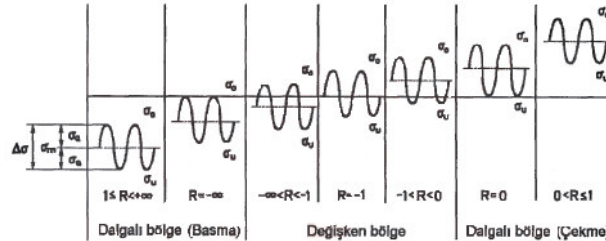
### 3.3 Dinamik Yükleme Çeşitleri

#### 3.3.1 Tek Kademeli Yükleme

Kaynaklı konstrüksiyonların hesaplanması ve ölçülendirilmesi makine elemanları kitaplarında tek kademeli yükleme durumu göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Kaynaklı konstrüksiyonlarla uğraşanlar da çoğunlukla tek kademeli yükleme durumları için geliştirilen yöntemleri kullanmakla beraber son zamanlarda çeşitli standart ve talimatnameler içinde yerini alan çok kademeli yükleme durumlarının (işletme dayanımı) hesaplama işlemlerinde kullanılması gittikçe artan bir şekilde istenmektedir.

Tek kademeli yüklemelerde zorlamanın belirli bir üst gerilme ile alt gerilme arasında değiştiği kabul edilerek hesaplamalar yapılmaktadır. Çok kademeli yüklemelerde ise gerçekten işletme esnasında meydana gelen zorlamalar dikkate alınmaktadır. Çok kademeli yükleme durumu için yapılan boyutlandırma ile tek kademeli yüklemelerde elde edilen aşırı boyutlandırmadan kaçınılmakta ve bu suretle daha hafif konstrüksiyonların yapılması ve malzeme tasarrufu sağlanmaktadır. İşletme esnasında çoğunlukla çok kademeli yükleme durumu ile karşılaşmaktadır. Ancak tek kademeli yüklemenin meydana geldiği durumlar da mevcuttur. Bunun yanında çok kademeli yükleme durumları için yapılan araştırmalar ve toplanan bilgiler bugün için henüz yeterli seviyede değildir. Tek kademeli yükleme durumu için günümüze kadar çok sayıda araştırmalar yapılmış ve büyük bir bilgi birikimi sağlanmış ve bunun sonucunda da hesaplama işlemlerinde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu konuda da bilinmeyene ve araştırılmaya devam edilen daha birçok konu bulunmaktadır.

Şekil 3.5’de gösterildiği gibi tek kademeli yüklemelerde yorulma zorlamaları bir ortalama değer ( $\sigma_m$ ) ve bir genlik ( $\sigma_a$ ) yardımıyla belirlenir. Gerilmenin en büyük değeri  $\sigma_o$  (üst gerilme), en küçük değeri ( $\sigma_u$ ) (alt gerilme) ve genliğin iki katı da gerilme alanı  $\Delta\sigma=2\sigma_a$  olarak adlandırılır. Zamanla değişen zorlamanın tam bir çevrimi için geçen periyot süresi T ve çevrim sayısı N ile gösterilir.



Şekil 3. 5 Yorulma zorlamasında değişken ve dalgali zorlama bölgeleri (Karakaş, 2002)  
Alt ve üst gerilmelerin oranına sınır gerilme oranı adı verilir ve R harfi ile gösterilir.

$$R = \frac{\sigma_u}{\sigma_o} \quad (3.9)$$

$R=1$  : olduğunda ortalama değer sıfırdır ve bu özel duruma tam değişken zorlama denir.

$-1 < R < 0$ : olduğunda değişken zorlama söz konusudur.

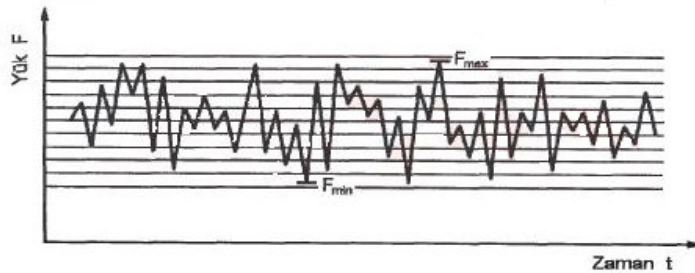
$R=0$  : olması durumunda çekme bölgesinde tam dalgalı zorlama denir. Gerilme sıfır ile bir üst değer arasında değişir.

$0 < R \leq 1$  : olduğunda çekme bölgesinde dalgalı zorlama söz konusudur.

$R=1$  : için statik zorlama söz konusudur (Akma sınırı).

### 3.3.2 Çok Kademeli Yükleme

Pratikte tek kademeli yükleme durumu nadiren ortaya çıkmaktadır. Konstrüksiyonlar çoğunlukla farklı seviyelerdeki yüklemelere maruz kalırlar ve bunun sonucunda işletme esnasında konstrüksiyon kesitlerinde farklı yükseklikte gerilmeler meydana gelir. Örneğin bir köprü konstrüksiyonunda farklı trafik yüklerinden dolayı, bir vinç konstrüksiyonunda kaldırılan farklı yüklerden dolayı, bir taşıt konstrüksiyonunda farklı yol profilleri, taşıt hızı ve yükleme nedeniyle değişik yüksekliklerde gerilmeler meydana gelir. Şekil 3.6'da çok kademeli yükleme durumunda işletme esnasında gerçekten meydana gelen zorlama şeklinde bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 3. 6 Çok kademeli yükleme akışı (Hobbacher, 1997)

Makine parçalarının yorulma dayanımlarının hesaplanmasında birçok belirsizlikler bulunmakta ve bu durum seçilen bir emniyet katsayısı ile dengelenmektedir. Bu belirsizlikle çoğunlukla kullanılan boyut etkisi, yüzey etkisi v.b ile yorulma çentik katsayılarında kaynaklanmaktadır. Parçalar üzerinde gerçek zorlamaya benzeterek yapılan deneylerle bu belirsizliklerin giderilmesine çalışılır. Söz konusu deneyler işletme yorulma dayanımı deneyleri, saptanan değerler de işletme yorulma dayanımı değerleri olarak adlandırılır. Bu tür deneylerin yapılabilmesi için, zorlama şekli yükleme kolektifi ve gerekli yorulma ömrü ile belirlenir. İşletme yorulma dayanımı deneyleri gerçek zorlamalar olanaklar ölçüsünde yakın olacak şekilde, gerekirse korozif ortamlarda ve doğrudan doğruya makine parçaları üzerinde yapılır.

Sürelî yorulma ve yorulma dayanımı değerlerinin düz veya çentikli deney parçaları üzerinde saptanan malzeme özellikleri olmasına karşın, işletme yorulma dayanımı, malzeme yanında teknolojik ve konstrüktif etkileri de içeren ve makine parçalarına, makine gruplarına veya makinenin tümüne yorulma zorlaması uygulanarak bulunan bir değerdir. Yorulma zorlaması, yüklerin büyüklüğü ve yönünün zamana bağlı olarak değişimler gösterdiği bir zorlama türüdür. İşletme yorulma deneylerinin önemi çoğunlukla incelenen parçanın dayanımı üzerine değişik parametrelerin etkilerinin karşılaştırılmasındadır. Bu tanımda çok kademeli yorulma deneyleri, zorlama duraklamaları, çalışma sıcaklığı, frekans etkisi, korozif etki v.b. kapsamaktadır. İşletme yorulma deneyleri ancak uygulanan zorlama, duraklamalar, işleme sıcaklığı ve korozif ortam v.b. bakımından gerçeğe yakın olmaları halinde incelenen parçanın gerçek davranışları hakkında güvenilir sonuçlar verir. Böyle bir deneyin yapılması zor olmakta ve elde edilen sonuçlar bazı belirsizlikler içerebilmektedir. İşletme yorulma dayanımı değerleri, çok pahalı ve zaman alıcı olduklarından, ancak sürelî yorulma bölgesindeki dayanım özelliklerinin tam olarak kullanılmasını gerektiren (örneğin uçak ve diğer taşıtların üretiminde) çok kritik makine parçaları ve grupları için uygulanırlar. Böyle bir zorlama şekli için yapılacak olan boyutlandırma için yükleme akışının ölçülerek tespit edilmesi, kaydedilmesi ve verilerin istatistiksel yöntemler kullanılarak işlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilmiş olan yöntemler mevcuttur.

### 3.4 Wöhler Eğrileri ve Yorulma Diyagramları

#### 3.4.1 Wöhler Eğrileri

Yorulma dayanımı (dalgalı veya değişken dayanım) çoğunlukla sabit genlikli sinüs eğrisi şeklinde yükleme ile elde edilir. Bu yükleme şekli tek kademeli yükleme olarak da adlandırılır. Wöhler deneyleri yardımıyla aynı ortalama gerilime değeri için ( $\sigma_m$ ) her biri farklı gerilme genliği ( $\sigma_a$ ) ile tek kademeli olarak zorlanan deney parçalarının kırılma çevrim sayıları (N) saptanır. Bu değerler ( $\sigma_a - N$ ) eksen takımına taşınarak Wöhler eğrileri elde edilir. Malzemenin kırılmadan taşıyabildiği en büyük gerilme genliği ( $\sigma_a = \sigma_A$ ) ortalama genliği ( $\sigma_m$ ) ile birlikte yorulma dayanımı ( $\sigma_D$ ) olarak verilir.

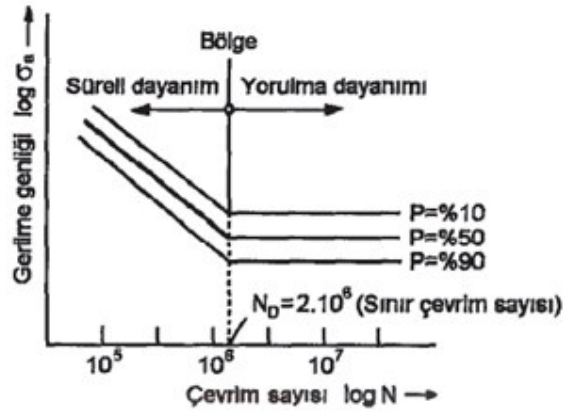
$$\begin{aligned} \sigma_D &= \sigma_m + \sigma_A \\ \sigma_D &\rightarrow \sigma_{Değ} \text{ veya } \sigma_{Dal} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Düşük genliklerde yorulma ömrü çok uzun olabileceğinden, belirli bir çevrim sayısına ulaşıldığında parçanın kırılması beklenmeden deney durdurulur ve bu değer yorulma dayanımı olarak alınır. Bu noktada Wöhler eğrisi yatay konuma geçer. Deney sürelerinin sınırlanması

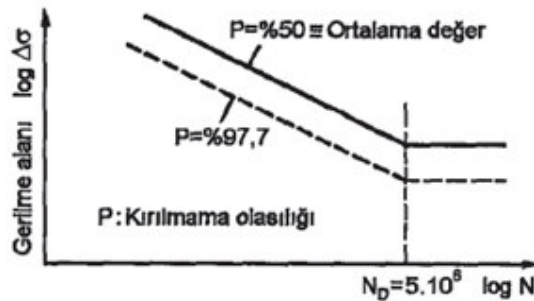


için zorunlu olan bu sınır çevrim sayısı ( $N_D$ ) malzemeye bağlı olup çelik konstrüksiyonlarda  $2.10^6$  olarak kabul edilmektedir. Çift logaritmik eksen takımında Wöhler eğrileri doğrular şeklinde gösterilir, Şekil 3.7’de ;sınır çevrim sayısının ( $N_D=2.10^6$ ) altında kalan bölge süreli dayanım bölgesi ve üstünde kalan bölge yorulma dayanımı bölgesi olmaktadır.

Diğer deneylere göre, yorulma deneyleri sonuçlarında daha geniş dağılımlarla karşılaşılır. Bu nedenle güvenilir bir Wöhler eğrisi elde etmek için çok sayıda deney gerekir. Bu deneylerin sonucunda istatistik değerlendirme yapılarak sonuçların dağılıma bandı içine belirli kırılmama olasılıkları (P) yansıtan Wöhler eğrileri çizilebilir. Şekil 3.7’de görüldüğü gibi kırılma olasılıkları (P) %10, % 50, ve %90 olan üç ayrı Wöhler eğrisi verilmektedir. Çelik malzemeler için süreli dayanım bölgesindeki doğrunun eğim sayıları (k)  $P=\%10$  için 4,0 ,  $P=\%50$  için 3,75 ve  $P=\%90$  için 3,50 olarak belirlenmiştir. Wöhler eğrisi olarak genellikle  $P=\%50$  eğrisi (ortalama değer) veya daha güvenli olan  $P=\%90$  eğrisi alınmaktadır.



Şekil 3. 7 Wöhler eğrilerinin (çelik için) şematik olarak gösterimi (Karakaş, 2002)



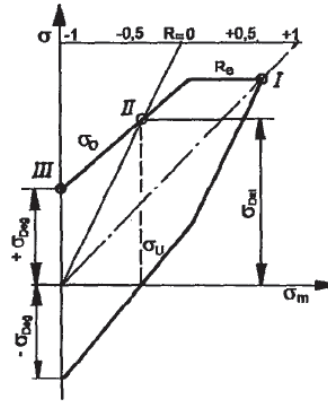
Şekil 3. 8 IIW' ye göre Wöhler eğrilerinin şematik olarak gösterimi (Karakaş, 2002)

Yeni talimatnamelerde genellikle IIW' nin tavsiyeleri dikkate alınmaktadır. IIW tavsiyeleri ve aynı zamanda bunu baz olarak alıp hazırlanan Eurocode 3'te yorulma dayanımları ile ilgili bazı farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Şekil 3.7 ve şekil 3.8 karşılaştırıldığında belirtilen önemli

farklılıklar ortaya çıkmaktadır. IIW' nin önerilerinde kırılmama olasılığı olarak  $P=97,7\%$  seçilmekte ve sınır çevrim sayısı  $N=5.10^6$  olarak alınmaktadır. Bunun nedeni  $N=2.10^6$  çevrim sayısından sonra da yorulma dayanımının azalmaya devam ettiğinin saptanmış olmasıdır. Ayrıca boyutlandırma ve kontrol için  $\Delta\sigma$  kavramı kullanılmaktadır.

### 3.4.2 Smith Diyagramları

Makine yapımında sık olarak kullanılan Smith diyagramlarında dayanılabilen üst gerilme ( $\sigma_o$ ) ortalama gerilmenin ( $\sigma_m$ ) bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3. 9 Smith Diyagramları (Karakaş, 2002)

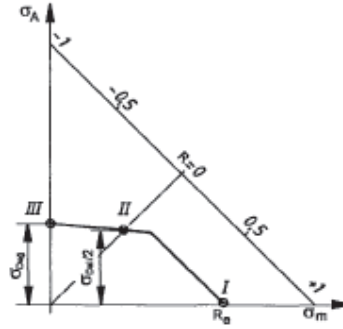
Değişken ve dalgalı bölgeler için saptanmış Wöhler eğrilerinden elde edilen sonuçlar Smith yorulma dayanımı diyagramlarında toplu olarak verilebilir. Bu diyagramlar her zorlama şekli için ortalama gerilme, gerilme genliği, alt gerilme ve üst gerilmeler arasındaki bağlantıları grafik olarak gösterir.

Apsis ve ordinatın aynı ölçekte olduğu eksen takımına belirli bir ortalama gerilme için bulunan yorulma dayanımı genliği  $\sigma_A$ 'ya ait üst gerilme  $\sigma_o$  ve alt gerilme  $\sigma_u$  değerleri taşınır.  $\sigma_m = 0$ ' da ( $R=-1$ ) tam değişken dayanım  $\sigma_{Değ}$  ve  $\sigma_u = 0$  ( $R=0$ = dalgalı dayanım  $\sigma_{Dal}$  okunur. Yorulma dayanımı diyagramı aynı zamanda akma sınırı ile de sınırlanmaktadır (Şekil 3.9). Çünkü makine yapımında çoğunlukla kalıcı şekil değişimlerine izin verilmez. Smith diyagramı genel makine yapımında geniş bir kullanım alanına sahiptir.

### 3.4.3 Haigh Diyagramı

Genel makine yapımında Smith diyagramı yanında yine sık kullanılan yorulma diyagramlarından biri de Haigh diyagramıdır. Haigh diyagramında gerilme genliği  $\sigma_A$ , ortalama gerilmenin bir fonksiyonu olarak verilmektedir. Apsis ve ordinatı aynı ölçekte olduğu eksen takımında ortalama gerilme  $\sigma_m$  apside buna ait yorulma dayanımı genliği  $\sigma_A$  ordinata

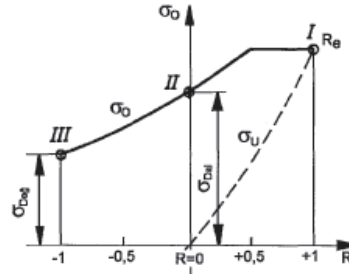
taşınmaktadır. Akma sınırı  $R_e$  yorulma diyagramını sola doğru  $45^\circ$  eğik olarak sınırlamaktadır (Şekil 3.10).



Şekil 3. 10 Haigh' a göre yorulma dayanımı diyagramı

### 3.4.4 Moore- Kommers-Jasper Diyagramı

Moore-Kommers-Jasper Diyagramı daha çok dinamik olarak zorlanan kaynaklı birleştirmelerin hesaplanmasında tercih edilen bir yorulma diyagramıdır. Bu diyagrama göre gösterimde, üst gerilme ( $\sigma_0$ ) sınır gerilme oranı  $R$ 'nin bir fonksiyonu olarak verilmektedir.



Şekil 3. 11 Moore -Kommers- Jasper Diyagramı

Şekil 3.11'de gösterilen bu diyagramda gerilme oranı  $R = \frac{\sigma_u}{\sigma_0}$  apsise ve her gerilme oranına ait

üst gerilme  $\sigma_0$  ordinata taşınır. Diyagram üzerinde  $R=-1$ 'den tam değişken dayanım ve  $R=0$ ' da dalgalı dayanım değerleri okunur.  $R=+1$ 'de statik zorlama bulunur.

## 3.5 Kaynaklı Birleştirmelerin Statik ve Yorulma Dayanımına Etki Eden Faktörler

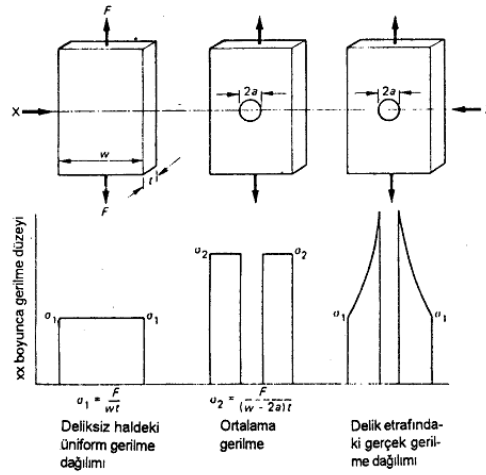
### 3.5.1 Çentik Etkisi ve Gerilme Yığılımları

Şekil 3.12'deki gibi bir çekme yüküne maruz bir levhayı göz önüne alalım. Bu durumda levha kesitindeki gerilme üniform olarak dağılır ve aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$\sigma_1 = \frac{\text{Yük}(F)}{\text{Alan}(A)} = \frac{F}{\text{Genişlik}(W) \times \text{Kalınlık}(t)} \quad (3.11)$$

Eğer levhanın merkezine a yarıçapında bir delik delinirse levhanın genişliği 2a kadar azalır. Yük daha küçük bir kesit tarafından taşındığı için gerilme aşağıdaki değere yükselir.

$$\sigma_2 = \frac{F}{(W-2a) \times t} \quad (3.12)$$



Şekil 3. 12 Levhadaki bir delik civarındaki gerilme yığılması

Bu değer ortalama gerilme değeridir. Gerçek gerilme dağılımı üniform olmayıp deliğin kenarlarında yüksektir ve delikten bir miktar uzakta orijinal  $\sigma_1$  değerine düşer.

Delik tarafından gerilme akış çizgilerinde yaratılan süreksizlik, gerilme yığılmasına neden olmuştur. Bu gerilme yığılma etkisinin şiddeti süreksizliğin şekline bağlıdır. Dairesel bir delikte yığılma faktörü (çentik faktörü) düşük olup değeri 3'e eşittir. Buna karşılık keskin bir çentik, çentik faktörünün 10'a kadar yükselebildiği gerilme yığılmalarına neden olur. Bu nedenle, hataların gerçek öneminin bunların gerilme yığılmaları yaratmasından kaynaklandığını anlamış oluyoruz. Yukarıdaki açıklamalardan şu sonuca varmak mümkündür: Gaz gözenekleri ve cüruf kalıntıları gibi nispeten dairesel hatalara çatlak gibi keskin hatalardan daha hoşgörülü davranabiliriz. Bu görüşün uygulamadaki geçerliliği çeşitli standartlarda da görülebilir. Buna örnek olarak basınçlı kaplarla ilgili BS 5500 İngiliz standardında belirtilen hata kabul kriterleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

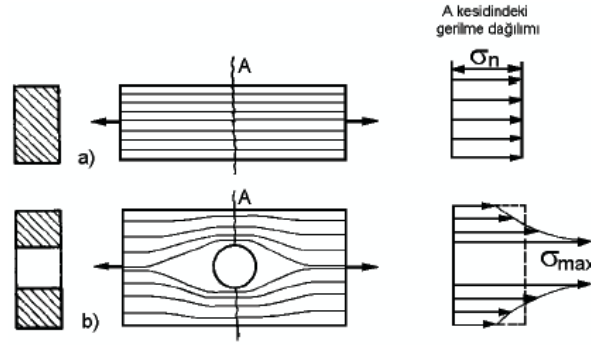
Tablo 3. 1 Tipik Hata Kabul Kriterleri

| Hata Tipi                   | Kabul Kriteri  |
|-----------------------------|--|
| Gözenek-İzole               | Levha kalınlığına bağlı olarak çap 6mm'den büyük olamaz  |
| Gözenek-Dağılmış            | Radyografide görülen kaynak metali alanının %2 ila %3'ü  |
| Cüruf Kalıntısı             | Uzunluğu levha kalınlığına nümerik olarak eşit olabilir. |
| Yetersiz kök nüfuziyeti     | Müsaade edilmez  |
| Erime Azlığı                | Müsaade edilmez  |
| Çatlaklar(herhangi bir tip) | Müsaade edilmez  |

Konstrüksiyon parçalarındaki kuvvet akışının yorulma dayanımı değerine etkisi büyüktür. Kuvvet çizgilerinde normal duruma göre meydana gelebilecek olan her sapma gerilme tepelerinin oluşmasına ve buna bağlı olarak aynı zamanda yorulma dayanımının azalmasına neden olur. Kuvvet çizgilerinin sapsması bir çentik etkisine eşdeğerdir.

Çentik etkisi şekil 3.13' de verilen bir örnek ile gösterilmiştir. Burada çekmeye zorlanan iki ayrı parçadaki kuvvet akışları ve buna bağlı olarak seçilen bir kesitteki (A kesiti) gerilme dağılımları gösterilmiştir. Şekil 3.13a 'daki parçada düzgün bir kesit ve düzgün bir gerilme dağılımı görülmektedir. Şekil 3.13b 'deki delikli parçada ise a'daki parçayla aynı nominal değere sahip bir kesit mevcuttur. Ancak, deliğin etrafından dolaşan kuvvet çizgilerindeki sapsmadan dolayı oluşan sıkışma nedeniyle düzenli olmayan bir kuvvet akışı ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucunda da delik kenarlarında gerilme tepeleri ve parça kenarında da gerilme azalması meydana gelmektedir. Ortalama gerilme ise aynı kalmaktadır. Daha keskin olan kuvvet sapsmalarında ise gerilme tepeleri daha büyük olmaktadır. Form sayısı olarak adlandırılan  $\alpha_k$  değeri bir kesitteki çentik etkisinin büyüklüğünü göstermektedir.  $\sigma_{max}$  maksimum gerilme değeri ve  $\sigma_n$  de nominal gerilme değeri olmak üzere form sayısı  $\alpha_k$  eşitlik 3.13'e göre bulunur.

$$\alpha_k = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n} \quad (3.13)$$



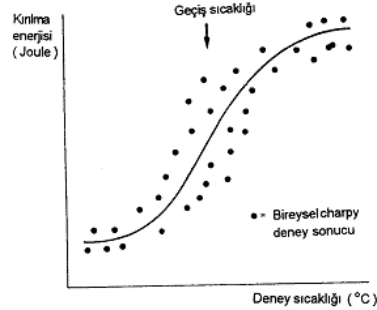
Şekil 3.13 Düz bir parça ile delikli bir parçadaki gerilme dağılımları

Sünek malzemede akma, çentik ucunu saran bölgede meydana gelir ve çentiğin uzunluğu artarken çatlak açılmaya, yani yüzeyleri birbirinden uzaklaşmaya başlar. Çentiğin bundan sonraki davranışı çeşitli, faktörlere bağlı olup bazı hallerde çentik ilerlemeyebilir. Eğer ilerleme olursa, nihai kırılma önemli ölçüde plastik deformasyon belirtileriyle meydana gelir. Diğer taraftan bazı malzemelerde çok az çatlak açılmasını takiben çatlak hızla parça içine doğru ilerler ve görünürde hiçbir plastik deformasyon oluşturmadan kırılmaya, bir başka deyişle “gevrek hasara” neden olur. Bu tip malzemelere çentik –gevrek malzemeler adı verilir ve yukarıda belirtilen çentik-sünek malzemelerle karşılaştırdıklarında, bunlar düşük çentik sünekliliğine sahip malzemeler olarak da anılır.

Karbon ve karbon-manganez çelikleri sıcaklığı bağlı olarak hem çentik-sünek hem de çentik-gevrek davranış gösterdiklerinden, bu çeliklerden üretilen yapıların tasarımlarında çentik-gevrek davranış dikkate alınması gerekli problemlerden biridir. Bir çelik levhadan kesilen deney parçaları üzerinde, örneğin  $-60^{\circ}\text{C}$ 'dan  $+60^{\circ}\text{C}$ 'a kadar değişen bir sıcaklık aralığındaki farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen bir dizi Charpy çentik darbe deneyi Şekil 3.14'te gösterilen türden sonuçlar verir. Sonuçlarda önemli ölçüde bir dağılma olmakla birlikte, kırılmaya kadar absorbe edilen enerjinin üst sıcaklık bölgesinde yüksek olduğu ve sıcaklık azaldığında çok düşük değerlere doğru belirgin bir düşme gösterdiği açıkça görülmektedir.

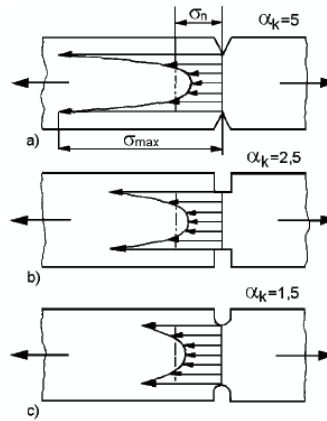
Absorbe edilen enerjideki bu geçişin olduğu sıcaklığa “geçiş sıcaklığı” adı verilir. Ve bu sıcaklık çeliğin bileşimine, tane büyüklüğüne ve maruz kaldığı işlemlere ( ısı ve mekanik ) bağlıdır. Geçiş sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda Erime azlığı ve çatlak gibi düzlemsel hatalar, çentik-gevrek şekilde davranışa neden olurlar ve bunun sonucunda hızla ilerleyen gevrek kırılmalar olabilir. Önemi daha az olan uygulamalarla ilgili veya farklı malzemelerle ilgili bazı standartlar erime azlığını kabul etmeye daha eğilimli iken, BD5500 benzeri standartlar yukarıda değinilen riskler nedeniyle düzlemsel hatalara karşı herhangi bir hoşgörü göstermez. Genel olarak, önemli uzunluktaki çatlaklara asla izin verilmez.

İç kısımlarda veya dış yüzeylerde bulunan çentiklerin geometrik şeklinin gerilme dağılımına ve dolayısıyla form sayısına etkisi farklı olmaktadır. Şekil 3.15' de dış yüzeyde bulunan üç farklı geometrideki çentiğin gerilme dağılıma ve form sayısına etkisi gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi keskin çentiklerde gerilme daha çok artmaktadır. Bunun yanında dikdörtgen şeklindeki çentikler daha uygun ve yuvarlatılmış çentikler en uygunu olmaktadır. Bu durum  $\alpha_k$  form sayıları ile ifade edilmektedir.



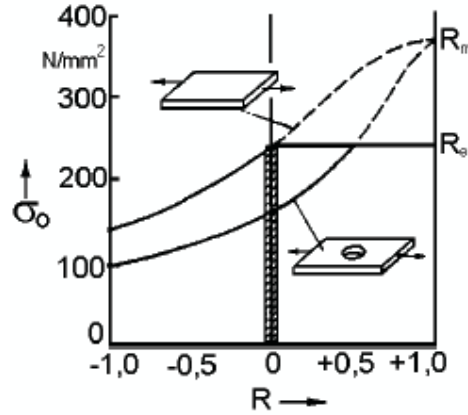
Şekil 3. 14 Çentik parçaların Charpy deneyi sonuçlarına sıcaklığına etkisi

Çentiksiz bir parça ile çentikli bir parçanın statik dayanımları yaklaşık olarak aynıdır. Ancak dinamik zorlamalar altında malzemenin yorulma dayanımı çentikli bir parçada çentiksiz bir parçaya nazaran daha düşük olmaktadır. Bu durum sayısal olarak Şekil 3.16' da verilen örnekte çekmeye zorlanan çentikli ve çentiksiz parçalar için gösterilmiştir. Buradaki şekilde S235 malzemesinden düz bir parça ile delikli bir parçanın  $R_m$ ,  $R_c$  ve yorulma dayanım değerleri karşılaştırılabilir. Şekilden de görüldüğü gibi statik yükleme durumunda yaklaşık olarak aynı değerler ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında dinamik yükleme durumunda ise delikli parçada önemli bir şekilde yorulma dayanımının azaldığı görülmektedir.



Şekil 3. 15 Çeşitli çentik şekilleri için gerilme dağılımları ve form sayıları (Rende, 1996)

Özet olarak, kuvvet çizgilerinin akışında önemli bir sapma gösteren kaynaklı veya kaynaklı olmayan her konstrüksiyonda yorulma dayanımının büyük miktarda azalma eğilimi gösterdiği söylenebilir. Bu durum dinamik olarak zorlanana kaynaklı konstrüksiyonların şekillendirilmesinde önemli bir etken olarak dikkate alınmaktadır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Deliksiz ve delikli parçaların yorulma dayanım diyagramları (Neumann, 1994)

### 3.5.2 Kaynak Dikişinin Etkisi

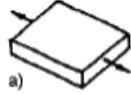
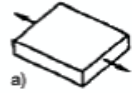

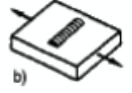
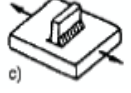
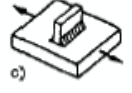

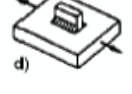
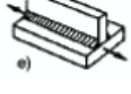
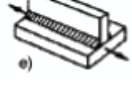
Kaynak dikişlerinin, taşıyıcı konstrüksiyon parçasının statik dayanımına veya yorulma dayanımına bir etkisinin olup olmadığı kaynaklı konstrüksiyonlarda çok önemlidir. Şekil 3.17' de örnek olarak çekmeye zorlanan parçalarda çeşitli, kuvvet iletmeyen kaynak dikişleri için malzeme değerleri verilmiştir (Neumann, 1997)

Malzeme üzerindeki dolgu kaynak pasolarının, enine veya boyuna yerleştirilen kanatların statik zorlamalarda taşıma kabiliyetine (burada  $R_e$ ) bir etkisi bulunmamaktadır. Buna karşın yorulma zorlamalarında etkileri çok büyüktür. Üzerinde enine bir kaynak pasosu bulunan levhada (durum b) kaynaklanmamış levhaya nazaran (durum a) önemli derecede yorulma dayanımının azaldığı görülmektedir. Burada kuvvet akışında fazla bir değişim olmamasına rağmen yorulma dayanımının azalması başlangıçta ilginç karşılanabilir. Çıplak gözle bakıldığında iyi yapılan bir kaynak dikişinde kaynak pasosu ile esas malzeme arasında düzgün bir geçiş olduğu gözlenir. Ancak bir büyüteçle bakıldığında kaçınılmaz gözeneklerin, cüruf arıklarının ve küçük bağlantı hatalarının çentikler oluşturduğu görülmektedir. Dışarıdan görünmeyen bu yanma çentikleri yorulma dayanımının önemli derecede azalmasına neden olmaktadır. Kaynak pasosunun bulunduğu yüzey taşlanarak işlendiğinde bu kenar çentikleri uzaklaştırılır ve bunun sonucunda yorulma dayanımı değerleri önemli derecede artar. Bu değerler kolaylıkla kaynaklı parçanın değerlerine ulaşabilir.



İç köşe dikişleriyle kaynaklanmış enine kanat (durum c), kök kısmında ve dikiş geçişlerinde oluşan yoğun çentikler nedeniyle üzerine enine kaynak pasosu çekilmiş levhaya nazaran daha kötü değerler göstermektedir. Buna benzer bir durum boyuna iç köşe dikişleriyle kaynaklanmış boyuna kanatlarda görülmektedir (durum d). Burada kaynak dikişlerinin sona erdiği yerlerde de aynı şekilde çentikler oluşmaktadır. Alt levhaya boydan boya kaynaklanmış kanatlarda ise (durum e) daha iyi bir yorulma dayanımı görülmektedir. Bu durum belli bir yerde çentiklerin yoğunlaşmamasından dolayı ortaya çıkmaktadır. Her türlü iç köşe dikişlerinde dikiş geçişlerinin işlenmesi sadece küçük bir iyileşmeye neden olmaktadır. Bunun nedeni de kök kısmının işlenmesinin mümkün olmamasıdır.

Verilen bu örnekler aşağıda belirtilen önemli gerçekleri göstermektedir. Her enine dikişi ve her uzunlamasına dikişin sona erdiği bölge kuvvet taşımayan bir bağlantıyı oluştursalar da yorulma dayanımının kuvvetli bir şekilde azalmasına neden olmaktadır. Bunun yanında statik dayanımda bir azalma meydana gelmemektedir. Yorulmaya zorlanan konstrüksiyonlarda levha üzerine kanatların veya bazı düzenerlerin kaynaklanmasının, taşıyıcı kesitlerin yorulma dayanımına etkisinin ne miktarda olduğunun araştırılması gerekir. Boydan boya yapılmış uzunlamasına dikişler bir miktar azalma göstermekle beraber yine de yüksek yorulma dayanımına sahiptirler.

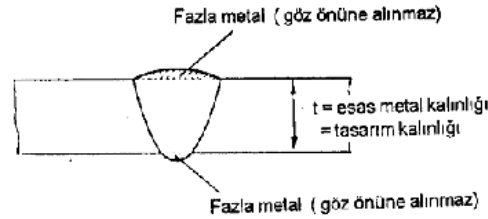
| İşlenmemiş<br>kaynak dikişi   | N/mm <sup>2</sup> |                |       | İşlenmiş<br>kaynak dikişi   | N/mm <sup>2</sup> |                |       |
|---|-------------------|----------------|-------|---|-------------------|----------------|-------|
|   | $\sigma_{Değ}$    | $\sigma_{Dal}$ | $R_e$ |   | $\sigma_{Değ}$    | $\sigma_{Dal}$ | $R_e$ |
|  | 140               | 240            | 240   |  | 140               | 240            | 240   |
|  | 95                | 160            | 240   |  | 140               | 240            | 240   |
|  | 75                | 130            | 240   |  | 95                | 160            | 240   |
|  | 45                | 80             | 240   |  | 45                | 85             | 240   |
|  | 115               | 195            | 240   |  | 115               | 195            | 240   |

Şekil 3. 17 İşlenmemiş ve işlenmiş durumdaki çeşitli kuvvet iletmeyen kaynak dikişleri (Neumann, 1997)

### 3.5.3 Kaynaklı Birleştirme Şeklinin Etkisi

#### 3.5.3.1 Alın Kaynaklı Bağlantıların Mukavemeti

Bir kaynaklı yapının tasarımcısı mukavemet hesaplarını, seçmiş olduğu esas metalin özelliklerini göz önüne alarak yapar. İdeal olarak kaynak metali en azından esas metalinkine eşit özelliklere sahip olmalıdır. Pratikte, kaynak metali bir döküm yapısına sahiptir ve kaynaklı konstrüksiyonlarda kullanılan metallerin çoğunda kaynak metali esas metalden daha düşük mukavemete sahiptir. Bunun en önemli istisnası yapı çelikleridir. Yapı çeliklerinde kaynak metalinin akma dayanımı, esas metalinkinden daha büyüktür. Bağlantı mukavemetine kaynağın etkisinin açık bir şekilde anlaşılması gerekir. Böylece tasarımcı hesaplarında bu etkiyi göz önüne alma olasılığı bulunabilir. Diğer taraftan yorulma gibi bazı yükleme hallerinde, bir kaynak bağlantısının mevcudiyeti müsaade edilebilir maksimum gerilmeleri otomatik olarak azaltır. Kaynak metali ile esas metal arasında tüm kalınlık boyunca her noktada bağlantının sağlandığı bir alın kaynağını örnek olarak konuya girebiliriz. Dikişin üst ve alt tarafındaki kaynak metali fazlalığı, boyutları hassas bir şekilde kontrol edilmediğinden, hesaplarda bir kesit artışı olarak göz önüne alınmaz (Şekil 3.18). Alın kaynağının yük taşıyan dikiş kalınlığı bu durumda esas metalin kalınlığına eşittir. Göz önüne alınması gerekli iki durum mevcuttur, bunlardan biri kaynak metalinin akma dayanımının esas metalinkinden büyük olduğu, ikincisi ise küçük olduğu durumlardır.



Şekil 3. 18 Bir alın kaynağında tasarım kalınlığı

Kaynak metalinin akma dayanımının önemini, bir kaynak dikişi içeren deney parçasının çekme deneyi sırasındaki davranışına bakarak görebiliriz. Kaynak dikişi, uygulanan gerilmeye dik yönde olup yüzeyi, deney parçası yüzeyi ile aynı düzlemde olacak şekilde işlenmiştir. Kaynak metali ve esas metal temelde aynı cins malzeme olduklarından, aynı elastiklik modülü değerine sahiptirler ve bu nedenle yük elastik bölgede iken üniform olarak şekil değiştirirler. Kaynak metali daha yüksek akma dayanımına sahip ise, akma önce kaynaktan uzakta bir yerde esas metalde başlar ve boyun teşekkülü eşliğinde devam eder. Bu bölgedeki gerçek gerilme, kesit boyut teşekkülü nedeniyle azaldığından, kaynak metalindeki gerilmelerden daha hızlı artar ve

kırılma esas metalde meydana gelir. Bir tamir kaynağının orijinal parçadan daha yüksek mukavemete sahip olduğu şeklinde sıkça ifade edilen görüşün temeli budur. Ancak bu görüşün sadece akma dayanımı esas metalden daha yüksek olan ve çekme yükü altındaki kaynaklar için geçerli olduğunu akılda tutmak gerekir.

Çeliklerin kaynağında, genelde uygun mekanik özelliklere sahip, bir başka deyişle esas metalinkinden daha yüksek değerlerde mekanik özellikleri olan dolgu metali seçme olanağımız vardır. Birçok demir dışı metal ve alaşımlarında durum genelde böyle değildir. Bu malzemeler, kaynak metalinde ortaya çıkan bir döküm yapısına sahip olduklarından mekanik özellikleri kötüleşir. Aynı zamanda bu tür metallerde kaynak metalindeki çatlama olasılığını en aza indirmek veya bundan kaçınmak için düşük dayanım veren dolgu metali bileşimi kullanmak gereklidir. Bu nedenle demir dışı metal ve alaşımlarında esas metalden daha düşük mukavemete sahip kaynak metali ile karşılaşmak olağandır ve bunun sonucu olarak çekme deneyinde, akma önce kaynak metalinde başlar. Kırılma kaynak metalinde oluşur ve bağlantının çekme mukavemeti esas metalinkinden daha düşüktür. Bu farklılığın derecesi bağlantı etkinliği adı verilen bir faktörle ifade edilir.

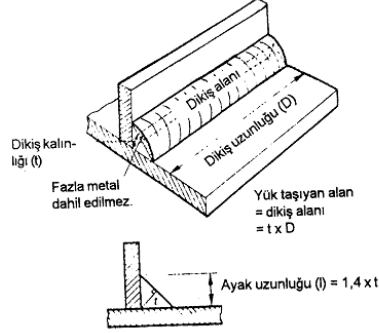
$$\text{Bağlantı etkinliği} = \frac{\text{Bağlantının çekme mukavemeti}}{\text{Esas metalin çekme mukavemeti}} \times 100 (\%) \quad (3.14)$$

Özetlenecek olursa; kaynak metali mukavemetinin esas metalinkinden büyük olduğu hallerdeki gibi, çekme deneyi sırasında akma esas metalde meydana gelirse, müsaade edilebilir tasarım gerilmesi esas metalinkine eşittir. Diğer taraftan, bağlantı etkinliğinin % 100'ün altında olduğu hallerde esas metal tasarım gerilmesiyle bağlantıda akmanın meydana geldiği gerilmenin arasındaki fark azalır ve bu nedenle çalışma gerilmesi seviyelerinde bir miktar azaltma yapmak gerekir.

### 3.5.3.2 İç Köşe Kaynaklı Bağlantılarının Mukavemeti

İç köşe kaynaklı bağlantılar için alın kaynaklı bağlantılar için yapılan yaklaşımdan çok farklı bir yaklaşım yapmak gerekir. Bunun nedeni alın kaynağının aksine, iç köşe kaynaklı bağlantılarda dikiş boyutlarının kaynakçı tarafından kontrol edilebilmesi ve dikiş kalınlığının arzuya göre atırılabilmesidir. Bir T bağlantısında dikiş kalınlığı kaynağın kökü ile yüzeyi arasındaki en kısa mesafe olarak anılır (Şekil 3.19). Bu mesafe fazla metali de içerir ve alın kaynağında olduğu gibi tasarım aşamasında bu fazlalığın kaynak mukavemetine yaptığı katkı ihmal edilir. Bu nedenle, dikişin tasarım kalınlığını, kaynağın köşelerini birleştiren doğruya kökten indirilen dikmenin uzunluğu olarak yeniden tanımlayabiliriz. Tasarım sırasında yük

altında kırılmanın dikiş kalınlığı boyunca meydana geleceği kabul edilir. Pratikte deneyler sırasında iç köşe kaynaklarında dolgu metalinin kırılması, erime sınırına yakın bir çizgiyi takip etmekte eğilimi gösterirse de hesaplarda yukarıda tanımlanan dikiş tasarım kalınlığını kullanmakla yapılan hata küçüktür.



Şekil 3. 19 İç köşe kaynağında dikiş kalınlığı ve ayak uzunluğu

Bir iç köşe kaynağının yük taşıyan alanı, dikiş tasarım kalınlığı ile dikiş uzunluğunun çarpımına eşittir. Yük taşıyan iç köşe kaynaklarında dikiş alanı kesme yüklerine maruzdur ve müsaade edilebilir maksimum kesme gerilmesini, kaynak dolgusunun kimyasal bileşimi belirler. Bu ise kullanılan elektrot tipine ve kaynak yapılan malzemeye bağlı olarak değişir. Buna örnek olarak bir iç köşe kaynağı ile bilgiler Tablo 3.2 ' de verilmiştir. Bu bilgiler BS 4360 standardındaki Grade 43 ve Grade 50 karbon-manganez çeliklerinden imal edilmiş kren kollarıyla ilgili İngiliz standartlarından alınmıştır.

Tablo 3. 2 İç köşe kaynağının mukavemeti

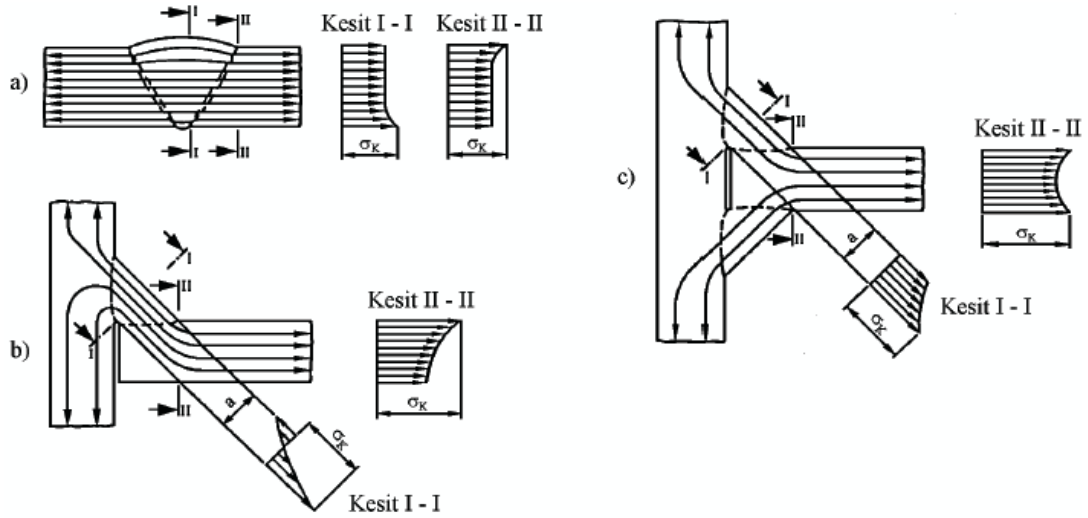
| Levha özelliği (N/mm <sup>2</sup> ) |                | İç köşe kaynağında maksimum müsaade edilebilir Kesme gerilmesi ( N/mm <sup>2</sup> ) |              |              |
|-------------------------------------|----------------|--|--------------|--------------|
| Grade                               | Çekme Dayanımı | Maksimum akma dayanımı   | Elektrod E43 | Elektrod E51 |
| 43                                  | 430–510        | 245  | 118          | 126          |
| 50                                  | 500–620        | 355  | 118          | 144          |

Verilen bir uygulama için bir iç köşe kaynağının boyutlarının hesabı, dikiş kesitinin esas metal için müsaade edilen maksimum çekme gerilmesine karşılık gelen yükü taşıyabilecek büyüklükte olması esasına göre yapılır. Dikiş uzunluğunu ise genellikle yapının veya elamanın boyutları belirler ve hesapların hedefi minimum dikiş kalınlığının saptanmasıdır. Özellikle çok pasolu kaynaklarda, kaynak dikişinin çekilmesi sırasında kaynakçının dikiş kalınlığını tahmin

etmesi oldukça güç olduğundan, bu boyutun bilinmesi kaynakçıya pek fazla yarar sağlamaz. Bu nedenle kaynakçıya verilen iş emirlerinde ayak uzunluğunun belirtilmesi çok daha yararlı olur.

Konstrüksiyon şekli ve konstrüksiyondaki kaynak dikişi yorulma dayanımının azalmasında da en etkili faktörler arasındadır. Kaynaklı birleştirme şeklinin, kaynak dikişindeki kuvvet akışı ve gerilme dağılımı üzerinde önemli etkisi vardır.

Şekil 3.20' de görüldüğü gibi hatasız olarak gerçekleştirilen, çekme veya basmaya zorlanan bir alın kaynağında bölgesel gerilme yığılmaları düşük seviyede kalmaktadır. Tek taraflı köşe kaynağında, dikiş şekli ve kuvvetli bir iç çentik nedeniyle uygun olmayan bir kuvvet akışı ve gerilme yığılmaları ortaya çıkmaktadır (şekil 3.20 b). Çift taraflı köşe kaynağında ise tek taraflıya nazaran daha uygun bir kuvvet akışı ve gerilme dağılımı gözlenmektedir. Fakat mevcut iç çentiğin etkisiyle burada da gerilme yığılmaları nispeten yüksek olacaktır (şekil 3.20c). Bu nedenle köşe kaynaklı birleştirmelerin dinamik yükleme durumunda yorulma mukavemeti ve dolayısıyla taşıma kabiliyeti oldukça düşmektedir. Alın kaynağı dikişlerinde bu düşüş gerilme yığılmalarına bağlı olarak daha az olmaktadır.

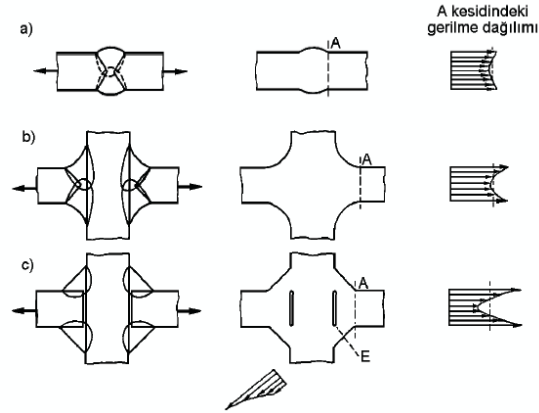


Şekil 3. 20 Kaynaklı Birleştirme Şekline Göre Kuvvet Akışı ve Çeşitli Kesitlerdeki Dağılımı  
(Scheermann, 1986)

- a) Alın kaynak dikiş
- b) Tek taraflı köşe kaynak dikişi
- c) Çift taraflı köşe kaynak dikişi

Şekil 3.21' de benzer şekilde değişik kaynak dikişleri için  $\alpha_K$  form sayıları ve buna bağlı olarak gerilme dağılımları verilmiştir. Burada yorulma zorlamasında taşıma kabiliyeti açısından

kaynaklı birleştirmelerin değerleri görülmektedir. Bu duruma göre yorulma davranışları a' dan c'ye doğru kötüleşmektedir.



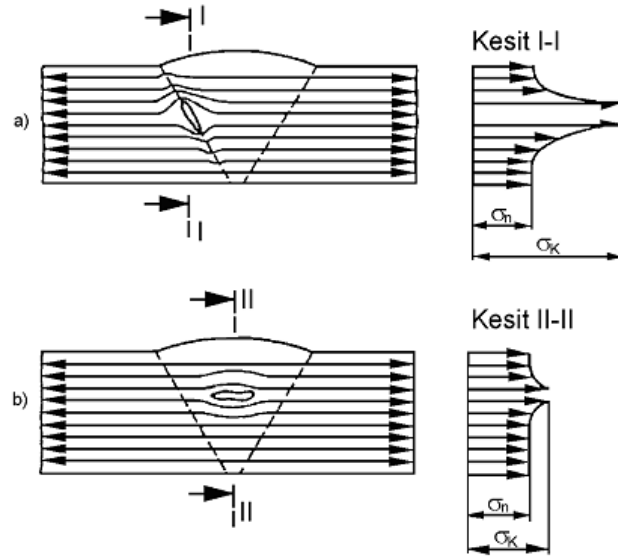
Şekil 3. 21 Çekmeye Zorlanan Değişik Kaynaklı Birleştirmelerde Gerilme Dağılımı (Neumann, 1985)

- a) Alın Dikişi  $\alpha_K = 1,2...1,5$
- b) K-Dikişi  $\alpha_K = 1,3...1,7$
- c) Köşe Dikişi  $\alpha_K > 2$

### 3.5.4 Kaynak Hatalarının Etkisi

Kaynaklı birleştirmelerin taşıma kabiliyetini negatif yönde etkileyen faktörlerden biri de kaynak hatalarıdır. Aşağıda kaynak hataları ve bunların statik ve yorulma dayanımlarının azalmasına etkileri açıklanacaktır. Meydana gelebilecek olan kaynak hataları genel olarak i ve dış kaynak hataları olarak iki gruba ayrılmaktadır.

İ hatalar, yani i çentikler kaynaklı birleştirmelerde çoğunlukla gözenekler, birleştirme hataları (esas metal ile kaynak dikişi arasındaki veya pasolar arasındaki eksik birleştirmeden doğan boşluklar), çatlaklar ve cüruf kalıntıları şeklinde ortaya çıkmaktadır. Örneğin, iç kısımda oluşan bir birleştirme hatasının yarattığı çentik etkisi şekil 3.22'de görülmektedir. Bu hatalar neticesinde ortaya çıkan gerilme yığılmaları sadece hatanın byklğine bağlı olmayıp, mevcut zorlamaya göre konumuna da bağlıdır. Zorlamaya dik doğrultuda bulunan çentikler daha büyük gerilme yığılmaları meydana getirmekte ve konstrüksiyonun bu yöndeki yklenebilirliğini azaltmaktadır. Bunun yanında zorlama doğrultusundaki çentiklerde daha düşük gerilme yığılmaları ortaya çıkmaktadır. (şekil 3.22 b) Küresel bir gözeneğin çentik etkisi daha az olmaktadır.



Şekil 3. 22 Birleştirme Hataları Alın Kaynak Dikişi (Scheermann, 1986)

- a) Hata zorlama doğrultusuna dik  
b) Hata zorlama doğrultusunda

Statik olarak zorlanan konstrüksiyonlarda iç hataların dayanım azalmasına fazla bir etkisi yoktur. Dinamik zorlamalarda ise (yorulma zorlaması) küçük cüruf artıkları bile alın dikişlerinin yorulma dayanımını oldukça azaltır. Çatlak benzeri küçük hatalar, birleştirme hataları ve küçük boşluklar özellikle olumsuz olarak etki ederler. Bunun yanında yuvarlak küresel gözenekler daha küçük çentik etkisine sahiptirler. Burada yapılacak olan röntgen ışınları muayenesiyle hataların tespit edilip gerekli tedbirlerin alınması zorunludur. İç köşe dikişlerinde oluşacak olan iç hatalar da aynı şekilde yorulma dayanımının azalmasına neden olurlar. Ancak iç köşe dikişinin oluşturduğu çentik etkisi yanında bu hataların etkisi ikinci planda kalır ve önemini kaybeder.

Dış kaynak hataları, yani dış çentikler genel olarak şekil 3.23'de gösterilmiştir. Dinamik yükleme durumunda dış hatalar ve özellikle geçiş bölgesindeki derin yanma çentikleri (olukları) ve kök çentikleri (şekil 3.23 b ve 3.23 c) tehlike arz eder. Kaynak esnasında kolaylıkla meydana gelen ve çoğunlukla küçümsenen bu hatalar yorulma mukavemetine büyük ölçüde düşürmektedir. Bu yönden önemli olan diğer bir hata da aşırı dikiş yüksekliği olmaktadır (şekil 3.23i)

Statik olarak zorlanan konstrüksiyonlarda kaynak dikişi geçiş bölgelerinde oluşan yanma çentiklerinin (oluklarının) etkisi azdır. Burada meydana gelen kesit azalması önemli olmamaktadır. Ancak bunların da kalite seviyeleri ile belirlenen sınırların altında kalması gerekir. Bu bölgelerde oluşacak derin yanma çentikleri ise hatalı yapılan bir kaynaktır.

Bunların statik zorlama durumunda da oyularak tekrar kaynak yapılması gerekir. Buna karşın küçük bir yanma çentiği dahi dinamik olarak zorlanan konstrüksiyonlarda yorulma dayanımının kuvvetli bir şekilde azalmasına neden olur. Statik zorlama durumu için müsaade edilen çentikler, alın dikişlerinin dalgalı dayanımını yarı değerine kadar düşürebilir. İç köşe dikişlerinde geçiş bölgelerindeki yanma çentiklerinin yorulma dayanımını düşürücü etkisi vardır. Ancak bu etki, iç köşe dikişinden dolayı ortaya çıkan çentik etkisi sonucu yorulma dayanımının oldukça düşmesinin yanında, küçük kalmaktadır.

| HATALAR                            |              |             |                   |
|------------------------------------|--------------|-------------|-------------------|
|                                    | Çift Taraflı | Tek Taraflı | Boru Çevre Dikişi |
| a) Eksen kayması                   |              |             |                   |
| b) Yanma Çentikleri                |              |             |                   |
| c) Kök Çentikleri                  |              |             |                   |
| d) Sarkık Dikiş Kökü               |              |             |                   |
| e) Dikiş kökündeki içbükeylik      |              |             |                   |
| f) Dikiş yüzeyindeki içbükeylik    |              |             |                   |
| g) Açık Hatalar                    |              |             |                   |
| h) Simetrik olmayan iç köşe dikişi |              |             |                   |
| i) Aşırı Dikiş Yüksekliği          |              |             |                   |

Şekil 3. 23 Kaynaklı Birleştirmelerde Mümkün Olan Dış Hatalar (Karakas, 2002)

Bunun yanında sıçramalar ve imalat esnasında ortaya çıkabilecek düzensizlikler de yorulma dayanımının düşmesine neden olurlar. Ayrıca alın dikişlerinde aşırı dikiş yükseklikleri de yorulma dayanımını düşürmektedir. Bu nedenle yorulmaya zorlanan konstrüksiyonlarda belirli bir yorulma dayanımı değerini garanti edilebilmesi için dikiş yüksekliklerinin belirli bir sınır değerini (DIN 25817' ye göre) altında kalması gerekir.

Yukarıda yapılan açıklamalardan da anlaşılacağı gibi iç ve dış kaynak hatalarının statik dayanıma ve özellikle yorulma dayanımına büyük etkileri vardır. Burada kaynak dikişlerinin kalite gruplarının seçimi önem kazanmakta ve tasarımcı bunun sorumluluğunu taşımaktadır.



Kalite gruplarına göre mevcut iç hataların kabul edilebilirlik sınırları değişmektedir. Kalite grubunun seçimi hem zorlama cinsi ve büyüklüğü, hem de ekonomiklik açısından önemlidir.

### 3.5.5 İç Gerilmelerin Etkisi

Kaynak dikişinin ergiyip katılaşması esnasında ısıdan etkilenen bölgede, farklı ısınıp soğuma neticesinde iç gerilmeler meydana gelir. İç gerilme miktarı malzemenin akma sınırı ile sınırlıdır. Akma sınırının üzerindeki gerilmeler ya parçayı plastik deformasyona uğratar ( çarpılma ) veya parçanın çatlamasına neden olur.

İç gerilmeler genellikle çekme iç gerilmeleri ve basma iç gerilmeleri olarak ikiye ayrılır. Her ikisinin de yorulma dayanımına etkisi farklı olmaktadır. Basma iç gerilmeleri genellikle çekme zorlamalarının mevcut olması durumunda olumlu yönde etki ederler.

Buna karşın çekme iç gerilmelerinin yorulma dayanımına etkisi farklı olmaktadır. Özellikle yorulmaya zorlanan keskin çentikli yapı elemanlarında, gerilmelerin giderilmesi için gerekli olan plastik şekil değiştirme meydana gelmediğinden veya yetersiz kaldığından, çekme iç gerilmeleri büyük önem arz ederler. Sahip olduğu şekil itibarıyla kuvvetli çentik etkisi gösteren yapı elemanlarında kaynak dikişi nedeniyle meydana gelen çekme iç gerilmelerinin mevcudiyeti, iç gerilmelerin giderilmemesi sonucu, çok eksenli gerilme sistemlerinde yorulma dayanımının oldukça düşmesine neden olur.

$\alpha_k < 2 \dots 2,5$  (çentik etkisi, form sayısı  $\alpha_k$  ile ifade ediliyor ) olması halinde çekme iç gerilmelerinin yorulma dayanımına azaltıcı bir yönde etki etmediği saptanmıştır. Buna karşın  $\alpha_k >$  olması halinde ise yorulma dayanımı azalmaktadır. Bu nedenle kuvvetli şekilsel çentik ihtiva eden yapı elemanlarında, bu bölgelere kaynak yapıldığında kaynaktan sonra özellikle yüksek dayanımlı çeliklerde gerilmelerin giderilmesi için tavlama işlemi yapılması gerekmektedir.

### 3.5.6 Isı Tesiri Altındaki Bölgenin (ITAB) Özelliklerinin Mukavemete Etkisi

Yapı çeliklerinde, ITAB' daki esas metal ya az etkilenmiş veya etkilenmemiş kalır ya da sertleşir. Daha önce gördüğümüz gibi, sertleşmiş yapılarla ilgilenmemizin ana nedeni, bağlantının çalışma sırasındaki performansını ciddi bir şekilde etkileyebilecek çatlama riskidir. ITAB' da herhangi bir çatlak mevcut değilse sertleşme bağlantının çekme dayanımının değerlendirilmesi sırasında göz önüne alınmaz. Örneğin soğuk haddeleme gibi soğuk şekil verme yoluyla veya ısı işlem yoluyla sertleştirilmiş malzemelerde durum çok farklıdır. Bu malzemeler de ITAB' daki mukavemet sertleşmemiş veya tavllanmış haldeki değerlere düşer. Örneğin çok düşük sıcaklık tesirlerinde ve gemi süper yapılarında kullanılan 5083 Alüminyum-

magnezyum alaşımının soğuk şekil verilmiş haldeki çekme mukavemeti  $340 \text{ N/mm}^2$ 'ye kadar düşebilir. Bu ise kaynak bağlantısında tekrar iyileştirme olanağı bulunmayan önemli bir mukavemet kaybıdır. Benzer şekilde, borularda, profillerde ve pencere ekstrüzyonlarında kullanılan 6082 Alüminyum-magnezyum-silisyum alaşımı  $295 \text{ N/mm}^2$  çekme mukavemetine sahipken, kaynaktan sonra ITAB' daki mukavemet  $210 \text{ N/mm}^2$ ' ye düşer. Bağlantıyı ısı işlem uygulayarak ITAB' daki mukavemeti tekrar arttırmak mümkün olmakla birlikte pratikteki zorluklar bu tür bir işlemi uygulanamaz hale getirir. 7020 alaşımının kullanılması bazı uygulamalarda bu probleme bir çözüm sağlayabilir. Üzerinde durulması gerekli diğer bir husus da kaynak metalinin mukavemetidir. Çökeltme sertleşmesiyle sertleştirilen birçok alaşım kaynak metali çatlamasına maruz kalır. 6082 alaşımında bundan kaçınmak için dolgu teline %5 ila %11 oranında silisyum katılır ve bunun sonucunda  $180 \text{ N/mm}^2$  civarında bir kaynak mukavemeti elde edilir.

### 3.6 Kaynak Kabul Kriterleri

Bir kaynak dikişini kendisine iyi veya kötü olarak nitelendirmek yanlıştır. Bir kaynağa kötü olarak nitelendirdiğimizde, gerçekte kaynağın kafamızdaki amaca uygun olmadığını kastederiz. Ancak herhangi bir kişinin uygun gördüğü bir kalitenin, diğer çalışma alanları için çok yüksek veya çok düşük olabileceğine dikkat edilmelidir. Örneğin nükleer reaktördeki bir alın kaynağını ele alalım. Reaktör devreye girdikten sonra, her ne kadar istenirse de, kaynaktan tamirat gerektiren bir hata oluşabilir. Bundan daha önemlisi, kritik bir bağlantının hatası felaket olabilir. Bu nedenle reaktörde, önemli hatalar içeren bir kaynağı kullanmak riskine girmek asla savunulamaz. Buna karşılık bir depolama tankında göz önüne alınması gerekli temel faktörlerden biri kaynağın korozyona direnci olabilir. Yüksek mukavemet çalışma esnasında her zaman temel bir gereklilik olmadığından, nükleer reaktörde derhal reddedilmeye sebep olabilecek hatalar depolama tankında zararsız olarak kabul edilebilir.

Yukarıda verilen uygulamaları kıyaslamak kolay olmakla birlikte, bir kaynağın kabul edilebilir haldeki kalitesi için hassas bir tanım yapmak çok daha zordur. Genellikle bu tanım, gözeneklilik, yanma oluşu, kaynak metali ile levha arasındaki birleşme azlığı, çatlaklar veya kaynaktan hapsolmuş cüruf parçaları gibi hataların mevcudiyetine bağlı olarak yapılır. Burada "hata" teriminin bu anlamda kullanılması talihsizliktir. Çünkü böyle bir yaklaşım birinin veya birden fazlasının kaynaktan mevcut olmasının kaynağın hemen hatalı hale getirdiğini ima etmektedir. Ancak yukarıda gördüğümüz gibi bu hataların izin verilebileceği haller de mevcuttur. Gerçekte, bir kaynak kalitesi şartnamesinin esası, hatalı olarak sayılmayacak ve bu

nedenle reddedilmeyecek bir kaynakta mevcut olabilecek hataların sayısını ve boyutlarını belirlemektedir.

Burada amacımızın bir takım hatalar içeren kaynaklar üretmek olduğu sonucunun çıkarmamak gerekir. Aksine kaynakçı yukarıda belirtilen hataların oluşumundan kaçınmak için gerekli yöntem ve teknikleri daima kullanmalıdır. Ancak gerçek pek mükemmel olmadığı için hataların oluşacağını biliriz ve kabul standartlarımız sadece düzeltme işleminin uygulanmasını gerektiren noktayı belirler.

Bir yapının veya bir elemanın tasarımcısı aşağıda örnekleri verilen çok sayıda kriteri göz önüne almak zorunda kalabilir.

Mekanik özellikler,  
Korozyon dayanımı,  
Oksidasyon dayanımı,  
Aşınma dayanımı,  
Sızdırmazlık,  
Vakum sızdırmazlığı,  
Rijitlik.

Kaynaklar için hazırlanan kabul standartları, yukarıda belirtilen tasarım kriterleri içinde söz konusu uygulama için önemi olanları ile ilişkili her hatanın önemini yansıtmalıdır. Bununla birlikte kaynak bağlantılarının çeşitli tipten çekme yükleri altında nasıl davrandığı konusunda, yani mekanik özelliklerle, daha sık ilgileniriz.

Çok az istisna dışında, farklı otoriteler tarafından oluşturulan ve kullanılan standartları geçiş deneyimlere dayanır ve bunların amacı “emniyetli çalışma koşulları”nı yaratmaktır. Kaçınılmaz olarak bu bazen tasarımda en iyi ve en etkin malzemeyi kullanabilme serbestini ortadan kaldırır. Ancak bu, yapının çalışma şartlarına dayanma güvencesi için ödenen küçük bir bedeldir.

Bir kabul standardı tanımlamaya çalışan herhangi birinin karşı karşıya kaldığı bir problem de, ölçme işlemlerinin kesin sonuç vermeyen bir özelliğe sahip olmasıdır. Genel mühendislikte bir milin çapının 100 mm  $\pm$ 0,1 mm olması şartının koşmak göreceli olarak kolaydır. Çünkü kalite kontrol elemanı bunu kolaylıkla ölçebilir ve 100,1 mm’den büyük veya 99,9 mm’den küçük çaplara sahip milleri reddeder. Buna karşılık bir bağlantıda müsaade edilebilecek maksimum gözenek miktarı nasıl belirtilir? Kaynağın her 10 mm’si başına 1 gözenekten fazla olmayacak diyebiliriz ve bu yeterli görülebilir; ancak karşılıklı olarak sorulabilecek sorular ortaya çıkar. Bu tip problemlere kolay cevap vermek mümkün değildir ve büyük ölçüde hem standardın

yazarına hem de kabul kriterini yorumlayan kaynak kalite kontrol elemanının deneyimine bağlıdır. BS 5500, BS2633 ve ASME 9 gibi standartlarda bulunabilecek çok sayıda yaklaşım örnekleri mevcuttur. Hızla gelişen “kırılma mekaniği” tekniği bu konuda çok daha kusursuz bir yaklaşım önermiştir. Bir düzlemsel hatanın bulunduğu yer ve boyutunu ve hatanın etrafındaki gerilmeyi biliyorsak ve malzemenin çentik sünekliğini bir şekilde ölçebiliyorsak, hatanın çalışma sırasında ilerleyerek hasara sebep olup olmayacağını önceden saptamak mümkün olmaktadır. Bunu yapabilmek için söz konusu malzemenin çentik sünekliğini sayısal olarak ifade edilmesi gereklidir. Maalesef Charpy deneyi ile söz konusu hesaplarda kullanabilecek değerleri elde etmek mümkün değildir. Sünek ve gevrek davranış arasındaki farkın çatlak ucundaki plastik deformasyon miktarındaki farklar ile belirlendiğini görürüz. Bu plastik deformasyon miktarı bir CTOD (Crack tip opening displacement –çatlak ucu açılma miktarı) deneyi yardımıyla sayısal olarak elde edilebilir ve kırılma hesaplarında kullanılabilir. Bu deneyde Şekil6 deney parçasında bir çentik açılır ve bu çentiğin kökünde yorulma ile bir çatlak oluşturulur. Deney parçası bundan sonra deney sıcaklığına soğutulur ve daha sonrada çentiksiz yüzündeki bir destek üzerinden eğilmeye maruz bırakılır. Bu şekilde yükleme sonucu çatlak ucunda oluşan gerilmeler nedeniyle malzeme ya plastik şekil değiştirir veya kesitte bir kayıp olmaksızın kırılır. Çentik ağzına yerleştirilen bir clip gauge çentik ağzındaki yer değiştirme miktarını ölçer.

#### 4. KAYNAKLI KONSTRÜKSİYONLAR İÇİN ÖLÇÜLENDİRME KONSEPTLERİ

Taşıyıcı sistemlerin ölçülendirilmesi birçok durumda dayanım kontrolü ile yapılmaktadır. Dayanım kontrollerinde genellikle meydana gelen gerilmelerin bir değerlendirmesi yapılır, gerilmeler belirlenmez. Dayanım kontrolleri için son yıllarda birçok ölçülendirme konsepti, birbirinden bağımsız olarak uygulamalarda kullanılmaktadır.

Kaynak dikişlerinin hesaplanmasında kullanılan konseptler başlıca global ve yerel olarak ikiye ayrılmaktadır. Global konsept olarak nominal gerilme konsepti birçok standart ve talimatnamede dayanım kontrolü ve konstrüksiyon ömrünün hesaplanması için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kaynak dikişlerinde mevcut nominal gerilmeler, yükleme durumuna göre elementer mukavemet kuralları yardımıyla hesaplanır.

Yerel (lokal) gerilmelere dayanan konseptlerin başında gelen yapısal (geometrik) gerilme konsepti, çentik gerilmesi ve kırılma mekaniğine dayanan konseptler standart ve talimatnamelerde fazla uygun olmadıkları için yer bulamamışlardır. Ancak konstrüksiyonların güvenilirliği, dayanım ve ömrü açısından önemleri gün geçtikçe artmaktadır. Yerel konseptlerin kullanılması için mevcut duruma özgün etkisi bulunan birçok parametrenin yeterince tanımlanması şarttır. Ayrıca imalat esnasında bu şartların bozulmaması gerekmektedir.

Kaynaklı yapı elemanları, kaynaklı yapı elemanlarına göre yerel (lokal) konseptlerin kullanımını zorlaştıran bir dizi özellikler göstermektedir. Bunlar; malzeme özelliklerinin her yerde aynı olmaması, kaynak hataları, kaynak iç gerilmeleri ve kaynak dikiş parametreleridir. Malzeme özelliklerinin her yerde aynı olmaması özellikle ilave kaynak malzemesi kullanılarak gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılarda çok belirgindir. İlave kaynak malzemesi prensipte esas malzeme ile aynı olmakla beraber, kaliteli kaynak dikişleri elde edilebilmesi için alıştırmalıdır. ITAB'da ısı akışına bağlı olarak farklı tane büyüklükleri ve sertlik değerleri, farklı akma sınırları, çatlak başlama ve çatlak ilerleme durumları ortaya çıkar. İlave malzeme kullanmadan yapılan kaynaklı birleştirmelerde bu düzensizliklerin sadece bir kısmı ortadan kalkar. Farklı malzeme özelliklerinin yanı sıra kaynak hataları da meydana gelir. Bunlar özellikle çatlaklar, gözenekler, boşluklar, yanma çentikleri, birleştirme hataları, kaynak metali fazlalığı gibi hatalardır. Nominal gerilme konsepti çerçevesinde bu tip imalat hataları, emniyet gerilmesinin kalite sınırlarına bağlı olarak düşürülmesi şeklinde dikkate alınır. Yerel konseptler çerçevesinde ise her hata yerel kriterlere göre değerlendirilir.

Yerel konseptlerin kaynak dikişlerinde kullanımı, kaynak dikişinin sapma gösteren veya tanımlanmayan geometrik parametrelerinden dolayı çok zordur. Dikiş geçişindeki ve dikiş

kökündeki, çentik yarıçapı, dikiş kenarının eğim açısı, aşırı dikiş yüksekliği ve yerel geometrinin diğer parametreleri geniş bir dağılma aralığında değişim gösterirler. Aynı şekilde çoğunlukla kontrolsüz bir şekilde kenar kayması ve aralık meydana gelebilir. Bu veriler somut olarak ölçme suretiyle elde edilebilir ve istatistiki olarak tanımlanabilir. Verilerin eksik olması durumunda, düşünülebilecek en kötü (uygunsuz) durum kabul edilerek yapılır. (Radaj, 2000)

#### 4.1 Emniyetli Gerilmeler Konsepti

Emniyetli gerilmeler konseptine göre nominal gerilmelerle kontrol genel olarak eşitlik 4.1'e göre yapılır.

$$\sigma_{n,mev} \leq \sigma_{em} \rightarrow \text{Mevcut nominal gerilme} \leq \text{Emniyetli gerilme}$$

$$\sigma_{em} = \frac{\text{Malzeme dayanım değeri (ölçü olarak alınan)}}{\text{Emniyet faktörü (S)}} \quad (4.1)$$

Emniyet faktörü (S) emniyet şartlarına, zorlamaların elde edilmesindeki belirsizliklere ve malzeme dayanım değerindeki sapmalara göre belirlenir. Nominal gerilme kontrolünde, emniyetli gerilmelerin ( $\sigma_{em}$ ) içinde konstrüktif çentik etkisi ve imalat tekniği bakımından meydana gelebilecek düzensizlikler ve malzeme dayanım değerinin belli bir miktarda düşürülmesiyle dikkate alınmaktadır.

Günümüzde en yaygın hesaplama yöntemi olarak kullanılan nominal gerilme konseptine göre emniyetli gerilmelerle ölçülendirme, değerlendirme sonuçlarının doğruluğu bakımından birçok dezavantaj içermektedir. Yeni detayların değerlendirilmesinde ve yapı elemanlarında, kaynaklı birleştirme bölgesinde bulunan büyük hacimli çentik etkisinin ve kaynaklı birleştirmenin kendisinden doğan çentik etkisinin ayırlamadığı durumlar için kullanımı sınırlıdır. (Neumann, 1997)

#### 4.2 Kısmi Emniyetler (Sınır Gerilme) Konsepti

Yeni gösterimlerde, bir dayanım kontrolünün yukarıda verilen üç elemanı aşağıda belirtildiği gibi açık bir şekilde birbirinden ayrılmaktadır.

**Etkiler** : Bütün yükleme ve zorlama çeşitleri  $\rightarrow$  F (Force)

**Direnç büyüklükleri**: Direnç; elastik veya plastik sınır durumlarında  $\rightarrow$  M (Material)

**Emniyet elemanları** : Kısmi emniyet katsayıları; Etkiler için  $\gamma_F$  ve direnç büyüklükleri için  $\gamma_M$  ve de etkiler için bir kombinasyon katsayısı  $\psi$

Burada F (bazen S ile de gösterilir), kuvvetler, momentler veya gerilmeler gibi her çeşit etkiler veya zorlamalar için ve M (bazen R ile de gösterilir). Yapı direnci, yapı elemanı direnci, elastik veya plastik sınır büyüklükleri ( Örneğin bir kesitin plastik momenti  $M_{pl}$ ) veya malzemenin dayanım değerleri gibi her çeşit direnç için kullanılmaktadır.(Neumann,1997)

Parçaların kontrolünde yükler bilinen yöntemlerle elde edilir. Bu şekilde elde edilen karakteristik zorlamalar  $F_k$ , etkiler için kısmi emniyet katsayısı  $\gamma_F$  ile ve gerektiğinde kombinasyon katsayısı  $\psi$  ile çarpılarak etkilerin ölçülendirme değeri  $F_d$  bulunur. Bu değer, ilgili direnç büyüklüğünün ölçülendirme değeri  $M_d$  ile karşılaştırılır.  $M_d$  değeri de karakteristik direnç değerinin  $M_k$  kısmi emniyet katsayısı  $\gamma_M$  'ye bölünmesiyle bulunur. Karakteristik direnç değeri en basit durumda malzeme dayanım değeridir.

Etkilerin ölçülendirme değeri  $\leq$  Direnç büyüklüğünün ölçülendirme değeri

$$F_d \leq M_d \rightarrow F_k \cdot \gamma_F \cdot \psi \leq \frac{M_k}{\gamma_M} \quad (4.2)$$

Yukarıda verilen her iki emniyet ve ölçülendirme konsepti, emniyetli gerilmeler konsepti ve kısmi emniyetler konsepti, bazen bir standart veya talimatname içerisinde mantıklı olarak kullanılmamaktadır. Bu nedenle her defasında hangi konseptin kullanıldığına iyice dikkat edilmesi tavsiye edilmektedir.

### 4.3 Makine Elemanları Kitaplarında Kullanılan Hesaplama Yöntemleri

Tasarımı yapılan bir makine elemanı iç ve dış zorlamaları emniyetle taşınmalıdır. Bunun için elemanda medyana gelen gerilmelerin emniyet gerilmesinin altında olması veya en fazla eşit olması gerekir. Gerilme kontrolleri buna göre yapılır. Buna göre gerekli olan şart;

$$\sigma_{zor} \leq \sigma_{em} \text{ veya } \tau_{zor} \leq \tau_{em} \quad (4.3)$$

Kaynaklı birleştirmelerde genellikle kaynak dikişinin emniyetle taşıyabileceği gerilmeler birleştirilen malzemelerinkine nazaran daha düşük olmaktadır. Prensip olarak kaynak dikişlerinin emniyet gerilmeleri birleştirilen malzemelerin emniyet gerilmelerine bağlı olarak tayin edilir. Birleştirme ve kaynak dikiş şekli, yükleme ve zorlama durumları, kaynak esnasında meydana gelebilecek hatalar ve dolayısıyla kaynak kalitesi, kaynaklı birleştirmelerin emniyetle taşıyabileceği gerilmeleri azaltıcı yönde etki eden faktörlerdir. İşletme esnasında dinamik yükler altında zorlanan bir makine elemanında yorulma kırılması, gerilme genliği için  $\sigma_a \leq \sigma_a$ , em ve üst gerilme için  $\sigma_o \leq \sigma_o$ , em şartlarının sağlanmasıyla önlenebilir.

Emniyetli (müsaade edilebilir) gerilme genliği  $\sigma_{a,em}$ , dayanılabilen gerilme genliği  $\sigma_A$ 'nın belirli bir emniyet katsayısı  $S$ 'ye bölümüyle elde edilir.

$$\sigma_{a,em} = \frac{\sigma_A}{S} \quad (4.4)$$

Emniyetli üst gerilme ise ortalama gerilme ( $\sigma_m$ ) ve emniyetli gerilme genliğinden ( $\sigma_{a,em}$ ) eşitlik 4.5'e göre hesaplanır.

$$\sigma_{o,em} = \sigma_m + \sigma_{a,em} \quad (4.5)$$

Kaynaklı birleştirmelerde emniyet gerilmelerinin tespit edilmesi önemli bir konudur. Makine elemanları kitaplarında başlıca iki yöntem mevcut olduğu görülmektedir.

#### 4.3.1 Birinci Yöntem

Dikiş şekli ve kalitesinden, iç gerilmelerden, çentik etkisi ve gerilme yığılmalarından ötürü kaynak gerilmelerinin hesabında daima bir belirsizlik söz konusu olur. Herhangi bir kaynak dikişinde bu tür etkileri tam olarak tahmin etmek çok zordur. Bütün bu mukavemet azaltıcı etmenlerden ve belirsizliklerden ötürü kaynak dikişi som malzemedan daha zayıftır. Bu zayıflık tek bir zayıflatıcı faktör ( $v$ ) ile ifade edilmektedir.

Normal gerilmeler için:

$$\sigma_{k,em} = v \cdot \sigma_{em} \quad (4.6)$$

Kayma gerilmeleri için:

$$\tau_{k,em} = v \cdot \tau_{em} \quad (4.7)$$

Burada  $\sigma_{em}$  ve  $\tau_{em}$  ana malzeme için mukavemet sınırları ( emniyet gerilmeleri) olup sırasıyla;

$$\begin{aligned} \sigma_{em} &= \frac{\sigma_{Ak}}{S} \\ \tau_{em} &= \frac{\tau_{Ak}}{S} \end{aligned} \quad (4.8)$$

olarak tanımlanır. Emniyet katsayılarının seçimi daha önce de belirtildiği gibi mühendisin sorumluluğundadır. Zayıflık faktörü  $v$  çok sayıda çarpandan oluşmaktadır. Bunlardan bazılarını belirlemek çok zordur.  $v_3$  ve  $v_4$  katsayıları çok özel imalatlarda kullanılır.  $u$  yüzden uygulamalarda ilk iki çarpan göz önüne alınmaktadır. Bunlar;



$V_1$ :Dikiş katsayısı

$V_2$ :Kalite katsayısıdır.

$V_3$ :Darbe katsayısı

$V_4$ :Gerilme yığılma katsayısı

(4.6) no'lu eşitlik statik ve dinamik yükleme durumları için aşağıdaki şekilde ifade edilir.

Statik yükleme durumunda;

$$\sigma_{k,em} = v_1 \cdot v_2 \cdot \frac{\sigma_{Ak}}{S} \quad (4.9)$$

$V_1$  Dikiş katsayısı: Deneysel verilerden ve uygulamada kazanılmış deneyimlerden yararlanılarak seçilir. Niemann'ın deneylerine göre statik yüklerde bütün bağlantı türleri için  $0,8 \approx 1$  arasında alınabilir. Ancak kaynak dikişleri dinamik yüklerden çabuk etkilenir. Bağlantıda dinamik etkiler söz konusu ise  $v_1$  katsayısı mutlaka göz önüne alınır ve a)bağlantı türüne, b) dikiş şekline ve c) zorlanma tarzına bağlı olarak tablo 4.1'den seçilir.

Tablo 4. 1 Değişken zorlamalarda çeşitli bağlantı ve dikiş şekilleri için  $v_1$  katsayısı (Niemann, 1981)

|                 | Gösterilişi        | Bütün Sac                                       | V-Dikişi               | V-Dikişi Alttan Kaynaklı | V-dikişi İşlenmiş       | X-Dikişi             | Eğik V-Dikişi           |
|-----------------|--------------------|---|------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
|                 | Kaynak İşareti     |   |                        |                          |                         |                      |                         |
|                 | Kaynak Şekli       |   |                        |                          |                         |                      |                         |
| $v_1$ katsayısı | Çeki-Bası          | 1   | 0,5                    | 0,7                      | 0,92                    | 0,7                  | 0,8                     |
|                 | Eğilme             | 1,2   | 0,6                    | 0,84                     | 1,1                     | 0,84                 | 0,98                    |
|                 | Kesilme            | 0,8   | 0,42                   | 0,56                     | 0,73                    | 0,56                 | 0,65                    |
|                 | <b>Gösterilişi</b> | <b>Tek Taraflı Çift Taraflı Düz Köşe Dikişi</b> |                        | <b>Köşe Alın Dikişi</b>  |                         | <b>Köşe X-Dikişi</b> |                         |
|                 | Kaynak İşareti     |   |                        |                          |                         |                      |                         |
|                 | Kaynak Kalınlığı   | a   | 2a                     | a                        | a                       | 2a                   |                         |
|                 | Kaynak Şekli       |   |                        |                          |                         |                      |                         |
| $v_1$ katsayısı | Çeki-Bası          | 0,22  | 0,3                    | 0,45                     | 0,6                     | 0,35                 |                         |
|                 | Eğilme             | 0,11  | 0,6                    | 0,55                     | 0,75                    | 0,7                  |                         |
|                 | Kesilme            | 0,22  | 0,3                    | 0,37                     | 0,5                     | 0,35                 |                         |
|                 | <b>Gösterilişi</b> | <b>Çift Taraflı</b>                             |                        |                          | <b>Tek Taraflı</b>      | <b>Köşe Alın</b>     | <b>Çift Taraflı</b>     |
|                 |                    | <b>Bombeli Köşe Dikişi</b>                      | <b>Düz Köşe Dikişi</b> | <b>Çökük Köşe Dikişi</b> | <b>Düz Köşe Dikişi</b>  | <b>Dikişi</b>        | <b>Köşe Alın Dikişi</b> |
|                 | Kaynak İşareti     |   |                        |                          |                         |                      |                         |
|                 | Kaynak Kalınlığı   | 2a  | 2a                     | 2a                       | a                       | a                    | a                       |
|                 | Kaynak Şekli       |   |                        |                          |                         |                      |                         |
| $v_1$ katsayısı | Çeki-Bası          | 0,32  | 0,35                   | 0,41                     | 0,22                    | 0,56                 |                         |
|                 | Eğilme             | 0,69  | 0,7                    | 0,87                     | 0,11                    | 0,8                  |                         |
|                 | Kesilme            | 0,32  | 0,35                   | 0,41                     | 0,22                    | 0,45                 |                         |
|                 | <b>Gösterilişi</b> | <b>Kapak Alın Dikişi</b>                        |                        |                          | <b>Kapak Yan Dikişi</b> |                      |                         |
|                 | Kaynak Şekli       |   |                        |                          |                         |                      |                         |
| $v_1$ katsayısı | Çeki               | 0,22  |                        | 0,25                     | 0,25                    | 0,48                 |                         |

$V_2$  Kalite Katsayısı: Kaynak dikişinin kalitesine göre belirlenir. Bu değerler üçe ayrılmaktadır.

I.Kalite için;  $v_2=1,0$  (özel kalite)

II.Kalite için;  $v_2=0,8$

III.Kalite için;  $v_2=0,5$

**I.Kalite:** Çok yüksek statik veya dinamik olarak zorlanan elemanlara uygulanan özel kalitedir. Çentik etkisinin giderilmesi veya asgari bir düzeye indirilmesi için kaynak dikişlerinin işlenmesi gerekir. Alın ve köşe dikişlerin kök tarafı işlenip takviye dikişi yapılmalıdır. Bütün dikişlerin röntgen muayenesi ile emniyetli olduğu garanti edilmelidir. Kaynak sadece denenmiş diplomalı kaynakçılar tarafından yapılmalıdır.

**II.Kalite:** Statik veya dinamik zorlamalara karşı dayanıklı olması gereken elemanlara uygulanır. Alın dikişleri boyunca nüfuziyet tam olmalı ve kaynaklanmamış kısımlar bulunmamalıdır. Kaynak dikişi önemli bir kaynak hatası göstermemelidir. Muayene kapsamı konstrüksiyon bürosunca belirlenir. Genellikle denemiş, sınav başarmış kaynakçılar gereklidir.

**III.Kalite:** Düşük statik veya dinamik zorlamalara maruz elemanlara uygulanan normal konstrüksiyon kaynağıdır. Kök tarafına takviye dikişi genellikle gerekli değildir. Muayene genellikle yapılmaz. Denenmiş diplomalı kaynakçılar gerekmemektedir.

Dinamik zorlamalarda kaynak dikişi sürekli mukavemete göre kontrol edilebilir. Esas malzemeye ait  $\sigma_D$  veya  $\sigma_S$ 'ler için sürekli mukavemet diyagramı kullanılarak tam değişken yüklerde;

$$\sigma_{kem} = v_1 \cdot v_2 \cdot \frac{\sigma_D}{S}, \tau_{kem} = v_1 \cdot v_2 \cdot \frac{\tau_D}{S} \quad (4.10)$$

Diğer yük değişimleri için ( $\sigma_m \neq 0, \sigma_{\bar{u}} = \sigma_m + \sigma_g$ )

$$\sigma_{k, Dem} = \frac{K_k \cdot \sigma_D}{K_{k\phi} \cdot S} \quad (4.11)$$

alınabilir. Kaynak dikişine gelen üst gerilme;

$$\sigma_{k\bar{u}} \leq \sigma_{kem}$$

### 4.3.2 İkinci Yöntem

Bu yöntem sonuç olarak birinci yöntemle aynıdır. Burada değişik olan farklı simgelerin kullanılmış olmasıdır (Akkurt,1990). Bu yönteme göre;

Statik yükleme durumunda:

$$\sigma_{k,em} = K_k \cdot \frac{\sigma_A}{S} \quad (4.12)$$

Dinamik yükleme durumunda:

$$\sigma_{k, Dem} = \frac{K_k \cdot \sigma_D}{K_{k\phi} \cdot S} \quad (4.13)$$

$K_k$  : Kaynak dikiş kalite faktörü ( $v_2$ 'ye denk gelmektedir)

$K_{kç}$  : Kaynak dikiş çentik faktörü ( $1/v_1$ 'ye denk gelmektedir)

#### **4.4 Kaynaklı Konstrüksiyon Tasarımcılarının Kullandığı Hesaplama Yöntemleri**

Emniyetli kaynak dikiş gerilmeleri, hesaplanmak suretiyle elde edilebilmelerinin yanında, çoğunlukla özel olarak hazırlanmış standart veya talimatnamelerdeki çizelge veya yorulma diyagramlarından direkt olarak alınırlar. Kaynak dikişleri bu standart ve talimatnamelerde öngörülen şekilde gerçekleştirildiğinde ve muayeneleri yapıldığında, çizelge veya diyagramlardan alınan emniyetli dikiş gerilmesi değerleri güvenle kullanılmaktadır. Kaynaklı konstrüksiyonların tasarımı ile uğraşanlar bu yöntemi kullanmaktadır. Örneğin statik zorlanma durumları için çelik yapıların hesaplanmasında standartlaştırılmış emniyetli kaynak dikiş gerilmeleri DIN 18800 kısım 1'den alınmaktadır.

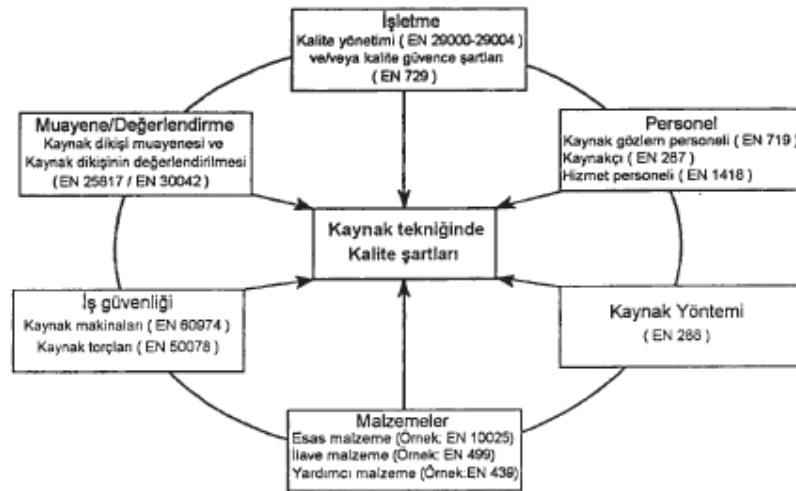
Son zamanlarda Uluslar arası Kaynak Enstitüsü (IIW)'nin, kaynaklı parçaların yorulma dayanımının hesaplanması için düzenlediği somut ve uluslar arası tavsiyeleri bulunmaktadır.

## 5. KAYNAK TEKNİĞİNDE DAYANIM HESAPLAMALARI VE KALİTE SINIF BELİRLEMELERİNDE KULLANILAN STANDART VE TALİMATNAMESLER

Avrupa standartları, ürün ve hizmet kalitesinin güvencesini kuvvetli bir şekilde kuruluşların kalite yönetimi sistemlerine, bunların kontrol ve dokümantasyonuna, nitelikli ve sorumluluk bilinci içinde çalışan personele dayandırmaktadır. Avrupa standardı olarak EN 29000'den EN 29004 'e kadar olan standartlarda kalite yönetimi sisteminin şartları tespit edilmiştir. Buradaki kurallar üretim ve hizmetle ilgili tüm alanlarda geçerli olan genel şartlar olup özel üretim ve hizmet prosesleri için minimum şartların detaylandırılmış tespitleri tek tek ele alınmamıştır. Bu nedenle özel üretimlerin kalite güvencesi ile ilgili detayları için ayrı standartların oluşturulması zorunludur.

Kaynak tekniğinde de son yıllarda kaliteyi ilgilendiren ve kaliteyi düzenleyen Avrupa standartlarının sayısı gittikçe artmaktadır. Mevcut Avrupa standartlarıyla şekil 5.1 'de gösterildiği şekilde bir kalite çemberi oluşturularak kaynak tekniğinde bir kalite sistemi kurulmuştur.( TS EN 729–1/1997 ve TS EN 729–2/1997)

EN 729 metalik malzemelerin ergitme kaynağı için kalite şartları adı altında dört kısımda oluşmakta ve EN 29000 standart serisinin tamamlayıcısı olarak birlikte bir kalite sisteminin oluşturulmasını sağlamaktadır. Aşağıda da belirtileceği gibi bu standardın birinci kısmında standardın yapısı gösterilmiş, seçim ve kullanımı ile ilgili kurallar açıklanmıştır.



Şekil 5. 1 Kaynak Tekniğinde Kalite Çemberi (Bechnisch,1996)

EN 729: Kaynak tekniğinde kalite şartları-Metalik malzemelerin ergitme kaynağı-

Kısım 1: Seçim ve kullanım için talimatlar

Kısım 2: Kapsamlı kalite şartları

Kısım 3:Standart kalite şartları

Kısım 4: Elementer kalite şartları

Kalite çemberi içinde önemli etken insan veya uzman personeldir. El kaynakçıları EN 287 kısım 1 ve 2'ye göre sınavdan geçirilmektedir. Kaynak hizmet personelinin ehliyeti EN 1418'e göre ve kaynak gözlem personelinin ehliyeti de EN 719' a göre sağlanmaktadır.EN 288 ile metalik malzemelerin kaynak yöntemlerinin (prosedürlerinin) şartnamesi ve onayı düzenlenmiştir. Bu standardın 1.kısımı ergitme kaynağı için genel kuralları göstermektedir. 2. kısımdan ark kaynağı için kaynak talimatları vardır.3.kısım çeliklerin ve 4. kısım alüminyum ve alaşımlarının ark kaynağı için kaynak yöntemi testlerini içermektedir.

Çeşitli ürünlerin üretimi için kullanılan diğer imalat yöntemlerinde olduğu gibi kaynaklı birleştirmelerin kalitesi de konstrüktif şekillendirme diğer bir ifadeyle tasarım aşamasında oluşturulmalıdır. Bu konuda dikkatle alınması gereken başlıca kriterler zorlama durumu, işletme şekli, sıcaklık, çevre koşulları ve öngörülen ömürdür. Bunların yanında işletme emniyeti, kullanılacak kaynak imalat yöntemi ve muayene yöntemi de dikkate alınmalıdır. Kaynaklı birleştirmelerin kalitesi ve imalat maliyetinde odak noktası kaynak dikişidir. Çünkü hataların meydana gelme olasılığının en yüksek olduğu yer kaynak dikişleridir. İmalat esnasında oluşacak hataların kontrol altında tutulması ve mümkün olduğunca hatasız ve dolayısıyla kaliteli kaynak dikişlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Özellikle dinamik zorlamalar altında çalışan konstrüksiyonlar daha yüksek kalitede dikişler gerektirmektedir. İstenilen kalite seviyesine göre kabul edilebilecek hatalar ve büyüklükleri standartlarla sınırlandırılmıştır. Kaynak hatalarının çeşitleri ve sınıflandırılması ile ilgili olarak çıkarılan EN 26520 ile birlikte kaynak dikişlerinde değerlendirme gruplarını ( kalite seviyelerini) gösteren EN 25817 kaliteli kaynak dikişlerinin elde edilmesi açısından önemli olup, bu konuda daha önce çıkarılmış olan standartlara nazaran önemli değişiklikler içermektedir.

Statik ve özellikle dinamik zorlamalara maruz kaynaklı konstrüksiyonların zorlamalar karşısında emniyetle çalışabilmesi için kaynak dikişlerinde belirli bir kalitenin sağlanması gerekir. Kaynak dikişinin emniyetle taşıyabileceği gerilmeler bu belirlenen kaynak kalitesine bağlıdır. Bu nedenle yukarıda belirtilen kriterle dikkate alınarak tasarım aşamasında EN 25817' ye göre bir değerlendirme grubu seçilmeli (B: Yüksek, C: Orta: D: Düşük) ve bu grubun gerektirdiği sınır değerler (düzensizlikler için) elde edilmelidir. Bunların kontrolü çeşitli tahribatsız muayene yöntemleriyle sağlanmaktadır.

### 5.1 Kaynak Dikişlerinde Standartlara Göre Değerlendirme Grupları

Kaynak dikişlerinin gösteriminde verilen değerlendirme ( kalite ) grubu, konstrüksiyonun tasarım aşamasında işleme koşulları, imalat koşulları ve maliyet dikkate alınarak önceden belirlenir. Kaynaktan sonra da kaynak dikişinin belirlenen bu değerlendirme grubuna uygunluğu kontrol edilir. Bu amaçla genellikle tahribatsız muayene yöntemleri kullanılır.

EN 25817'den önce mevcut olan DIN 8563 kısım 3'te yapılan kaynaklı birleştirmelerin değerlendirilmesinde temel olan esaslar belirlenmiştir. Bu standarttaki değerlendirmeye göre alın dikişleri AS, BS, CS, ve DS olmak üzere dört grupta ve köşe dikişleri AK, BK ve CK olarak 3 grupta sınıflandırılmıştır. ( DIN 8563 Teil 3/ 1985). Bu değerlendirmeye göre şartların belirlenmesinde alın dikişleri için 19 ve köşe dikişleri için 14 bulgu (düzensizlik) dikkate alınmıştır. Avrupa standardı olarak çıkarılan EN 25817, DIN 8563 kısım 3'ün yerini almış ve kaynak dikişleri için değerlendirme gruplarında önemli değişiklikler yapılmıştır. EN 25817' de kaynak dikişleri alın ve köşe dikişleri ayrımı yapılmaksızın B, C ve D olarak üç değerlendirme grubuna ayrılmıştır. Bu standartta EN 26520'ye göre sınıflandırılan düzensizlikler ( metallerin kaynaklı birleştirmelerinde ) dikkate alınmıştır. Değerlendirme grubuna göre bu düzensizlikler için sınır değerler verilmiştir. EN 25817 ve DIN 8563 kısım 3'e göre değerlendirme gruplarının karşılaştırılması tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5. 1 EN 25817 ve Din 8563 Kısım 3 ' e göre değerlendirme grupları ve seçim kriterleri <sup>[3,4]</sup>

| DIN 8563 Kısım 3                     | Değerlendirme Grupları |   |    |      |       |     |
|--------------------------------------|------------------------|---|----|------|-------|-----|
|                                      | Alın Dikişleri         |   | AS | BS   | CS    | DS  |
| Köşe Dikişleri                       |                        | AK  | BK | CK   |       |     |
| EN 25817                             | (A)                    | B   |    | C    | D     | (E) |
| Bütün Dikişler                       |                        | B   |    | C    | D     |     |
| Zorlamalar ve istenenler ( Şartlar ) | *)                     | Yüksek  |    | Orta | Düşük | *)  |
| Seçim Kriterleri ( Örnekler )        | Yüksek                 | Düşük   |    |      |       |     |
|                                      |                        | Dinamik zorlama, Tehlike, Maliyet, Muayene masrafları |    |      |       |     |
| *) Özel isteklere göre tanımlanır    |                        |   |    |      |       |     |

EN 25817'de verilen değerlendirme gruplarında kalite D'den B'ye doğru yükselmektedir. Buna bağlı olarak düzensizliklerin kabul edilebilirlik üst sınırları aşağı çekilmektedir. Bu da aynı zamanda kaynak dikişlerinin imalat maliyetinin ve muayene masraflarının artması anlamına gelmektedir. B değerlendirme grubu genellikle yüksek zorlanmalara maruz ve tehlike

arz eden durumlarda seçilmesi gereken bir değerlendirme grubudur. Orta seviyedeki zorlanmalar için C ve düşük seviyedeki zorlanmalar için de D grubu seçilir. Ancak bunların seçimi belirli kriterlerin değerlendirilmesi sonucu yapılmalıdır. Bu değerlendirme gruplarının dışında, şartları standartta belirtilmemiş olan A ve E grupları da vardır. Bu gruplar özel durumlar için geçerli olup sınır şartları siparişi verenlerle konstrüksiyonu gerçekleştirenler arasındaki anlaşmayla belirlenmektedir. A grubu aşırı zorlama durumlarında ve özel isteklerin bulunması halinde, E grubu ise çok düşük seviyedeki zorlama ve isteklerin bulunması durumunda söz konusu olmaktadır.

## **5.2 Kaynak Dikişleri İçin Değerlendirme Gruplarının Belirlenmesi**

Kaynak konstrüktörü tarafından kaynaklı birleştirmeler için gerekli olan değerlendirme grubunun saptanması kolay bir görev değildir. EN 25817' de tanımlanan düzensizlikler için değerlendirme kriterleri ve değerlendirme grupları, kaynaklı konstrüksiyonların ve yapı elemanlarının tasarım aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır. Değerlendirme grubunun seçimi kaynaklı konstrüksiyonlardaki zorlama çeşidi dikkate alınarak yapılmaktadır. Kaynaklı yapı elemanları kullanımları esnasında çeşitli zorlamaların etkisi altında bulunmaktadır. Örneğin iç basınç, yüksek veya düşük sıcaklıklar, korozyon, dış kuvvetler gibi.

Düzensizliklerin sınır değerleri EN 25817' de istenene (şartlara) göre D (düşük derecedeki istekler için), C (orta derecedeki istekler için) ve B (yüksek derecedeki istekler için) olarak üç değerlendirme grubunda belirlenmiştir. Bu üç değerlendirme grubundan birinin seçiminde statik veya dinamik zorlama durumları için ayrı değerlendirmeler yapılmalıdır (Neumann, 1994)

Bir yapı elemanının kaynaklı birleştirmesi için değerlendirme grubunun saptanmasında EN 25817' ye göre farklı değerlendirme gruplarından düzensizlikler ortaya çıkabilir. Böyle durumlarda emniyet (güvenlik) veya kaynaklı yapı elemanlarının sonraki işlemleri için önem arz eden değerlendirme grubu seçilmelidir. Bir kaynaklı birleştirmede çeşitli düzensizlikler için de farklı değerlendirme grupları seçilebilir. Aşağıdaki bölümlerde değerlendirme grubunun seçimi için yapılan saptamalar tavsiye niteliğinde olup statik ve dinamik zorlamalar ayrı olarak değerlendirilmiştir. Meydana gelen düzensizlikler ve zorlama doğrultularına bağlı olarak alın dikişlerinin köşe dikişlerinden çok farklı yorulma davranışları göstermesi nedeniyle bu iki dikiş şekli için değerlendirme gruplarının seçim önerileri ayrı olarak yapılmıştır.



### 5.3 EN 25817 Dikkate Alınarak Düzenli Olmayan Alanlarda Yapılan Kaynaklı Birleştirmelerin Hesaplanması İçin Tavsiye Edilen Bir Yöntem

#### 5.3.1 Statik Zorlama Durumunda Değerlendirme Grubun Saptanması

Eğer mevcut talimatlarla belirlemeler yapılmamışsa statik zorlama durumunda alın ve köşe dikişleri için tablo 5.2 'de EN 25817' ye göre verilen değerlendirme gruplarının seçimi tavsiye edilmektedir. Zorlamalar, kaynakla birleştirilen malzemenin emniyetle taşıyabileceği gerilmelerin kullanılma derecesine göre düşük, orta ve yüksek olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırmaya göre gerilmeler aşağıdaki şekilde ifade edilir.

Düşük:  $\sigma_{zor} \leq 0,50 \cdot \sigma_{em}$

Orta:  $0,50 \cdot \sigma_{em} \leq \sigma_{zor} \leq 0,75 \cdot \sigma_{em}$  (5.1)

Yüksek:  $0,75 \cdot \sigma_{em} \leq \sigma_{zor} \leq \sigma_{em}$

Kaynaklı birleştirmeler için emniyetli gerilmeler ( $\sigma_{em}$ ) aşağıdaki şekilde bulunur.

- Alın dikişleri için  $\sigma_{em}$  esas metalin (örneğin çelik ) emniyetli gerilmesine eşittir.
- Köşe dikişleri için  $\sigma_{em}$  esas metalin emniyetli gerilmesinin %65'ine eşittir.

Esas metalin (çeliklerin) emniyetli gerilmeleri olarak yapı elemanının ölçülendirilmesi için seçilen değerler alınmaktadır.

Tablo 5. 2 Statik zorlama durumunda alın ve iç köşe dikişleri için EN 25817'ye göre verilen değerlendirme gruplarının seçimi için (Neumann, 1994)

| No   | Düzensizliğin Tanımlanması                                 | Emniyetli gerilmenin kullanılma derecesine göre değerlendirme grupları |       |        |
|--|--|--|-------|--------|
|  |  | ~ %50  | ~ %75 | ~ %100 |
| 1  | Çatlaklar  | -  | -     | -      |
| 2  | Nihai krater çatlağı                                       | D  | C     | B      |
| 3  | Gözeneklilik ve gaz gözenekleri                            | D  | C     | B      |
| 4  | Gözenek ağı (kümelenmiş gözenekler)                        | D  | C     | B      |
| 5  | Gaz kanalı (uzun boşluk)                                   | D  | C     | B      |
| 6  | Katı kalıntılar (bakır hariç )                             | D  | C     | B      |
| 7  | Bakır kalıntıları  | -  | -     | -      |
| 8  | Ergime noksanlığı (birleştirme hataları)                   | D  | -     | -      |
| 9  | Nüfuziyet noksanlığı (yetersiz kaynak)                     | D  | C     | B      |
| 10   | Kötü alıştırma, iç köşe dikişi                             | D  | C     | B      |
| 11   | Yanma çentikleri (oluklar)                                 | C  | C     | B      |
| 12   | Aşırı kaynak metali(dış bükeylik) alın dikişi              | D  | D     | B      |
| 13   | Aşırı dış bükeylik, iç köşe dikişi                         | D  | D     | D      |
| 14   | Anma değerinden daha büyük yüksekliğe sahip iç köşe dikişi | D  | D     | D      |
| 15   | Anma değerinden daha küçük yüksekliğe sahip iç köşe dikişi | D  | C     | B      |
| 16   | Aşırı kök sarkması   | D  | D     | D      |
| 17   | Yerel çıkıntılar   | D  | C     | B      |
| 18   | Doğrusal kenar kaçıklığı                                   | D  | C     | B      |
| 19   | Üst paso çukurluğu (çökme)                                 | D  | C     | B      |
| 20   | Aşırı asimetrik iç köşe dikişi                             | D  | C     | C      |
| 21   | Kök iç bükeyliği,kök çentiği                               | D  | C     | B      |
| 22   | Kaynak metali taşması                                      | D  | -     | -      |
| 23   | Kötü tekrar başlama  | D  | -     | -      |
| 24   | Tutuşturma yeri  | X  | X     | X      |
| 25   | Sıçramalar   | X  | X     | X      |
| 26   | Herhangi bir kesitte çoklu düzensizlikler                  | D  | C     | B      |
| Bütün düzensizlikler için tek bir değerlendirme grubunun seçimi için öneri |  |  |       |        |
| *  | Özel belirlemeler yoksa                                    | C  | C     | B      |
| *  | Özel belirlemeler olması durumunda                         | D  |       |        |
| - EN 25817'ye göre müsaade edilmez   |  |  |       |        |
| X EN 25817'ye göre müsaade edilebilirliği kullanıma bağlı                  |  |  |       |        |

### 5.3.2 Dinamik Zorlamalar Durumunda Değerlendirme Gruplarının Saptanması

Dinamik yüklemeler için EN 25817'ye göre değerlendirme grubu seçiminde, kaynaklı birleştirmenin yorulma davranışının önemli bir etkisi vardır. Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW)'nin, kaynaklı parçaların yorulma dayanımının hesaplanması için düzenlediği somut ve uluslararası tavsiyeleri bulunmaktadır. Bu amaçla, çeşitli kaynaklı birleştirmelerin ve kaynaklı

parçaların çentik durumlarına uygun şekilde sınıflandırılan Wöhler eğrilerinin bulunduğu bir ağ tavsiye edilmektedir. Bu çentik durumlarına göre bütün kaynak edilebilir çelikler için geçerli olan sınıflar şekil 5.2 'te gösterilmiştir. Bu sınıflandırma şekli iki milyon çevrim sayısı için gerilme alanı (  $R=0$  için  $N/mm^2$  olarak  $2 \cdot \sigma_{g,em}$ ) dikkate alınarak yapılmıştır. Çeşitli tipteki kaynak birleştirmeleri, zorlama durumları, imalat şekilleri ve mevcut durumuna göre Wöhler eğrileri ağında olan sınıfları tablo 5.3'de gösterilmiştir.

Tablo 5.3 'te örnek olarak bir alın dikişinin dinamik yüklenme durumunda EN 25817'ye göre değerlendirme gruplarındaki düzensizlikler için IIW tavsiyelerine göre verilen sınıflar gösterilmiştir. Bu veriler, değerlendirme gruplarındaki düzensizliklerin kaynaklı konstrüksiyonların yorulma davranışına etkisini gösteren yönlendirici değerlerdir. Mevcut talimatnamelerde belirli bir tespit yapılmadığı durumlarda, değerlendirme gruplarının seçiminde yardımcı olmak üzere temel esasları oluştururlar. Diğer birleştirme şekilleri için aynı şekilde düzenlemeler yapılabilir. Kırılmanın kaynak dikişinin (kaynak metalinin) haricinde meydana gelmesi bekleniyorsa, iç düzensizlikler (bulgular) için daha düşük şartlar, örneğin değerlendirme grubu C seçilir.

Bir kaynaklı birleştirmede bütün düzensizlikler için tek bir değerlendirme grubunun saptanması için tablo 5.3'ün alt kısmında IIW' nin belirlediği sınıflara göre yapılan düzenleme önerisi sunulmuştur. Bunun yanında tablo 5.4'te düzensizlikler yorulma dayanımını azaltıcı veya arttırıcı sınır değerleri için özel belirlemelerle ilgili öneriler verilmiştir.

Tablo 5. 3 Alın dikişi ( enine zorlanan) : EN 235817’de verilen düzensizlikler ve değerlendirme gruplarına göre IIW-sınıflarının koordinasyonu için tavsiyeler (Neumann, 1994)

| No   |   | Düzensizliğin Tanımı                            | Değerlendirme grupları için IIW'ye göre yorulma sınıfları |    |     |
|--|---|---|---|----|-----|
|  |   |   | D   | C  | B   |
| 1  |   | Çatlaklar                                       | -   | -  | -   |
| 2  |   | Nihai krater çatlağı                            | 40  | -  | -   |
| 3  |   | Gözeneklilik ve gaz gözenekleri                 | 71  | 80 | 90  |
| 4  |   | Gözenek ağı (kümelenmiş gözenekler )            | 71  | 80 | 90  |
| 5  |   | Gaz kanalı ( uzun boşluk) Uzun                  | 56  | -  | -   |
|  |   | Kısa  | 63  | 71 | 71  |
| 6  |   | Katı kalıntılar (bakır hariç) Uzun              | 56  | -  | -   |
|  |   | Kısa  | 63  | 71 | 71  |
| 7  |   | Bakır kalıntıları                               | -   | -  | -   |
| 8  |   | Ergime noksanlığı (birleştirme hataları)        | 56  | -  | -   |
| 9  |   | Nüfuziyet noksanlığı Uzun                       | -   | -  | -   |
|  |   | (yetersiz kaynak) Kısa                          | 56  | 63 | -   |
| 10   |   | Kötü alıştırma, iç köşe dikişi                  | *   | *  | *   |
| 11   |   | Yanma çentikleri (olukları)                     | 56  | 63 | 71  |
| 12   |   | Aşırı kaynak metali (dış bükeylik), alın dikişi | 71  | 80 | 100 |
| 13   |   | Aşırı dış bükeylik, iç köşe dikişi              | *   | *  | *   |
| 14   |   | Anma değerinden daha yüksek olan iç köşe dikişi | *   | *  | *   |
| 15   |   | Anma değerinden daha küçük olan iç köşe dikişi  | *   | *  | *   |
| 16   |   | Aşırı kök sarkması                              | 56  | 63 | 71  |
| 17   |   | Yerel çıkıntılar                                | 71  | 80 | 100 |
| 18   |   | Doğrusal kenar kaçıklığı                        | 71  | 80 | 100 |
| 19   |   | Üst paso çukurluğu (çökme) Uzun                 | -   | -  | -   |
|  |   | Kısa  | 71  | 80 | 100 |
| 20   |   | Aşırı asimetrik iç köşe dikişi                  | *   | *  | *   |
| 21   |   | Kök iç bükeyliği                                | 71  | 80 | 100 |
| 22   |   | Kaynak metali taşması                           | 71  | -  | -   |
| 23   |   | Kötü tekrar başlama                             | 71  | -  | -   |
| 24   |   | Tutuşturma yeri                                 | X   | X  | X   |
| 25   |   | Sıçramalar                                      | X   | X  | X   |
| 26   |   | Herhangi bir kesitte çoklu düzensizlikler       | 63  | 71 | 80  |
| Bütün düzensizlikler için tek bir değerlendirme grubunun seçimi için öneri |   |   |   |    |     |
| Özel belirlemeler yoksa  |   |   | 40  | 63 | 71  |
| Özel belirlemeler yoksa  |   |   | 71  | 80 | 100 |
| Özel belirlemelerle özel alın dikişi A                                     |   |   |   |    | 125 |
| -  | EN 25817'ye göre müsaade edilmez                        |   |   |    |     |
| *  | EN 25817'ye göre alın dikişleri için değil              |   |   |    |     |
| X  | EN 25817'ye göre müsaade edilebilirliği kullanıma bağlı |   |   |    |     |

Tablo 5. 4 Tablo 5.3 için özel belirlemeler (Neumann,1994)

| No   | Düzensizlikler                                 | Şartlar   |
|--|--|---|
| 2  | Nihai krater çatlağı                           | D'de müsaade edilmez  |
| 3,4,5  | Gözeneklilik                                   | İlaveten No.26  |
| 6  | Katı kalıntılar (bakır hariç)                  | Uzun düzensizlik D'de müsaade edilmez,kısa düzensizlik B'de müsaade edilmez,CveD'de $h \leq 0,3$ s.ü  |
| 8  | Ergime noksanlığı (birleştirme hataları)       | D'de müsaade edilmez  |
| 9  | Nüfuziyet noksanlığı (yetersiz kaynak)         | C ve D 'de müsaade edilmez.   |
| 11   | Yanma çentikleri                               | B'de müsaade edilmez,dikiş geçişi taşlanmalı,C ve D'de sadece kısa düzensizliğe müsaade edilir. $h \leq 0,1$ t $\leq 0,5$ mm  |
| 16   | Aşırı kök sarkması                             | Sadece yumuşak geçişle,sınır değer 12 no'lu düzensizlikler "aşırı kaynak metalinde "olduğu gibi veya taşlama veya karşı paso  |
| 18   | Doğrusal kenar kaçıklığı                       | B'de müsaade edilir.Levhalar,uzunlamasına kaynak dikişleri $h \leq 0,15$ . t $\leq 2$ mm, çevre kaynak dikişleri $h \leq 0,20$ . t $\leq 3$ mm  |
| 21   | Kök iç büyüklüğü,kök çentiği                   | B'de uzun düzensizliklere müsaade edilmez.Kısa düzensizlikler $h \leq 0,1$ t  |
| 24   | Tutuşturma yeri                                | B'de müsaade edilmez.   |
| 25   | Sıçramalar                                     | B'de müsaade edilmez.   |
| 26   | Herhangi bir kesitte çoklu düzensizlikler      | Tek tek düzensizlikler aşağıdaki şartlar sağlandığı sürece toplanabilir.100mm'lik bir uzunluk içinde herhangi bir uzunlamasına kesitte düzensizliklerden serbest olan net alanın en azından 0,95.100s veya 0,95.100t veya 0,95.100a olması halinde.Bunun yanında (örneğin aşırı ölçülerde)istenen s,t,a değerleri dikkate alınır.(s=alın dikişi kalınlığı,t=levhanın veya borunun et kalınlığı, a=iç köşe dikişi kalınlığı).3,4,5 nolu düzensizliklerin toplam yüzeyleri,röntgen filminin resim yüzeyinin veya kırılma yüzeyinin (dikiş kesiti) %2'sini geçmemelidir. |
| <b>Özel alın dikişi A için özel belirlemeler</b>   |  |   |
| Çok yüksek dinamik zorlamalar için i sınıf 125'e koordine edilmiş.<br>yukarıdaki 2,3,4,5,6,8,9,11,16,18,21,24,25 ve 26 nolu düzensizlikler için saptanmış özel belirlemelere ilaveten aşağıdaki belirlemeler geçerlidir. |  |   |
| 12   | Aşırı kaynak metal ( dış büyüklük),alın dikişi | Yüzey işlenerek düzeltilmiş   |
| 16   | Aşırı kök sarkması                             | Yüzey işlenerek düzeltilmiş   |

#### 5.4 DIN 18800–1

Standardın yeni şeklinde, çelik yapıların hesaplarla gerçekleştirilen kontrol yöntemi kısmi emniyet katsayıları yöntemine dönüştürülmüştür. Standardın eski şekliyle de kullanılmasına müsaade edilmiştir. Ancak eski standartta mevcut olan emniyetli gerilmelerle ölçülendirme konsepti 1995 yılında sona ermiştir. 1996 ocak ayından itibaren DIN 18800'e ve Eurocode 3'e göre kısmi emniyetler konseptinin (sınır durumlar veya sınır gerilmeler konsepti) kullanılması zorunlu hale getirilmiştir.

Bu standartlardan DIN 18800–1 (11/1990), çelik yapılandırma ölçülendirme ve konstrüksiyon adını taşımakta olup statik yükleme durumları için geçerlidir. Standardın yeni şeklinde yapı

elemanlarının kontrolleri yeni ölçülendirme diğer bir ifade ile zorlanabilirliğe göre yapılan ölçülendirmelidir. Buna göre kontrol aşağıda verilen şart sağlandığında yapılmış olmaktadır.

$$S_d(\text{mevcut zorlama}) \leq R_d(\text{yapı elemanının zorlanabilirliği})$$

Zorlanabilirlikte elde edilen sınır gerilme değerleri, eski konseptteki normal gerilmelere nazaran daha yüksek değerlerdir. Ancak burada zorlamada ( $S_d$ ) kısmi emniyet katsayılarıyla yükseltilmiş sürekli veya değişken etkilerdir. Taşıma emniyetinin kontrolü için standartta, kullanılan yapı elemanının elastik veya plastik davranışıyla ilgili olarak, üç yöntem seçime sunulmuştur. Yukarıda belirtilen kavramlarla ilgili açıklamalar aşağıda yapılmıştır.

### **Etkiler F**

Etkilerde karakteristik değerler  $F_k$ , burada zamana göre değişkenliğe bağımlı olarak aşağıdaki şekilde ayırt edilir. (Scheermann, 1994)

- Sürekli etkiler  $G_k$  (Örneğin özgül ağırlık)
- Değişken etkiler  $Q_k$  ( Örneğin trafik yükü)
- Alışılmışın dışındaki etkiler  $F_{A,k}$  (Örneğin montaj durumları)

Etkilerin ölçülendirme değeri  $F_d$ , etkilerin karakteristik değerlerinin  $F_k$  bir kısmi emniyet katsayısı  $\gamma_F$  ile çarpımıyla yani yükseltilmesiyle elde edilir.

$$F_d = \gamma_F \cdot F_k \quad (5.2)$$

Olumsuz etki eden bütün değişken etkilerin  $Q_k$  dikkate alınması gerektiğinde bir kombinasyon katsayısı ilave edilebilir.

$$F_d = \gamma_F \cdot \psi \cdot F_k \quad (5.3)$$

### **Kısmi emniyet katsayıları $\gamma_F$**

Zorlamadaki kısmi emniyet katsayıları yükleme çeşidine veya yükleme kombinasyonuna göre 1,35 ile 1,5 arasında değişmektedir. Sürekli etki eden yükler söz konusu olduğunda kısmi emniyet katsayısı 1,35'dir. Eğer değişken yükler ağırlıktaysa kısmi emniyet katsayısı 1,5 olarak alınmaktadır. Birçok değişken yük aynı anda etki ederse ( rüzgâr, kar, vinç yükü gibi), kısmi emniyet katsayısı tekrar küçülür Çünkü bütün değişken yüklerin aynı anda uzun süre etkili olma olasılığı çok düşüktür. (Hofmann,1993)

Sürekli etkiler  $\rightarrow G_d = \gamma_F \cdot G_k$  ( $\gamma_F = 1,35$  sürekli etkiler için )

Değişken etkiler  $\rightarrow Q_d = \gamma_F \cdot Q_k$  ( $\gamma_F = 1,35$  sürekli etkiler için )

Birden fazla değişken etkiler  $\rightarrow Q_{d,i} = \gamma_F \cdot \psi_i \cdot Q_k$  ( $\psi_i=0,9$ )

Alışılışıın dışındaki etkiler  $\rightarrow F_{A,d} = \gamma_F \cdot F_{A,k}$  ( $\gamma_F=1,0$  özel durumlar için )

Bu kısmi emniyet katsayıları etkilerle ilgili olup hem statik sistemden hem de seçilecek olan malzemeden bağımsızdır. Bütün ölçülendirme değerlerinin toplanmasıyla belirli bir yapı elemanı için geçerli olan zorlama  $S_d$  elde edilir.

### **Direnç büyüklüklerinden zorlanabilirlik $R_d$ 'nin elde edilmesi**

Direnç büyüklüklerinin ölçülendirme değeri  $M_d$ , genellikle direnç büyüklüklerinin karakteristik büyüklükleri  $M_k$ 'nin malzemeye bağlı kısmi emniyet katsayısı  $\gamma_M$ 'e bölünmesiyle elde edilir.

$$M_d = \frac{M_k}{\gamma_M} \quad (5.4)$$

Kullanılan çelikler için karakteristik sınır değer olarak standartta  $f_{y,k}$  ile gösterilen akma sınırı kullanılır. Bu değerler S235 yapı çeliği için şekil 5.2'de malzeme sınır değerlerinin alışılışı genel gösterimleriyle karşılaştırılmıştır. şekil 5.3, standardın eski şeklinde mevcut olan emniyetli gerilmeleri göstermekte olup yeni sđtandarttaki sınır

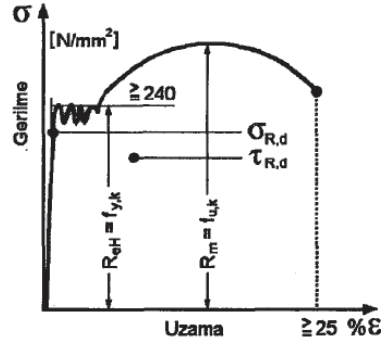
gerilmelerle karşılaştırılması açısından verilmiştir.

Çelikler için kısmi emniyet katsayısı  $\gamma_M$ , malzeme sınır değerlerindeki sapmalar ve yarı mamul toleransları dikkate alınarak, 1,1 olmaktadır. Eşitlik (5.5)'e göre aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{1,1} \quad (5.5)$$

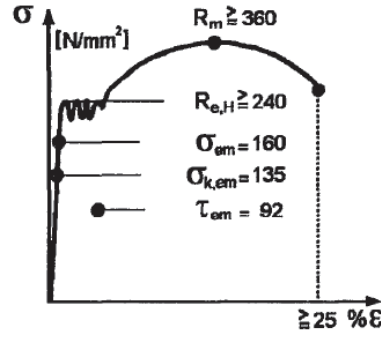
S235 malzemesi için ( Tablo 5.1'den  $t \leq 40$  mm ürün kalınlığı için  $f_{y,k} = 240$  N/mm<sup>2</sup>) sınır normal gerilme  $\sigma_{R,d}$  eşitlik 5.6'e göre bulunur.

$$\sigma_{R,d} = f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ N/mm}^2 \quad (5.6)$$



Şekil 5. 2 S235 için DIN 18800 Kısım 1'e göre sınır gerilme değerlerinin gösterildiği gerilme – uzama diyagramı (Scheermann, 1994)

$\sigma_{R,d}$  = Malzemenin sınır çekme gerilmesi  
 $\tau_{R,d}$  = Malzemenin sınır kayma gerilmesi



Şekil 5. 3 S235 için eski DIN 18800 Kısım 1'e göre (03.81) emniyetli gerilmelerin gösterildiği gerilme-uzama diyagramı (Scheermann, 1994)

$R_m$ : En az çekme dayanımı

$R_{a,H}$ : Akma sınırı

$\sigma_{em}$ : Malzemenin emniyetli çekme gerilmesi (kontrol edilmiş dikişler için geçerli)

$\sigma_{k,em}$ : Emniyetli kaynak dikişi gerilmesi (çekme ve basma zorlamasına maruz kontrol edilmemiş dikişler için geçerli)

$\tau_{em}$ : Malzemenin emniyetli kayma gerilmesi

Sınır kayma gerilmesi  $\tau_{R,d}$  'de eşitlik (5.7)'ya göre bulunur.

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{240}{1,73 \cdot 1,1} = 126 \text{ N/mm}^2 \quad (5.7)$$

Yukarıda yapılan açıklamalara göre taşıma emniyeti kontrolü yapılmasında, mevcut zorlamanın  $S_d$  yapı elemanının zorlanabilirliğine  $R_d$  oranının birden küçük olması gerekir.

$$\frac{S_d}{R_d} \leq 1 \quad (5.8)$$



Bu kontrol genel olarak geçerlidir ve elastik-elastik bölgede hesaplanan gerilmeler karşısında;

$$\frac{\sigma}{\sigma_{R,d}} \leq 1 \quad \text{veya} \quad \frac{\tau}{\tau_{R,d}} \leq 1 \quad \text{olur.} \quad (5.9)$$

Kaynaklı birleştirmelerin gerilme kontrolünde bu eşitlik ;

$$\frac{\sigma_k}{\sigma_{k,R,d}} \leq 1 \quad \text{veya} \quad \frac{\tau}{\tau_{k,R,d}} \leq 1 \quad \text{şeklini alır.} \quad (5.10)$$

Bileşik gerilme durumunda  $\sigma_k$  yerine mukayese gerilmesi  $\sigma_{Muk,k}$  kullanılır.

### **Kaynak dikişi sınır gerilmesi $\sigma_{k,Rd}$**

Kaynaklı birleştirmelerin gerilme kontrolünde, bütün dikişler için eşitlik 5.10'da belirlenen kaynak dikişi sınır gerilmesinin aşılmaması gerekir ( Scheermann,1994).

$$\sigma_{k,R,d} = \frac{\alpha_k \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} \quad (5.11)$$

Tablo 5. 5 Çelik yapılar için DIN 18800-1'e göre haddelenmiş çeliklerin akma sınırları ve çekme dayanımları (Karakaş, 2002)

| Çelik Cinsi ve Kalitesi                   |                                       | Parça Kalınlığı<br>t<br>(mm) | Akma Sınırı<br>f <sub>y,k</sub><br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Çekme Dayanımı<br>f <sub>u,k</sub><br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|---|---------------------------------------|------------------------------|---|--|
| Yapı Çeliği                               | S235JR                                | t ≤ 40                       | 240   | 360  |
|   | S235JRG1<br>S235JRG2<br>S235J2G2      | 40 < t ≤ 80                  | 215   |  |
|   | S235J2G3                              | t ≤ 40                       | 360   | 510  |
|   |                                       | 40 < t ≤ 80                  | 325   |  |
| Normalize edilmiş ince taneli yapı çeliği | S355N<br>S355NH<br>S355NL1<br>S355NL2 | t ≤ 40                       | 360   | 510  |
|   |                                       | 40 < t ≤ 80                  | 325   |  |
| Islah Çeliği                              | C35N                                  | t ≤ 16                       | 300   | 480  |
|   |                                       | 16 < t ≤ 80                  | 270   |  |

### 5.5 Eurocode 3 (ENV 1993)

Yapısal Eurocode'lar genel olarak binaların ve inşaat mühendisliği yapılarının tasarımı için yapısal kuralları içermektedir. Eurocode'lar yapılara, yapı elemanlarına ve başlıca konstrüksiyon malzemeleri olan beton, çelik, ahşap, duvar ve çelik gibi malzemelerin buralardaki kullanımına uygulanabilir.


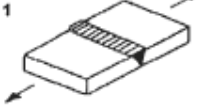
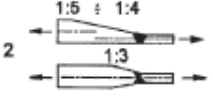
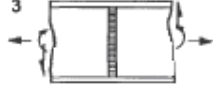
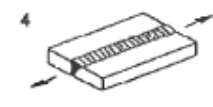
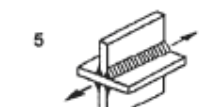
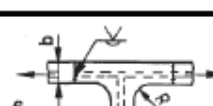

Çok geniş kapsamlı olan ve alt standartlardan oluşan Eurocode'lar üzerinde şimdiye kadar yapılan çalışmalar sonucu standartların bir kısmı ön standart olarak ENV şeklinde kullanıma sunulmuştur. Diğerleri de çeşitli aşamalarda bulunmaktadır. Bunların ENB standardı olarak 2005 yılına kadar tamamlanıp ilgili ülkelere verilmesi beklenmektedir.

### 5.6 DS 952


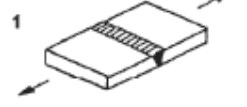
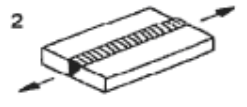
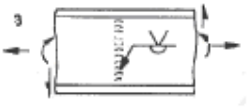
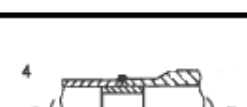

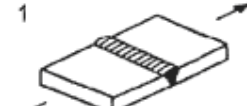
Makine yapımında dinamik olarak zorlanan kaynaklı parçaların hesaplanması için Almanya'da bir talimatname mevcut olmadığından , bu parçalar için emniyetli gerilmelerin tespitinde Alman Demiryolları tarafından metalik malzemelerin kaynağı için hazırlanan talimatname DS 952 kullanılmaktadır. Aletlerin, taşıtların, makinelerin kaynağı için bu talimatnamede yorulma dayanımı kontrolü istenmektedir.

DS 952'ye göre S235JRG2 ve S355J2G3 yapı çelikleri için emniyetli sınır gerilme değeri oranı  $\chi$ 'ye ( $\chi = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$  veya  $\chi = \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}}$  ) bağlı olarak yorulma dayanımına göre 1,5 misli emniyetli, eğriler şeklinde gösterilmiştir. Şekil 5.4'de  $\chi$  değerleri zorlama bölgelerini göstermektedir. Değişken dayanım ( $\chi=-1$ ), değişken bölge ( $-1<\chi<0$ ), dalgalı dayanım ( $\chi=0$ ), dalgalı bölge ( $0 < \chi < +1$ ) ve statik dayanım ( $\chi = +1$ ).

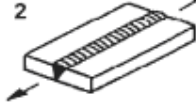
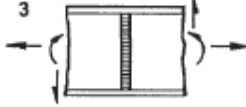
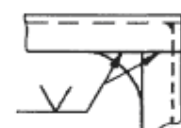


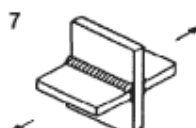

Makine yapımında sık olarak kullanılan kaynaklı birleştirmeler DS 952'de birleştirme ve dikiş şekline, zorlama durumuna , imalat ve muayene şartlarına bağlı olarak aynı çentik etkisine sahip gruplara ayrılmıştır. Şekil 5.3'de , artan çentik etkisine göre tasnif edilen bu grupların şekil 5.4, 5.5, 5.6, 5.7'deki A'dan H'ye kadar olan emniyet gerilmesi eğrilerine koordinasyonu ve olası değerlendirme grupları gösterilmiştir. Şekil 5.4, 5.5, 5.6 ve 5.7'de ,B-1, D-1 ve E-1'de görüldüğü gibi, aynı zorlama durumu için aynı kaynaklı birleştirme farklı kaynak kalitelerinde gerçekleştirildiğinde, değişik çentik etkisi göstermekte ve kaynak dikişinin taşıyabileceği emniyetli gerilmeler de farklı olmaktadır. B-1'den E1-1'e doğru çentik etkisi artmakta ve emniyetli dikiş gerilmeleri düşmektedir.

| Eğri, | Tasnif, Birleştirme ve Dikiş Şekli, Zorlama Durumu, Muayene                           |  | Olası Kalite Grubu |
|-------|---|--|--------------------|
|       | Gösterim  | Açıklamalar  |                    |
| A     |      | Eğmeye veya uzunlamasına kuvvet tarafından zorlanan kaynaklanmamış parçalar (dolu parçalar)  | -                  |
| B     | 1    | Kuvvet doğrultusuna dik olarak zorlanan alın dikişli parçalar  | B                  |
|       | 2    | Kuvvet doğrultusuna dik olarak zorlanan alın dikişli farklı kalınlıktaki parçalar  |                    |
|       | 3    | Kiriş gövde sacı; uzunlamasına kuvvet bindirilmiş, enine kuvvetle eğilme   |                    |
|       | 4   | Kuvvet doğrultusunda boylamasına zorlanan alın dikişli parçalar.<br>1,2,3 ve 4'te :Dikiş köküne takviye dikişi yapılmış, kaynak dikişi çentiksiz olarak işlenmiş ve %100 röntgen muayenesi yapılmış. |                    |
|       | 5  | Kuvvet doğrultusunda boylamasına zorlanan K veya köşe dikişli parçalar.Kaynak dikişi geçiş bölgeleri gerektiğinde işlenir ve çatlak kontrolü yapılır.  |                    |
|       | 6  | Flanş eklemeli sac konstrüksiyonlar ( $R \geq 0,5b$ )<br>Dikiş köküne takviye dikişi yapılmış, kuvvet doğrultusundaki kaynak dikişleri işlenmiş ve %100 röntgen muayenesi yapılmış.                  |                    |
| C     | 1  | Yüklenmemiş enine takviyeli sürekli parça  | C                  |


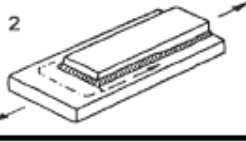
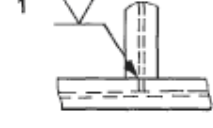
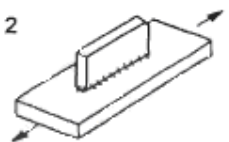
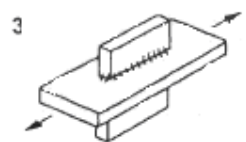
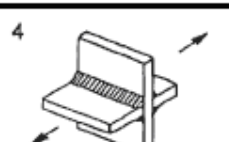
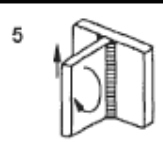
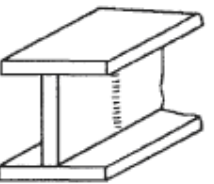
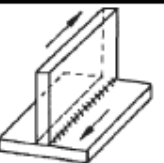
Şekil 5. 4 Makine yapımındaki kaynaklı birleştirmelerin imalatı için örnekler, DS952

| Eğri | Tasnif, Birleştirme ve Dikiş Şekli, Zorlama Durumu, Muayene                           |  | Olası Kalite Grubu |
|------|---|--|--------------------|
|      | Gösterim  | Açıklamalar  |                    |
|      | 2    | Üzerine yuvarlak levha kaynatılmış sürekli parça<br>1 ve 2'de;K-dikişleri (çift taraflı yarım V dikişleri) çentiksiz olarak işlenmiş ve çatlak kontrolü yapılmış.  |                    |
| D    | 1    | Kuwet doğrultusuna dik olarak zorlanan alın dikişli parçalar   | B                  |
|      | 2    | Kuwet doğrultusunda boylamasına zorlanan alın dikişli farklı kalınlıktaki parçalar   |                    |
|      | 3    | Kiriş gövde sacı; uzunlamasına kuwet bindirilmiş, enine kuwetle eğilme<br>1,2 ve 3'te: Dikiş köküne takviye dikişi yapılmış.<br>Kaynak dikişinin numune almak suretiyle (en az % 10) röntgen muayenesi yapılmış. |                    |
|      | 4   | Alttan destekli alın dikişli boru bağlantıları.<br>Kaynak dikişlerinin numune almak suretiyle ( en az % 10) röntgen muayenesi yapılmış.  |                    |
|      | 5  | Köşe bağlantılarında alın birleştirmeli sac konstrüksiyonlar.<br>Dikiş köküne takviye dikişi yapılmış.<br>Kaynak dikişlerinin numune almak suretiyle ( en az % 10) röntgen muayenesi yapılmış.                   |                    |
| E1   | 1  | Kuwet doğrultusuna dik olarak zorlanan alın dikişli parçalar. Zorlamaya bağlı olarak: dikiş köküne takviye dikişi yapılmış, takviye dikişi yapılmamış.Kaynak dikişleri işlenmemiş.                               |                    |

Şekil 5. 5 Makine yapımındaki kaynaklı birleştirmelerin imalatı için örnekler, DS952

| Eğri, | Tasnif, Birleştirme ve Dikiş Şekli, Zorlama Durumu, Muayene                         |   | Olası Kalite Grubu |
|-------|---|---|--------------------|
|       | Gösterim  | Açıklamalar   |                    |
| E1    |    | Kuwet doğrultusunda boylamasına zorlanan alın dikişli parçalar kanak dikişi işlenmemiş.   | C                  |
|       |    | Kiriş gövde sacı; uzunlamasına kuwet bindirilmiş, enine kuwetle eğilme Zorlamaya bağlı olarak: Dikiş köküne takviye dikişi yapılmış, takviye dikişi yapılmamış. Kaynak dikişi işlenmemiş. |                    |
|       |    | Alın birleştirmeli ve köşe sacı köşe bağlantıları. Kaynak dikişleri işlenmemiş  |                    |
|       |    | Kuwet doğrultusuna dik olarak zorlanan alın dikişli boru bağlantısı ( dolu çubuk ile boru bağlantısı da) Kaynak dikişleri işlenmemiş.   |                    |
|       |  | Farklı kalınlıktaki parçaların alın dikişiyle birleştirilmesi. Dikiş köküne takviye dikişi yapılmış. Kaynak dikişi işlenmemiş.  |                    |
|       |  | K dikişiyle çapraz olarak birleştirilmiş parçalar. Kaynak dikişleri işlenmiş. (işlenmemiş dikişler :E5 eğrisi)  |                    |
|       |  | K dikişleriyle birleştirilmiş eğmeye ve kaymaya zorlanan parçalar. Kaynak dikişleri işlenmiş (işlenmemiş dikişler : E5 eğrisi)  |                    |

Şekil 5. 6 Makine yapımındaki kaynaklı birleştirmelerin imalatı için örnekler, DS952

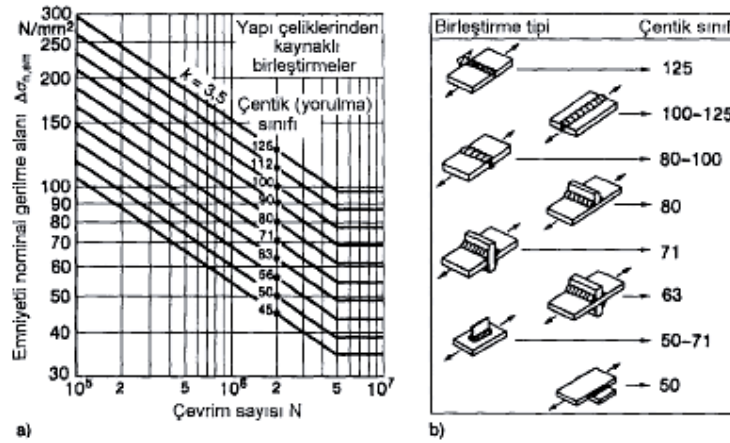
| Eğri, | Tasnif, Birleştirme ve Dikiş Şekli, Zorlama Durumu, Muayene                           |   | Olası Kalite Grubu |
|-------|---|---|--------------------|
|       | Gösterim  | Açıklamalar   |                    |
| E5    | 1    | Üzerine, kuvvet doğrultusuna dik olarak, işlenmiş K-dikişleriyle parçalar kaynatılmış sürekli parçalar.   | C                  |
|       | 2    | Kuşak levhası kaynatılmış parça ( bindirme birleştirme kaynağı ).<br>Köşe dikişlerinin alın yüzeyleri işlenmiş.<br>(işlenmemiş dikişler : F eğrisi)                           |                    |
| F     | 1    | Köşe levhasız olarak profillerin alın birleştirmeleri.<br>Kaynak dikişleri işlenmemiş.  | C                  |
|       | 2    | Üzerinde işlenmemiş köşe dikişleriyle parça kaynatılmış sürekli parça.  |                    |
|       | 3   | İçinden köşe dikişleriyle birleştirilmiş parça geçirilen sürekli parça.<br>Kaynak dikişleri işlenmemiş.   |                    |
|       | 4  | Köşe dikişleriyle çapraz olarak birleştirilmiş parçalar.<br>Kaynak dikişleri işlenmemiş.  |                    |
|       | 5  | Kaymaya ve eğmeye zorlanan, işlenmemiş köşe dikişleriyle birleştirilmiş parçalar.<br>Kaynak dikişleri işlenmemiş.   |                    |
| G     |    | Dikme ( gövde ) sacı enine birleştirmesi.<br>En yüksek kayma zorlaması kirişin tarafsız ekseninde.<br>Bu eğri, burulmaya zorlanan kaynaklanmamış parçalar için de geçerlidir. | B                  |
| H     |    | Eğmeye zorlanan kirişlerde kaynaklı birleştirme.<br>Kiriş taban levhası ve dikme sacı arasında K veya köşe dikişleri ( boyun dikişleri mevcut)                                | C                  |

Şekil 5. 7 Makine yapımındaki kaynaklı birleştirmelerin imalatı için örnekler, DS952

## 5.7 IIW Tavsiyeleri

Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW)'nin , kaynaklı yapı elemanlarının yorulma dayanımının hesaplanması için düzenlediği somut ve uluslar arası tavsiyeleri bulunmaktadır. IIW tarafından geliştirilen ve kaynaklı birleştirmelerin yorulma davranışlarının sınıflandırılması ile ilgili ve tavsiye niteliğinde olan sistem birçok ülkenin çıkardığı talimatnameler içerisinde yerini almıştır. Bu sistemin gelecekte kaynaklı yapı elemanlarının hesaplanması ve ölçülendirilmesi ile ilgili standart ve talimatnamelerde yorulma dayanımlarının saptanması için yaygın bir şekilde kullanılması beklenmektedir. ( Gülsöz, 2001)

Sistemde, çelik malzemelerden yapılan çeşitli kaynaklı birleştirmelerin ve kaynaklı yapı elemanlarının çentik durumlarına uygun şekilde sınıflandırılan Wöhler eğrilerinin bulunduğu bir ağ tavsiye edilmektedir. Bütün kaynak edilebilir çelikler için geçerli olan bu sınıflandırma şekli, iki milyon çevrim sayısı için emniyetli gerilme alanı  $\Delta\sigma_{n,em}$  ( $2 \cdot \sigma_{A,em}$ ) dikkate alınarak yapılır. Çeşitli tipteki kaynaklı birleştirmeler için, zorlama durumları, imalat şekilleri ve mevcut çentik durumuna göre, Wöhler eğriler ağında uygun olan yorulma sınıfları (FAT) şekil 5.8'de gösterilmiştir. ( Radaj,2000)



Şekil 5. 8 Yapı çeliklerinden kaynaklı birleştirmeler için standart Wöhler eğrileri; Emniyetli nominal gerilme alanı  $\Delta\sigma_{n,em}$  (Hasar olasılığı  $P_k=\%2,3$ )

- Çeşitli çentik sınıfları (yorulma sınıfları-FAT) için
- IIW-Tasarım tavsiyelerine göre(kısaltılmış olarak), (Radaj, 2000)

Bu sistem için saptanmış olan kriterler aşağıda açıklanmıştır.

- Ölçülendirme ve kontrol, nominal gerilmelere göre  $\Delta\sigma_n$  kavramı kullanılarak yapılmaktadır.

$$\Delta\sigma_n = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} = 2 \cdot \sigma_{na}$$

$\sigma_{\max}$  → En büyük gerilme  
 $\sigma_{\min}$  → En küçük gerilme  
 $\sigma_{na}$  → Nominal gerilme genliği







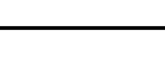

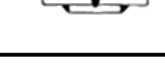









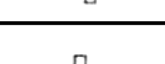
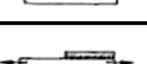
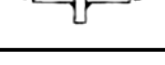


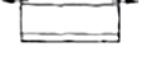
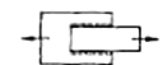



(5.12)

- Sınır çevrim sayısı  $N=5 \cdot 10^6$ : Son zamanlara kadar deney tekniği açısından Wöhler eğrilerinde yorulma dayanımına geçiş noktası olarak  $N=2 \cdot 10^6$  çevrim sayısı uygun görülmüştür. Ancak yapılan deneyler  $N=2 \cdot 10^6$  çevrim sayısından sonra da yorulma dayanımının azalmaya devam ettiğini göstermiştir. Bu nedenle şekil 5.6'da görüldüğü gibi eğrilerin yatay konuma geçtiği ve yorulma dayanımı olarak anılan bu değer için sınır çevrim sayısı  $N=5 \cdot 10^6$  olarak alınmaktadır.
- Wöhler eğrileri çift logaritmik eksen takımında ve eğim sayısı  $k=3,5$  olan doğrular şeklindedir.
- Kırılmama olasılığı  $P=97,7\%$
- $R=0,5$  olan dalgalı dayanım için elde edilen eğrilerdir. ( $R=\sigma_{\min}/\sigma_{\max}$  → Gerilme oranı)
- Gerilme değerleri, malzeme dayanım değeri  $\Delta\sigma_{nA}$  için  $\gamma_M=1,0$ 'lık bir kısmi emniyet göz önüne alınarak tavsiye edilen emniyetli gerilmelerdir.  $\Delta\sigma_{n,em}$  ( $2 \cdot \Delta_{nA,em}$ ).
- Yorulma dayanımı kontrolünde,  $N=2 \cdot 10^6$  çevrim sayısı için elde edilen yorulma sınıfları kullanılır.
- Yorulma kontrolü için  $\Delta\sigma_n \leq \Delta\sigma_{n,em}$  şartı sağlanmalıdır. Bu uygulama şekli R'den bağımsız bir ölçülendirme konsepti ortaya çıkarmaktadır. (Neumann, 1997).

Tablo 5.6'da verilen çeşitli tipteki kaynak birleştirmelerin yanında, zorlama durumları, imalat şekilleri ve mevcut çentik durumuna göre değişik tipteki kaynaklı yapı elemanlarının Wöhler eğrileri ağında uygun olan sınıfları daha kapsamlı olarak tablo 5.6'da gösterilmiştir.



Tablo 5. 6 Kaynaklı birleştirmelerin Uluslar arası Kaynak Enstitüsü'nün (IIW) tavsiyesine göre sınıflandırılması (Ruge, 1988)

| Dikiş Şekli |   |  |           |    |   |   |                |
|-------------|---|--|-----------|----|---|---|----------------|
| No          | Resim olarak gösterim   | Tanımlama  | Sınıf     | No | Resim olarak gösterim   | Tanımlama   | No             |
| 1           |    | Yüzeyi işlenerek düzeltilmiş alın dikişi, %100 röntgen muayenesi yapılmış.                                   | 125       | 8  |    | Aralıklı köşe dikişi  | 80             |
| 2           |    | İşlenmemiş alın dikişi, elle ark kaynağı, röntgen muayenesi yapılmış.  | 100       | 9  |    | Kesilmiş kısmı olan dikme levhasıyla aralıklı köşe dikişi                                     | 71             |
| 3           |    | İşlenmemiş alın dikişi, elle tozaltı kaynağı, röntgen muayenesi yapılmış.                                    | 80        | 10 |    | Üzerine boyuna düğüm levhası kaynatılmış *150 mm'den kısa *150 mm'den uzun *Yakın dikişi sonu | 71<br>63<br>50 |
| 4           |    | Kaynaklanmış banyo güvencesi üzerine yapılan tek taraflı alın dikişi   | 71        | 11 |    | Üzerine enine düğüm levhası kaynatılmış.  | 80             |
| 5           |    | Mekanize kaynaklı alın veya köşe dikişi, başlangıç ve nihai krater yok (ek levha kullanılmış)                | 125       | 12 |    | Yan tarafa düğüm levhası kaynatılmış  | 80             |
| 6           |    | Mekanize kaynaklı köşe dikişi  | 112       | 13 |    | Taşıyıcı olmayan, kaynaklı sapmalama  | 80             |
| 7           |    | Kaynağı elle yapılmış köşe veya alın dikişi  | 100       | 14 |    | Kiriş dikmesine kaynaklanmış takviye  | 80             |
| Dikiş Şekli |   |  |           |    |   |   |                |
| No          | Resim olarak gösterim   | Tanımlama  | Sınıf     | No | Resim olarak gösterim   | Tanımlama   | No             |
| 15          |  | Kiriş yatay parçalarına kaynaklanmış takviye   | 80        | 22 |  | 21'deki gibi, ancak yüzeyi işlenerek düzeltilmiş.   | 112            |
| 16          |  | Çapraz birleştirme, çift taraflı K-dikişi, eksen kayması < %15   | 71        | 23 |  | Kiriş üzerine alın ve yan köşe dikişleriyle kaynaklanmış takviye levhası                      | 50             |
| 17          |  | Çift köşe dikişli, çapraz birleştirme eksen kayması < % 15   | 63        | 24 |  | 23'teki gibi, ancak alın köşe dikişi yok.   | 50             |
| 18          |  | Alın köşe dikişleriyle bindirme kaynağı  | 71        | 25 |  | Kiriş üzerine alın ve yan köşe dikişleriyle kaynaklanmış birden fazla takviye levhası         | 50             |
| 19          |  | Yan köşe dikişleriyle bindirme kaynağı   | 50        | 26 |  | Kirişten daha geniş takviye levhası, alın köşe dikişi yok                                     | 50             |
| 20          |  | Kiriş yatay parçasında birleştirme, geçiş düz veya yuvarlatılmış, yüzey işlenmiş, röntgen muayenesi yapılmış | 112       | 27 |  | Mekanize şekilde yakarak kesilmiş levha, çapak ve çatlak yok, gözle muayene yapılmı.          | 125            |
| 21          |  | Alın kaynağı, elle ark kaynağı veya toz altı kaynağı, röntgen muayenesi yapılmış.                            | 100<br>80 | 28 |  | Taşıyıcı durumda köşe dikişinde kök hatalı kaynak metali (birleştirme şekli17)                | 45             |

### 5.7.1 Gerilme Oranı R'nin Etkisi

IIW araştırmalarında elik malzemelerde gerilme oranı R nin  $\Delta\sigma$  değerine etkisi olduğu saptanmıştır. Pratik uygulamalar için yapılan deneysel araştırmalarda u farklı durum için yükseltme faktörleri  $f(R)$  türetilmiştir. (Hobbacher,1997b)

Durum1: Esas malzeme, ihmal edilebilecek seviyede kaynak i gerilmeleriyle;

$$\begin{aligned} f(R) &= 1,6 & R < -1 \text{ için} \\ f(R) &= -0,4R + 1,2 & -1 \leq R \leq +0,5 \text{ için} \\ f(R) &= 1 & R > +0,5 \end{aligned}$$

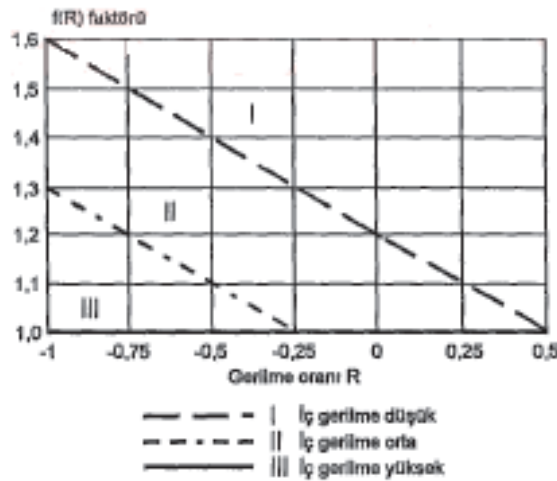
Durum 2: Kısa kaynak dikişli, ince cidarlı geometrik olarak basit yapı elemanları;

$$\begin{aligned} f(R) &= 1,3 & R < -1 \text{ için} \\ f(R) &= -0,4R + 0,9 & -1 \leq R \leq -0,25 \text{ için} \\ f(R) &= 1 & R > -0,25 \end{aligned}$$

Durum 3: Karmalık iki ve u boyutlu yapı elemanları; yüksek i gerilmelerin mevcut olduğu yapı elemanları; kalın cidarlı yapı elemanları;

$$f(R) = 1 \quad \text{Yükseltme yok}$$

Tablo 5. 7 İ gerilme etkisine göre u farklı durum için yükseltme faktörleri  $f(R)$ ,  
(Hobbacher,1997b)



Tablo 5.7'de i gerilme etkisine göre u farklı durum için yükseltme faktörleri  $f(R)$ , (Hobbacher,1997b) bu yükseltme faktörleri her u durum için gösterilmiştir.  $R=+0,5$ 'ten farklı

gerilme oranları için, ölçü olarak alınan  $\Delta\sigma_{n,em}$  değerleri bu yükseltme faktörleri ile çarpılırlar. Bu şekilde,  $\Delta\sigma$  konseptine göre gerilme oranı R'den bağımsız ölçülendirme gerçekleştirilir. Eğer iç gerilmeler hakkında güvenilir bilgiler mevcut değilse  $f(R)=1$  alınır. Kaynaklı birleştirmelerde uygulanan gerilim giderme yöntemleri nadiren tam olarak etkili olabilir ve önceden üretilen yapı elemanlarının montajı esnasında yüksek gerilmeler meydana gelebilir. Bu nedenle yükseltme faktörü  $f(R)>1$  yapı elemanları için sadece özel durumlarda tavsiye edilir.

### 5.7.2 Cidar Kalınlığının ve Yüksek Sıcaklıkların Etkisi

Levha kalınlığının 25 mm'den büyük olması durumunda, levha kalınlığının yorulma dayanımına etkisi hesaba katılmalıdır. Konstrüktif detaylara göre elde edilen yorulma sınıfı (FAT) kalınlık faktörü  $f(t)$  ile çarpılarak yorulma dayanımı değeri azaltılır. Kalınlık düzeltilmesi n üssüne, efektif kalınlığa ( $t_{eff}$ ) ve kaynaklı birleştirmenin kategorisine bağlıdır (Tablo 5.8).

Tablo 5. 8 Kalınlık düzeltme için n üssü (Karakas, 2002)

| Birleştirme Şekli   | İşlem                  | n   |
|---|------------------------|-----|
| Enine yüklenen çapraz ve T birleştirmeler, enine eklemeli levhalar  | Kaynaklandığı gibi     | 0,3 |
| Çapraz birleştirmeler, enine T birleştirmeler, enine eklemeli levhalar  | Dikiş geçişi taşlanmış | 0,2 |
| Enine yüklenen alın birleştirmeleri   | Kaynaklandığı          | 0,2 |
| Alın birleştirmeleri, yüzey taşlanmış, ana malzeme, Uzunlamasına zorlanan kaynak dikişleri veya ekleme parçalar | Hepsi                  | 0,1 |

Yorulma dayanımının efektif çentik gerilmesi ve kırılma mekaniği yöntemlerine göre değerlendirdiği durumlarda kalınlık düzeltilmesi gerekli değildir.

### 5.8 FKM Talimatnamesi

FKM-Talimatnamesi makine yapımı ve ilgili alanlarda statik ve dinamik zorlamalara maruz kaynaklı veya kaynaklı yapı elemanlarında dayanım kontrolü için kullanılmaktadır. Malzeme olarak dökme demir ve çelik malzemeler ve sıcaklık bölgesi olarak  $-40^{\circ}\text{C}$  ile  $500^{\circ}\text{C}$  arası

dikkate alınmaktadır. Ayrıca geometrik çentiğe sahip veya kaynaklı yapı elemanlarında nominal gerilmelere ve yerel (lokal) gerilmelere göre dayanım kontrolü yapılmaktadır. Ancak bu kontrollerin yapılmasında yapı elemanlarının konstrüksiyon, imalat ve malzeme açısından teknik şartlara uygun ve hatasız olması şart koşulmaktadır. Başka standart veya talimatnamelere göre belirlenmiş dayanım kontrolleri mevcut olan alanlarda bu talimatname geçerli değildir. Özellikle makine yapımında düzenlenmiş standart veya talimatnameler bulunmadığından bu alanda kullanımı önem arz etmektedir. Statik dayanıma göre kontrol de genelde yorulma dayanımı kontrolüne benzer bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

### 5.8.1 Yorulma Dayanımı Kontrolü

Talimatnameye göre hesaplamaların yapılabilmesi için yapı elemanına etki eden yüklerden doğan zorlamalar belirlenir. Bunlar, gözlenen kesitteki veya yapı elemanının hasar açısından kritik olarak görülen kontrol noktalarındaki gerilmelerdir. Şüpheli olan durumlarda birçok noktada kontrol işlemi yapılabilir. Örneğin kaynaklı bağlantılarda kaynak dikişi geçişi ve kaynak dikiş kökü kritik noktalar olarak ele alınır. Bunun yanında çubuk şeklinde, yüzeysel (iki boyutlu) şekilli ve hacimsel şekilli (üç boyutlu) yapı elemanlarında meydana gelen farklı gerilme bileşenlerini veya gerilme çeşitlerini birbirinden ayırt etmek için kullanılan semboller ve indislerin tanımlanması zorunludur.

Gerilmeler bilinen yöntemler kullanılarak bulunur. Bunlar, elementer veya yüksek mukavemet bilgisine göre analitik olarak, sonlu elemanlar yöntemine veya sınır elemanları yöntemine göre nümerik olarak veya ölçmek suretiyle deneysel olarak belirlenmektedir. Hesaplamalar için, kontrol noktasında elde edilen gerilmelerin şekline göre aşağıda belirtilen ayırım yapılmalıdır.

- Nominal gerilmeler S ve T ile gösterilir ve ancak tanımlanan belirli bir kesit için hesaplanabilir.
- Yerel gerilmeler ( elastik çentik gerilmeleri veya yapısal gerilmeler)  $\sigma$  ve  $\tau$  ile gösterilir. Elastik çentik gerilmeleri, çentik form sayısı kadar daha yüksek olan nominal gerilmelerdir. Kaynaklı bağlantılarda sadece yorulma dayanımı kontrolü için kullanılır.

Bunlara uygun olarak yapı elemanlarının dayanım değerleri, nominal dayanım değerleri veya çentik gerilmesi ya da yapısal dayanım değerleri olarak belirlenir. Her iki durum için kullanılan aynı hesaplama şekliyle, nominal gerilmelerle veya yerel gerilmelerle yapılan hesaplamalarda mümkün olduğunca aynı sonuçlara ulaşılması istenmektedir. Ölçü olarak alınan gerilme değerleri her bir gerilme bileşeninin veya gerilme çeşidinin en büyük genlik ve buna ait ortalama değerleridir. Örneğin çeki-bası için nominal gerilmelerin genlik ve ortalama değerleri

$S_{a,zd}$  ve  $S_{m,zd}$  ile, çeki-bası için yerel gerilmelerin genlik ve ortalama değerleri ise  $\sigma_{a,zd}$  ve  $\sigma_{m,zd}$  ile gösterilir.

Konstrüksiyon değerleri, yapı elemanı şeklinin (biçim ve büyüklüğü) dikkate alındığı çentik etki sayısı ile yüzey durumunun dikkate alındığı (yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sertleşmesi) pürüzlülük ve yüzey tabakası faktörleridir. Bütün bu faktörleri içine alan bir konstrüksiyon faktörü hesaplanır.

## 6. DEMİR ESASLI MALZEMELERİN KAYNAKLI BİRLEŞTİRİLMESİNDE YÖNTEM SEÇİMİ

Kaynaklı birleştirmelerde yöntem seçimi, birleştirmenin karakteristikleri ile nihai üründen beklenen tasarım özelliklerine dayanır. Bu karakteristikler demir esaslı malzemeler gibi daha dar bir gruba indirildiğinde kısaca aşağıdaki başlıklar bu açıdan seçimi belirleyici özellikleri oluşturacaktır.

1. Malzemenin bileşimi-alaşım elemanı bulunup bulunmadığı ve yüzdeleri
2. Kaynaklı birleştirme ile üretilecek malzemenin üretim hızı (seri yada tekil)
3. Elde buluna enerji kaynağının karakteristikleri
4. Birleştirmeden beklenen dayanım karakteristikleri
5. Kaynaklı birleştirmenin uyguladığı konum
6. Kaynaklı birleştirmenin tek yada çift yönden yapılabilirliği ( tasarımın izin verdiği kaynak açzı)
7. Birleştirmeden beklenen estetik karakteristikler
8. Beklenen ilerleme hızı
9. Kaynak dikişinin uzunluğu
10. Birleştirilecek parçaların kalınlık yönünden durumu ve özellikleri
11. Ağız hazırlığı gereksinimleri
12. Kaynak metali tüketim miktarı ve tüketim hızı
13. Mekanik uygulama ve otomasyona uygunluk
14. Konstrüktif açıdan parçaların basit yada karmaşık oluşu
15. Kaynak amacı ile bağlama aparatı gerektirip gerektirmemesi
16. İşçilik kalite gereksinimleri öngörülen kalite
17. Kaynak nüfuziyet gereksinimleri
18. Kaynak sonrası işlemler yönünden gereksinimler
19. Kaynak ekipmanının taşınabilirliği yönünden özelliklerin
20. Kaynağın yapılacağı atmosferik koşullar ( dış yada iç)
21. Kaliteye kaynak işçiliği etkisi
22. İlave malzeme gereksinimleri

Kaynak yöntemlerinden her biri kendine has özelliklere ve çekiciliklere sahiptir. Bu yöntemlerden bazıları geniş ölçüde kullanılırken diğerleri sadece uzmanlar tarafından bilinir. Seçilen yöntemin en düşük maliyetle gerekli kaliteyi sağlamasını söylemek daimi hedef olmakla birlikte, karar alırken bazı fedakârlıklar yapmayı gerektiren zorlayıcı faktörler her zaman mevcuttur. Kaynaklı bağlantıların kalitesini tanımlamaya çalışırken karşılaşılan

problemler bilinmektedir. Yöntemler arasında bir seçim yaparken; kaliteyi söz konusu iş için elimizde mevcut olan kaynakçaların becerileri açısından değerlendirmemiz gerekir. Benzer şekilde, ekipmanların mevcudiyeti önemli bir sınırlama yaratır. Yapılacak işin hacmi yeni teçhizat yatırımı yapmaya veya işçileri yeniden eğitmeye değmeyecek kadar küçük olabilir. Bu durumda, görünür maliyet yüksek bile olsa, genellikle mevcut kaynak makineleri kullanılır.

Yöntemin gerçek maliyetini saptarken ek bir problem daha ortaya çıkar. İlk bakışta bir kaynak işleminin maliyetini hesaplamanın zor olmadığı düşünülebilir. Sarf malzemelerini ve kaynak zamanları kolaylıkla ölçülebilir. Elde edilen verilerde kaynaklı bağlantının metre uzunluğu başına maliyeti her bir yöntem için hesaplanıp sonuçlar karşılaştırılabilir. Ancak bu bize tam bir görüntü vermez. Kaynakla diğer imalat işlemleri arasındaki karşılıklı etkileri göz önüne almamız gerekir. Bazı kaynak ağızlarının hazırlanma maliyeti diğerlerinden daha yüksektir. Önemli ölçüde distorsiyon oluşturan kaynak yöntem ve işlemleri, biçim bozukluklarının düzeltilmesi nedeniyle bitirme maliyetlerinde artmaya neden olurlar. Bitmiş bağlantıların yüzeylerinin düz olması gereken yerlerde, en düşük miktarda fazla metal ve saçılma ile birlikte düzgün bir kaynak profili veren bir tekniğin kullanılması, kaynak sonrası taşlama veya işleme işlemlerinden tasarruf etmemizi sağlar. Talaş kaldırarak işlenmiş küçük elemanların üretiminde, duman, saçılma ve benzeri şeyler oluşturmayan, torna ve planya gibi tezgahların yanında kullanılabilen bir kaynak yöntemi hem üretim zamanında, hem de taşıma maliyetinde önemli bir tasarruf sağlar. Bu birkaç örnek, kaynağı tüm üretim operasyonunun ayrılmaz bir parçası olarak göz önüne almamız gerektiğini açıkça göstermektedir. Bu örnekler aynı zamanda, kaynak için gerekli bir maliyet hesabına kalkışıldığında karşılaşılabilecek zorlukları da belirtmektedir.

## **6.1 Teknik Açısından Değerlendirmeler**

İlk yapılması gereken seçilen yöntemin teknik taleplerini yerine getirmesini sağlamaktır. Göz önüne almak zorunda olduğumuz hususlar, uygun üç başlık altında gruplandırılabilir: Malzemenin tipi, bağlantının tipi ve üretim ihtiyaçları. Bu hususların her biri için çeşitli sorular sorulabilir. Aşağıda liste çok kapsamlı değildir. Bir uygulamanın değerlendirilmesi sırasında sorulabilecek daha çok soru mevcuttur. Aşağıda belirtilen maddeler çeşitli faktörlerin göz önüne alınması gerektiğini vurgulamak amacıyla belirtilmiştir.

### **6.1.1 Malzemenin Tipi**

- a) İşlemin bağlantı yüzeylerinde başarılı ve kontrollü bir erime oluşturulmalıdır.
- b) Kaynak metali atmosferik kirlenmeye karşı yeterli bir şekilde korunabilmelidir. Bir örnek olarak düşük karbonlu çelikle zirkonyumu karşılaştırabiliriz. Düşük karbonlu çelikte tüm yöntemler başarılıdır; buna karşın zirkonyum çok reaktif bir metal olup oksijen ve azotu hızla absorbe eder. Uygun kaynaklar TIG kaynağı ile elde edilebilir. Ancak en iyi sonuçları elde etmek için genellikle elektron ışını ile kaynak seçilir.
- c) Dekapan kalıntılarının bir sorun çıkarmaması gerekmektedir. Alüminyum için gaz ile koruma yönteminin tercih edilmesinin nedenlerinden biri, oksijen ve elektrik ark kaynaklarındaki dekapanların tamamıyla giderilmemesi durumunda, metalin korozyona uğramasıdır.
- d) Metal çatlaklarının oluşumundan kaçınmak için özel önlemler gerekebilir. Yüksek mukavemetli çeliklerde kaynak metalindeki hidrojen içeriği, gaz korumalı yöntemlerde, elektrik ark kaynağına nazaran, çok daha kolaylıkla kontrol edilebilmektedir.
- e) Uygun sarf malzemelerinin kolaylıkla elde edilebilmelidir. Elektrik ark kaynağının en önemli çekiciliği, dekapanların kimyasal bileşimlerinin özel talepleri karşılamak üzere kolaylıkla hazırlanabilmesidir.
- f) Bitmiş bağlantının kabul edilebilecek özelliklere sahip olmalıdır. Bu soru, tekrarlanabilirliği garanti etmek için ısı girdisi üzerinde yeterli bir kontrol sağlanıp sağlanamayacağı şekilde yeniden sorulabilir. Böyle bir gereksinim, kişileri genellikle bir otomatik yöntemin seçimine yönelik bir tartışmaya götürür.
- g) Fiziksel özellikler bazı özel hususların göz önüne alınmasını gerektirmektedir. Örneğin bakır, yüksek ısı iletkenliği nedeniyle, erimenin oluşturulabilmesi için bir ön tavlama gerektirir. Argon-helyum korumasının kullanıldığı gazaltı kaynağındaki artmış ısı girdisi belirli bir kalınlık aralığındaki bakırın ön tavlamasız bir şekilde kaynak edilmesine olanak sağlar.

### 6.1.2 Bağlantının Tipi

- a) Bağlantının alın veya iç köşe kaynağı gerektirip gerektirmemesi yöntem seçiminde önemlidir.
- b) Kaynak pozisyonunun ne olduğu, örneğin düşey ve tavan pozisyonları otomatik kaynak için seyrek olarak uygundur. Diğer yandan birçok elektrik ark kaynağı elektrotları, bu pozisyonlarda kullanılmak üzere özel olarak tasarlanmıştır.
- c) Elektrodun, kaynak tabancasının veya kaynak kafasının kaynak yerine ulaşması için yeterli bir geçidin olup olmaması yöntem seçiminde önemlidir.



d) Hangi kaynak ağzının kullanılacak olması ve kullanılacak kaynak metali miktarı yöntemler arasında belirleyici olabilir. Bağlantıyı doldurmak için çok büyük miktarda kaynak metali gerekliyse, kaynak zamanlarını minimumda tutmak için tozaltı veya sprey iletimli gazaltı kaynağı gibi yüksek yığılma hızına sahip yöntemler tercih edilir.

e) Desteksiz tam nüfuziyetli bir kök pasosunun gerekliliği. Bu husus, TIG veya kısa devre iletimli gazaltı kaynağı gibi iyi bir kaynak banyosu kontrolü veren ancak düşük akımla çalışan yöntemlerin seçimini engeller. Bunun yerine elektron ışını ile kaynak gibi delik açma tekniğinin kullanışı tercih edilebilir.

### 6.1.3 Üretim İhtiyaçları

- a) Takım, tertibat veya döndürme tertibat gereksinimleri. Bunlar, kaynak yerine ulaşmak için, gerekli geçit ihtiyacını değiştirebilir.
- b) Yöntemin diğer üretim işlemleriyle bütünleştirilebilmesi.
- c) Havalandırma gereksinimi.
- d) Yüksek akımlı sistemlerin kullanılmasını engelleyecek güç sınırlamasının olup olmaması.
- e) Bakım ihtiyaçlarının karşılanması.

## 6.2 Kaynak İşleminin Maliyetleri

Genellikle işle ilgili teknik ihtiyaçları karşılayan birden fazla yöntem vardır. Bu, işgücünün mevcudiyeti gibi diğer engellerin olmaması halinde, seçime, her bir yöntemin göreceli maliyetleri yoluyla karar verileceği anlamına gelir. Bu aşamada ark ve diğer yöntemleri birbirinden ayırmalıyız. Direnç kaynağı, mühendislikte kullanılan birçok makinenin çalışma düzenine benzer ve maliyet bunlardaki gibi hesaplanabilir. Direnç nokta kaynağının ark kaynağı yerine seçilmekte olduğunu hatırlatmakta yarar vardır. Bir ark kaynağı işleminin temel maliyet elemanları aşağıdaki basit formülle özetlenebilir.

$$C_w = L_w + L_a + O_h + C_c + P_m \quad (6.1)$$

$C_w$ : Kaynak işleminin maliyeti

$L_w$ : Direnç kaynak işçiliği maliyeti

$L_a$ : Diğer işçilik maliyeti

$O_h$ : Genel giderler

$C_c$ : Sarf malzemelerinin maliyeti

$P_m$ : Tesis ve bakım masrafları

Bir kaynakçı genelde bir bağlantı ile ilişkili olduğundan, direkt işçilik faktörünü tanımlamak göreceli olarak kolaydır. Bunun bazı istisnaları olmakla birlikte, iki veya üç kaynakçının bir bağlantı üzerinde çalıştığı büyük çaplı boru hatlarının kaynağında bile her bir kaynakçının katkısı kolaylıkla ayırt edilebilir.

Direkt işçiliğin belirlenmesinde karşılaşılan en büyük problem, gerçek kaynakta harcanan zaman, yani ark zamanıyla ilişkilidir. Kaynak metalini yığmaya ek olarak, kaynakçı kaynak şartlarının ayarlanması, cüruf giderme, elektrod değiştirme ve otomatik kaynakta bağlantının hizalanması gibi kaçınılmaz görevlerle de uğraşır. Kaynakçıyı oyalayan başka hususlar da vardır. Örneğin iş parçasının teslim edilmesi veya bir yerden bir yere hareket ettirilmesi için geçen bekleme periyotları mevcut olabilir. İş emirlerini, almak için veya kaynak işlemi sırasında ortaya çıkan problemleri tartışmak için de bir zamanın sarf edilmesi gerekir. Elektrodlar ve diğer sarf malzemeleri depoya gidip alınacaktır. Son olarak ark ile kaynakta kontrol edilirken önemli ölçüde dikkat gerektirdiğinden, bir miktar dinlenme zamanı da olabilir.

Toplam zaman=Ark zamanı+Diğer yapıcı faaliyetler ile ilgili zaman+Bekleme zamanı+Boş zaman

İş çevrimi toplam zamanın yüzdesi olarak ifade edilen ark zamanı şeklinde tanımlanır.

İş çevrimi= (Ark zamanı/Toplam zaman) x 100 [%]

Maliyet açısından iş çevriminin olabildiğince yüksek olması istenir.

Bir yöntemin seçiminde ilgili çalışma ortamını göz önüne alarak, eldeki iş için hangi yöntemin en iyi çevrimi vereceğini belirlemek gerekir. Daha önce açıklananlardan anlaşılacağı gibi, bu problemin yalnız bir yanıtı yoktur. Bununla birlikte genel olarak yüksek iş çevrimlerine gazaltı tozaltı kaynaklarındaki gibi sürekli tel sistemlerinde rastlanabileceğini söyleyebiliriz. Diğer bir deyimle; bu yöntemler uzun bağlantılarda, özellikle bekleme ve boş zamanları en azda tutacak tarzda kaynak edildikleri zaman, çok avantajlıdır. Sık sık elektrod değiştirme zorunluluğunun olmadığı sürekli tel besleme sistemlerinde iş çevrimi, “diğer yapıcı faaliyetler ile ilgili zaman” elemanının azalması nedeniyle artar. Aynı zamanda ulaşılabilen daha yüksek hareket hızları atölye zeminindeki hareket hızlarını azaltır ve böylece üretkenliği artırır. Buna karşılık yüksek hareket hızları ve elektrod değiştirme zorunluluğunun olmayışı, kısa kaynak pasoları çekerken, özellikle de bağlantılar birbirinden çok uzakta ise, pek fazla yarar sağlamaz. Bu şartlar, yüksek manevra kabiliyeti nedeniyle iş çevriminin artmasına yardımcı olan elektrik ark kaynağının tercih edilmesine neden olur.

### **6.3 Genel Giderler**

Genel giderlerin bir kısmı maliyetinin bir parçası olarak geri alınmalıdır. Hem merkezi hem de kaynakla ilgili idare, kalite kontrol, tasarım, ambar ve satın alma, satış ve genel yönetim gibi fonksiyonlar üretimin ödemek zorunda olduğu genel giderleri teşkil eder. Genel giderlerin geri alınması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan en çok bilineni, işçilik maliyetine %150 ila %350 arasında değişen bir oranda sabit bir ilave yapmaktadır.

#### **6.3.1 Sarf Malzemelerin Maliyeti**

Sarf malzemelerinin maliyeti, yöntemleri karşılaştırılırken yapılan değerlendirmenin belki en kolay kısmıdır. Bağlantının geometrisi biliniyorsa, gerekli kaynak metali hacmi kolaylıkla hesaplanabilir. Elektrod imalatçıları her elektrod için elektrod verimlerini kataloglarında verirler. Buradan gerekli elektrod miktarı ve dolayısıyla da maliyet hesaplanabilir. Benzer şekilde ark zamanı bir kere belirlendikten sonra elektrik, koruyucu gaz, yanıcı gaz ve soğutma suyu maliyetleri kestirilebilir.

Ekipmanın değiştirilebilir parçaları da sarf malzemesi maliyetinin bir parçası olarak kabul edilebilir. Maliyet karşılaştırılmasının bu aşamasında farklı fikirlerle karşılaşılmaktadır.

#### **6.3.2 Tesis ve Bakım Maliyetleri**

Formüldeki son eleman kaynak atölyesinin yatırım maliyeti ve bunun iyi bir durumda tutabilmek için yapılan harcamalarla ilişkilidir. Otomatik makinelerden oluşmuş bir kaynak atölyesinin bir elektrik ark kaynağı atölyesinden çok daha pahalı olduğu açıktır.

Bakım maliyetlerini önceden hesaplamak kolay değildir ve genellikle önceki deneyimlere bağlı olarak bir tahmin yapılır. Elektrik ark kaynağında özellikle, transformatör ünitesi kullanılıyorsa, çok az bakım gerektirir. Gazaltı ve otomatik kaynak sistemleri periyodik bakıma gereksinim duyarlar ve bu nedenle bunlarda maliyet faktörü için bir karşılık ayırmak gerekir. Ayrılan miktar, temas uçları gibi elemanların sarf malzemesi veya bir bakım gideri şeklinde kabul edilmesine bağlı olarak, kaynak atölyesinin yatırım maliyetinin %5'i ila %15'i arasında değişir.

#### 6.4 Kaynakta Otomasyon ve Mekanizasyon

Ticari önemi olan her kaynak yöntemi uygulamasındaki ekonomikliği maksimum kılan bazı uygulama alanlarına sahiptir. Bu alanlar bazen oldukça geniş sınırlara sahip olduklarından, yöntemlerin uygulanabilirlik alanları birbirleriyle kesişir. Belirli bir uygulamayı ekonomik kılabilme yönünden uygun kaynak yönteminin seçimi yaşamsal bir önem arz etmektedir. Elektrik-ark kaynağına ilişkin bazı avantajlar ve temel karakteristikler tablo 6.1’de kısaca özetlenmiştir.

Tablo 6. 1 İlave metal ergimeli ark kaynak yöntemlerinin avantajları

| Yöntem      |                                      | Avantajlar  |
|-------------|--------------------------------------|---|
| AWS         | Açıklama                             |   |
| <b>SMAW</b> | Örtülü<br>Elektrod<br>Ark<br>Kaynağı | Esnek,bütün konumlarda uygulanabilirlik, düşük ilk maliyet,taşınabilir,değişik özellikte geniş aralıkta ilave metal (elektrod olanağı)(yüksek yığma miktarı,yüksek ilerleme hızı,iyi bir kaynak sınır yapısı,derin nüfuziyet,vb) .Cüruf temizlemeyi gerektirir.   |
| <b>GMAW</b> | Gaz-metal<br>Ark kaynağı             | Nispeten esnek bir gaz ve tel besleme ünitesi gerektirir,bütün konumlara uygulanabilirlik için özel bir güç kaynağı gerektirir,SMAW’den daha yüksek yığma miktarları,cüruf yok,mekanize,otomatik ve robot kaynağına uygulanabilir.  |
| <b>FCAW</b> | Özlu<br>elektrod ark<br>kaynağı      | Nispeten esnek,tel besleme ünitesi gerektirir,çoğu elektrodlar dış bir gaz gerektirir,özel bir güç kaynağı gerektirmeden bütün konumlara uygulanabilirlik,SMAW ve GMAW’den yüksek yığma miktarları,mekanize, otomatik ve robot kaynağına uygulanabilirlik.Cüruf temizlemeyi gerektirir.   |
| <b>SAW</b>  | Toz altı ark<br>kaynağı              | Sadece düz ve yatay konumda uygulanabilir, çok yüksek yığma miktarları, yüksek yığma miktarlarında mekanize edilme zorunluluğu. Yüksek akımlı güç kaynağı, ağır yapıllı tel besleme birimi ve kaynak kafası ya da iş parçası bağlama aparatı maliyeti artırır. Mekanize SAW yüksek kalite kaynak dikişi verirken maliyet azalır. Fluks gerekli.Cüruf ve fazla fluksun temizlenmesi gerekir. |

Seçilen kaynak yönteminin uygunluğu piyasa koşullarında ürünlerin rekabet edebilirliğini de bir derecede kontrol edecektir. Kaynaklı ürünleri en düşük maliyette üretebilmenin ön koşulu, yüksek yığma hızlarında, kabul edilebilir kalitede ve yüksek operatör faktörlerinde üretim sağlayacak bir kaynak yönteminin seçilmesi olmaktadır. Buna karşılık, yüksek yığma hızları gerektiğinde operatör faktörü normal olarak mekanizasyona gidilmesiyle artacaktır.

Gemi, köprü, basınçlı tank imalatında olduğu gibi iş parçasının doğru yerleştirildiği ve konumlandırıldığı durumlarda en etkili füzyon ark kaynağı toz altı ark kaynağıdır. Oysa kaynaklar uygun konumlarda değilse ve parçaların çoğunda, kaynak ekipmanının ve parçanın hareket ettirilmesini gerektiren birkaç kısa kaynak yapılması zorunluysa SMAW, GMAW ya da FCAW yöntemlerinin kullanılması daha uygun olacaktır. Uygun seçimin yapılmasında dikkate alınması gereken hususlar kaynak hızı ( yağma hızı), konumlara uygunluk ve taşınabilirlik olacaktır.

Her bir kaynak için dikkate alınması gereken hususlar farklı olacaktır. Bu faktörlerin yanı sıra, aşırı kaynak olayı kaynak maliyetini önemli ölçüde etkilediğinden yöntemin kaynak miktarını azaltıcı olması gerekir. Kaynak kalitesinin iyi olmaması daha sonradan yapılacak düzeltmeleri, kaynak atölyesinin gereksiz işgal edilmesini ve toplam üretimin gecikmesini de beraberinde getirdiğinden, kaynak maliyetini olumsuz etkileyen diğer bir faktördür.

Kaynak makine ve ekipmanına harcanacak ilk metaller işlem maliyetlerini dengeleyebilir olmalıdır bu yatırımlar basit ve düşük maliyetli olanlara yönelebilir, örneğin örtül,ü elektrod ark kaynağı;çözlü elektrod ark kaynağı ve gaz metal ark kaynağı yerine kullanılabilir. Belirli bir yatırıma karar vermeden önce düşünülen sistemin ekonomik olup olmadığı konusunda bir maliyet analizi yapılmalıdır. Bu analizde maliyetler ve potansiyel yararlar incelenir. Maliyet kalemleri içerisinde;

- (i)Düşünülen ekipmana ilişkin mühendislik, satın alma ve kuruluş maliyetleri.
- (ii)Bu ekipmanın kullanılması için gerekli ek tesisat ve yardımcı ekipmanlar.
- (iii)Üretim ve destek ekipmanlarının bakım maliyetleri
- (iv)Üretim ve destek ekipmanının bakım maliyetleri

Potansiyel yararlar konusunda ise aşağıdakiler dikkatle incelenmelidir.

- (i)Sürekli çalışmaya gerek göstermeyen işlemlerden elde edilecek tasarruflar
- (ii)Laşitenin iyileştirilmesi ile elde edilecek tasarruflar
- (iii) Güvenlik olanaklarının iyileştirilmesinden sağlanacak olan tasarruflar

## 7. TEORİK ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kaynaklı birleştirmenin kalitesi ve imalat maliyetindeki odak noktası kaynak dikişidir. Çünkü bir kaynaklı konstrüksiyonda hataların meydana gelme olasılığının en yüksek olduğu yer bu bölgedir. Kaynak esnasında yapılacak olan hatalar, teknik ve ekonomik açıdan büyük problemleri beraberinde getirmektedir. Bu nedenle imalat esnasında oluşacak hataların kontrol altında tutulması ve mümkün olduğunda hatasız ve dolayısıyla kaliteli kaynak dikişlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Ancak kalitenin artırılması maliyeti de artıracaktır.

Çalışmanın 2. bölümünde kaynak tekniğinde kaliteyi etkileyen faktörler dokuz ana başlık altında incelenmiştir. Bunlar tasarım, malzeme, kaynak yöntemi, kaynak tekniği personeli, kaynak ağız hazırlığı, çalışma koşulları, işyeri donanımı ve denetimi, kaynaktan sonraki ısıtma işlemler, muayene ve kontroldür. Bu maddeler dikkate alındığında kaynaklı konstrüksiyonların teorik sonuçları ile pratikteki sonuçlarının farklılık göstereceği aşikardır. Bu farklılığın sebebi kaynaklı konstrüksiyonlarda özellikle manuel kaynak yöntemleri kullanıldığında kaliteyi etkileyen ve yukarıda da bahsedilen faktörlerin değişkenlik göstermesidir. Fakat kuşkusuz ki kaynaklı bir konstrüksiyonda kalite tasarım aşamasıyla başlamaktadır. Kaynak işleminde kaynak edilecek parçalara rahatça ulaşılması, kuvvet çizgilerinin kaynak dikişinde yön değiştirmemeleri, kaynak dikişinin maruz kalacağı gerilmeler, işletme gerilmelerinin kaynağa olacak etkileri, çentik etkisi, kuvvet taşıyan dikişlerin kalınlığı, kaynak dikişinin işlenecek bir yüzey olup olmayacağı gibi kaliteyi etkileyen unsurlar tasarım aşamasında göz önüne alınmalı ve tasarım bu etkenlere göre yapılmalıdır.

### 7.1 Konstrüksiyon Seçimi

Makine imalatında sayısız konstrüksiyon şekli oluşturulabilir. İmalatta kullanılacak profiller; kare, dikdörtgen, L profil, U profil, T profil, I profil (geniş-dar), içi boş kare, içi boş dikdörtgen, ince cidarlı boru, yuvarlak profil yada boru profil olabilir.

Konstrüksiyonların tasarımında hedef minimum malzeme kullanımınıdır bu da ancak en küçük kesitin seçilmesi ile mümkündür. Bir elemanın toplam mukavemeti şekil mukavemeti ve malzeme mukavemetinin toplamıdır. Bir eleman tasarlanırken farklı kesitler seçilse de istenen mukavemet sağlanır fakat tasarım optimum olmaz. Eşit kesit alanına sahip profiller incelendiğinde yuvarlak profilin kullanılmasının daha optimum olacağı görülmüştür.

Konstrüksiyonda kesit şekli ayrıca uygulanacak yükleme ile de ilgilidir. Çekme ve basma yüklemelerinde eşit alanlarda kesit şeklinin bir etkisi yoktur. Fakat burkulma durumunda atalet momenti devreye girecektir. Çalışma için yapılan analiz de çekme yüklemesi mevcuttur. Bu

nedenle kesit seçiminde eşit alanın sağlanacağı ve minimum malzemenin kullanılacağı yuvarlak profil seçilmiştir.

## 7.2 Yöntem Seçimi

Yöntemler arasında bir seçim yaparken; kaliteyi söz konusu iş için elimizde mevcut olan kaynakçıların becerileri açısından değerlendirmemiz gerekir. Benzer şekilde, ekipmanların mevcudiyeti önemli bir sınırlama yaratır. Yapılacak işin hacmi yeni teçhizat yatırımı yapmaya veya işçileri yeniden eğitmeye değmeyecek kadar küçük olabilir. Seçilen yöntemin en düşük maliyetle gerekli kaliteyi sağlamasını söylemek daimi hedef olmakla birlikte, karar alırken bazı fedakârlıklar yapmayı gerektiren zorlayıcı faktörler her zaman mevcuttur.

Kaynaklı birleştirmelerde yöntem seçimi, birleştirmenin karakteristikleri ile nihai üründen beklenen tasarım özelliklerine dayandığı daha önce belirtilmiştir. Bu karakteristikler demir esaslı malzemeler olarak irdelendiğinde belirli açılardan seçimi belirleyici özellikler sıralanmıştır (bkz: bölüm 6). Maliyet yüksek bile olsa, genellikle mevcut kaynak makineleri kullanılır. Bu maddeler aşağıda, seçilen konstrüksiyon bazında değerlendirilmiştir. Gerilmeler daha düşük değerlerde olduğu için açılı silindirin düz tablaya kaynak edildiği 1 numaralı konstrüksiyon ele alınmıştır.

1. Malzemenin bileşimi-alaşım elemanı bulunup bulunmadığı ve yüzdeleri: Ana parçalarda seçilen malzeme AISI 1020'dir. Bu malzemeye uygulanabilecek kaynak yöntemleri ilk olarak değerlendirilmelidir.

2. Kaynaklı birleştirme ile üretilecek malzemenin üretim hızı (seri ya da tekil): (Bu madde başlığında mekanik uygunluk ve otomasyon özellikleri de incelenmiştir). Üretilecek malzemenin seri ya da tekil olması kullanılacak yöntemin manuel ya da robotik kaynak uygulaması olmasını da şekillendirecektir. Ergitme esaslı kaynak yöntemleri içinde, MIG/MAG ve TIG yöntemlerinde robotlar çok kullanılmaktadırlar. Ancak ark kaynak yöntemlerinin uygulanmasında önemli teknik ve ekonomik problemlerle karşılaşmaktadır. Sürekli ark kaynağındaki tehlikeler yüzünden, proseste endüstriyel robotların kullanımı mantıklıdır. Bununla birlikte, robotların ark kaynağı için uygulanmasında karşılaşılan önemli teknik ve ekonomik problemler vardır. Sürekli ark kaynağı, düşük sayıda üretilen ve birçok komponentten oluşan ürünlerin imalatında sıklıkla kullanılır. Bu şartlar altında herhangi bir otomasyon şeklinin uygulanması zordur. Ark kaynağında robotların kullanılması ulaşmanın güç olduğu sıkışık alanlarda gerçekleştirildiği için bir problem teşkil eder. Bu tip alanlarda insanlar daha rahat çalışabilirler. Bu bilgilere ek olarak seçilen konstrüksiyonun tek olması

hedeflendiğinden robotik kaynak uygulamalarının yerine manuel yöntem seçilmesi gerekmektedir.

**3. Kaynaklı birleştirmenin uygulandığı konum:** Kaynak yöntemi seçilirken özellikle konstrüksiyonda, açılı silindirin kaynağında iç kısmın kaynak edilmesinde ciddi zorluklar ile karşılaşılacaktır. Bu da manuel kaynak yöntemlerinin seçim fikrini desteklemektedir. Eğer gerilme değerleri istenen değerlere karşılayabiliyorsa, açılı tabla düz silindirden oluşturulan 2 numaralı konstrüksiyon seçilebilir.

**4. Birleştirilecek parçaların kalınlık yönünden durumu ve özellikleri:** Elektrikli ark kaynak yöntemlerinin malzeme ve kalınlığına göre uygulanabilirliği tablo 7.1’de belirtilmiştir. Bu tablo incelendiğinde kalınlık göz önüne alındığında örtülü elektrod ark kaynağı, tozaltı ark kaynağı, gaz metal ark kaynağı, özlü elektrod ark kaynağı, Elektrosalg kaynağının uygulanabilir olduğu görülmektedir.

Tablo 7. 1 Elektrik ark kaynak yöntemlerinin malzeme ve kalınlığa göre uygulanabilirliği (AWS Handbook,1991)

| Malzeme  | SMAW | SAW | GMAW | FCAW | GTAW | PAW | ESW | EGW |
|--|------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|
| <b>Karbonlu Çelikler</b>                                     |      |     |      |      |      |     |     |     |
| Kalınlık 3 mm'ya kadar                                       | X    | X   | X    |      | X    |     |     |     |
| Kalınlık 3-6 mm  | X    | X   | X    | X    | X    |     |     |     |
| Kalınlık 6-19 mm   | X    | X   | X    | X    |      |     |     |     |
| Kalınlık 19 mm   | X    | X   | X    | X    |      |     | X   | X   |
| <b>Düşük Alaşımli Çelikler</b>                               |      |     |      |      |      |     |     |     |
| Kalınlık 3 mm'ya kadar                                       | X    | X   | X    |      | X    |     |     |     |
| Kalınlık 3-6 mm  | X    | X   | X    | X    | X    |     |     |     |
| Kalınlık 6-19 mm   | X    | X   | X    | X    |      |     |     |     |
| Kalınlık 19 mm   | X    | X   | X    | X    |      |     | X   |     |
| <b>Paslanmaz Çelik</b>                                       |      |     |      |      |      |     |     |     |
| Kalınlık 3 mm'ya kadar                                       | X    | X   | X    |      | X    | X   |     |     |
| Kalınlık 3-6 mm  | X    | X   | X    | X    | X    | X   |     |     |
| Kalınlık 6-19 mm   | X    | X   | X    | X    |      | X   |     |     |
| Kalınlık 19 mm   | X    | X   | X    | X    |      |     | X   |     |
| <b>Dökme Demir</b>   |      |     |      |      |      |     |     |     |
| Kalınlık 3 mm'ya kadar                                       |      |     |      |      |      |     |     |     |
| Kalınlık 3-6 mm  | X    |     |      |      |      |     |     |     |
| Kalınlık 6-19 mm   | X    | X   | X    |      |      |     |     |     |
| Kalınlık 19 mm   | X    | X   | X    |      |      |     |     |     |
| <b>AÇIKLAMALAR:</b>  |      |     |      |      |      |     |     |     |
| SMAW: Shielded metal arc welding-örtülü elektrod ark kaynağı |      |     |      |      |      |     |     |     |
| SAW: Submerged arc welding - tozaltı ark kaynağı             |      |     |      |      |      |     |     |     |
| GMAW-Gas metal arc welding - gaz metal ark kaynağı           |      |     |      |      |      |     |     |     |
| FCAW-Fluxed core arc welding-özlü elektrod ark kaynağı       |      |     |      |      |      |     |     |     |
| GTAW-Gas tungsten arc welding-Gaz tungsten ark kaynağı       |      |     |      |      |      |     |     |     |
| PAW: Plasma arc welding -plasma ark kaynağı                  |      |     |      |      |      |     |     |     |
| ESW:Elektrosalg welding                                      |      |     |      |      |      |     |     |     |
| EGW:Elektrosgaz welding.Elektrosgaz kaynağı                  |      |     |      |      |      |     |     |     |



5. Ağız hazırlığı gereksinimleri: Konstrüksiyonumuzda silindirin alt kısmı kesilerek eliptik bir düzlem oluşturulmuştur. Eliptik düzleme kaynak ağız açılmasının pratikte yaratacağı zorluk nedeniyle, analizde parçalara kaynak ağız açılmamıştır.

6.Kaynak dikişinin uzunluğu ve ilave malzeme gereksinimleri: Bu maddeler analiz parametrelerinin belirlenmesinde belirtilmiştir.

7. Birleştirmeden beklenen estetik karakteristikler: Konstrüksiyondan görsel açıdan istenen ayrı özellikler yoktur.

Seçilen konstrüksiyon için ilk başta alışılmış kaynak yöntemleri yukarıda belirtilen maddeler göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

Tipik ergitme esaslı kaynak yöntemleri olarak incelenecek olanlar oksii-asetilen kaynağı, TIG kaynağı, elektrik ark kaynağı, MIG-MAG kaynağı, tozaltı kaynağı ve direnç nokta kaynağıdır.

Oksii-asetilen kaynağı, havalandırma delikleri, ısıtma ve kimyasal sistemler için küçük çaplı boru tesisatları gibi hafif imalatlarda kullanılan bir kaynak yöntemidir ve örneklerden de anlaşılacağı gibi küçük parçaların yada ince sacların kaynağında kullanılır. Konstrüksiyonumuzda silindirin et kalınlığı düşünülünce bu yöntemin uygun olmadığı ortadadır.

TIG kaynağı ile genel olarak kaynak kabiliyeti kötü olan bronzlar, titanyum alaşımları, zirkonyum gibi malzemelerin kaynağı gözeneksiz olarak yapılabilir. Ayrıca hafif metal ve alaşımlarla, bakır ve paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan bu yöntem ile 15 mm kalınlığına kadar parçaların kaynağı yapılabilir. Bu nedenle TIG kaynağı da seçilen konstrüksiyon için uygun değildir.

Elektrik ark kaynağı, gerek malzeme gerekse konstrüksiyonun geometrisi açısından incelendiğinde uygun olan bir yöntemdir. Elektrik ark kaynağının tipik uygulamalarına baktığımızda da yöntemin basınçlı kaplarda, gemilerin, çelik yapıların imalatında, makinaların imalat ve tamiratında kullanıldığını görürüz. Elektrik ark kaynağı yöntemi seçildikten sonra sıra elektrod seçimine gelmektedir. En iyi elektrod hangisidir sorusunda tek bir cevap vermek mümkün değildir. Her bir uygulamada birçok hususu inceleyerek değerlendirilmelidir. Kaynak edilecek metalin kimyasal bileşimi, kaynak metalindeki çatlama riski, istenen mekanik özellikler, kaynak pozisyonu, esas metalin kalınlığı, bağlantının tipi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu ve benzeri sorulara cevap verdikten sonra ekonomik fiyatta optimum performans veren bir elektrod seçilir.

Elektrik ark kaynağının yanı sıra MAG kaynak yöntemi de seçilen konstrüksiyonlar için uygun olan yöntemlerden biridir. Ergiyen elektrodla gazaltı kaynağı birçok halde elektrik ark kaynağının doğrudan rakibi durumundadır. Benzer uygulamalarda daha hızlı kaynak yapılmasına olanak verir ancak daha pahalı ekipman ve elektrodlar kullanılır. Bununla birlikte kaynak dikiş ağırlığı, elektrik enerjisi tüketimi, elektrod kaybı, cüruf temizleme yönlerinden MAG kaynağı daha üstündür.

Tozaltı kaynağı ise konstrüksiyonun geometrisi düşünüldüğünde uygun bir yöntem değildir. Normalde kısa boylu ve karışık şekilli dikişler için otomatik tozaltı makineleri geliştirilmiş ise de bunlar tozaltı kaynak yönteminin bütün avantajlarına sahip değildir. Bu makineler çok sayıda parça üretimi olduğunda kullanılmaktadırlar. Tozaltı kaynak yöntemi ilk yatırım masrafı yüksek olan bir yöntemdir.

### **7.3 Elektrod Seçimi**

#### **7.3.1 Elektrik Ark Kaynağında Elektrod Seçimi**

Genellikle 1020'nin kaynağında düşük karbonlu çelik çekirdek teline sahip olan bir tür elektrod kullanılabilir. Bu tür çeliklerin kaynağında minimum 430\*\*Mpa'lık çekme dayanımı ve minimum 330\*\*Mpa'lık akma dayanımına sahip kaynak metali oluşturan 60XX elektrodlar kullanılabilir. Daha yüksek mukavemette kaynak metali gerekirse minimum 510 Mpa'lık çekme dayanımı ve minimum 360 MPa'lık akma dayanımına sahip kaynak metali oluşturan 70XX elektrodları kullanılabilir. 70XX elektrodları incelenmiş ve E7016 Elektrod uygun seçilmiştir. E7016 elektrodları düşük hidrojenli, düşük karbonlu çelik elektrodlarıdır.

#### **7.3.2 MAG Kaynağında Elektrod Seçimi**

MAG kaynağında elektrod seçimini etkileyen en önemli faktör esas metalin fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimidir. Esas metalin bu özellikler bilinmediği zaman görünüşü, ağırlığı, magnetik özelliği ile kama testi, kırma ve kıvılcım testi gibi basit atölye atölye testleri ile bu konuda bir fikir edinilebilirse de, özellik gerektiren işlerde, kimyasal bileşimin mutlaka bir analiz ile saptanması gereklidir. Elektrod seçimi aşağıda belirtilmiş olan kriterler göz önünde bulundurularak yapılır.

\*AWS/ASME SFA 5.1 (E 7016) ; EN 499 ( E 42 3 B 42 H10) ; DIN 1913 ( E 51 54 B 10) ; TS 563 (E51 54 B 26(H) )

- **Esas metalin mekanik özellikleri:** Bu kritere göre elektrod seçimi, genellikle esas metalin çekme ve akma mukavemeti göz önüne alınarak yapılır; bazı hallerde, özellikle ferritik çelikler halinde malzemenin kırılma tokluğunun da göz önüne alınması gereklidir.

- **Esas metalin kimyasal bileşimi:** Esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi, bilhassa renk uyumunun, korozyon direncinin, elektriksel ve ısı iletkenliğinin söz konusu olduğu hallerde gereklidir. Bunun yanı sıra ısının tesiri altında kalan bölgede, sertleşme olup oluşmayacağından önceden belirlenmesi bakımından da metalin kimyasal bileşiminin belirlenmesi gerekir. Genel olarak sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerde elektrod seçiminde, esas metalin kimyasal bileşimi en önemli faktördür.

- **Koruyucu gazın türü:** Koruyucu gaz olarak asal gaz veya karışımlarının kullanılması halinde bir yanma kaybı söz konusu değildir; buna karşın bir aktif gaz örneğin karbondioksit veya asal gaz+aktif gaz karışımı kullanılması halinde bir takım yanma kayıpları ile karşılaşılır.

- **Esas metalin kalınlığı ve geometrisi:** Kaynakla birleştirilecek olan parçaların, kalın kesitli veya karışık şekilli olması halinde, çatlamanın önlenmesi için kaynak metalinin sünek olması gereklidir. Bu durumlarda en iyi Sünekliği sağlayan kaynak metalini oluşturacak türde bir elektrod seçilmelidir. Kaynaklı yapının aşırı düşük veya yüksek sıcaklıklarda, korozif ortamlarda çalışmasının gerekli olduğu hallerde, kaynak metalinin her bakımdan esas metalin özelliklerini aksettirmesi gereklidir. Ayrıca şartnamelerde kaynak metalinin bazı ilave özelliklere de sahip olması istenebilir ve bu husus da elektrod seçiminde çok önemli bir rol oynar.

Konstrüksiyonda SG 1 kaynak teli uygun görülmektedir.

## 7.4 Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi

### 7.4.1 Örtülü Elektrod İle Ark Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Seçimi

Kaynak parametreleri, kaynak öncesi saptanan ve kaynak süresince değiştirilmesi mümkün olmayan parametreler ile birinci ve ikinci dereceden ayarlanabilir parametreler dahil olmak üzere üç ayrı grupta incelenebilir. Kaynak öncesi saptanan parametreler elektrod türü elektrod çapı ve kaynak akım türüdür ve bunları kaynağa başladıktan sonra değiştirmek ve etkilemek olası değildir.

Birinci dereceden ayarlanabilir diye adlandırılan ve ikinci gruba giren parametreler kaynak dikişini kontrol altında tutan dikişin biçimini, boyutlarını, ark stabilitesini etkileyen değişkenlerdir. Bu parametreler kolaylıkla ölçülebildiği gibi, gerektiğinde işlemi daha etkin bir

biçimde kontrol altına alabilmek için ayarlanabilirler. Bu parametreler akım şiddeti, ark boyu ve kaynak hızıdır.

Üçüncü gruba giren parametreler kaynak işlemi esnasında değiştirilebilen, dikişin biçimini etkileyen, buna karşın ölçülmeleri zor olan parametrelerdir ki, örtülü elektrod ile ark kaynağında bunlar, kaynak esnasında elektrodun konumunu belirleyen çalışma ve hareket açılarıdır.

#### **7.4.1.1 Elektrod Türü**

Elektrod örtüsünün karakterinin kaynak dikişinin nüfuziyeti, biçimi ve elektrodun erime gücü üzerine ihmal edilemez etki vardır. Elektrodun seçimi 7.3.1 maddesinde ayrıntılı açıklanmıştır.

#### **7.4.1.2 Elektrod Çapı**

Belirli bir iş için elektrod çapı seçimi genel olarak kaynaklanacak parçanın kalınlığı ve kaynak pozisyonuna göre saptanır. Kalın çaplı elektrodlar yüksek akım şiddeti ile kullanıldıklarından kalın parçalara uygulanır ve bu şekilde hem kaynak ağzında gereken tam erime sağlandığı gibi toplam kaynak süresi de kısalmır.

Seçtiğimiz elektrodlara göre 5mm çaplı elektrodlar kullanılması hedeflenmiştir.

#### **7.4.1.3 Akım Türü**

Örtülü elektrod ile ark kaynağında uygun elektrod ile doğru akım, gerekse de alternatif akım kullanılabilir. Kaynak akım türü, kutuplama ve elektrod örtü bileşimi, erime gücü ve dikişin nüfuziyetini etkileyen önemli faktörlerdir.

Konstrüksiyon için doğru akımın tercih edilmesi daha uygun görülmüştür. Bunun sebebi doğru akım ile daha stabil bir ark oluşturulması ve kaynak taşınımı alternatif akımdan daha yumuşak bir biçimde gerçekleşmesi, sıçrama kayıplarının az olmasıdır. Ayrıca doğru akım düz kutuplama ile en yüksek erime gücünün sağlanmasıdır.

#### **7.4.1.4 Kaynak Akım Şiddeti**

Kaynak dikişinin karakteristiklerinin belirlenmesinde en önemli faktör kaynak akım şiddetidir. Her çaptaki elektrod için kaynak akım şiddeti belirli bir ayar aralığına sahiptir; bu aralık içinde uygun değer seçilmesinde elektrod örtü türü ve kalınlığı, kaynak pozisyonu ile ağız biçimi en önemli faktörlerdir.

Örtülü elektrodlar için akım şiddeti d milimetre olarak, elektrod tel çapı olmak üzere;

İnce örtülü ve kalın örtülü elektrodalarda  $I=d.(40-50)$  A seçilebilir.

Bununla birlikte seçim yaptığımız ve analizde kullandığımız elektrodlar için , önerilen değerler;

E7016-5 mm çap:185-210 A

E6013-5 mm çap:180-230 A'dır.

Yatay oluk kaynak pozisyonlarında verilen sınırların üst değerleri, dik ve tavan pozisyonlarda ise alt değerleri seçilir.

#### 7.4.1.5 Ark Boyu

Ark boyu kaynak esnasında erimiş kaynak banyosunun yüzeyi ile elektrod telini ucu arasındaki uzaklıktır ve ark gerilimini belirleyen etmendir. Normal olarak bazik karakterli elektrodlar hariç, bütün örtülü elektrod türlerinde ark boyu, elektrod tel çapı kadar, bazik elektrodlarda ise tel çapının yarısı kadar tutulmalıdır.

#### 7.4.1.6 Kaynak Hızı

Kaynak hızının artması, diğer değişkenler sabit kalmak koşuluyla kaynak dikişinin genişliğinin azalmasına ve optimum bir değere kadar nüfuziyetinin artmasına neden olur; bu hız değeri aşıldıktan sonra nüfuziyette azalmaya başlar.Kaynak hızının aşırı artması çok küçük kesitli ve kenarları düzgün olmayan bir kaynak dikişinin ortaya çıkmasına neden olur.

#### 7.4.1.7 Elektrod Açılı

Kaynak elektrodun konumunu, kaynak dikişini referans olarak belirlemek konusunda bir kural veya alışkanlık yoktur. Tablo 7.2'de verilen elektrod açılı ise bir öneri niteliğindedir.

Tablo 7. 2 Ark kaynağında uygun elektrod açılı

| Birleş<br>tirme türü | Kaynak<br>pozisyonu | Çalışma<br>açısı (Derece) | Hareket<br>açısı (Derece) |
|----------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| Alın                 | Yatay oluk          | 90°                       | 5-20°                     |
| Alın                 | Korniş              | 80-100°                   | 5-20°                     |
| Alın                 | Dik (aşağıdan)      | 90°                       | -5- -10°                  |
| Alın                 | Tavan               | 90°                       | 5-20°                     |
| İç                   | Yatay oluk          | 45°                       | 5-20°                     |
| İç                   | Dik (aşağıdan)      | 35 - 55°                  | -5- -20°                  |
| İç                   | Tavan               | 30-45°                    | 5-20°                     |

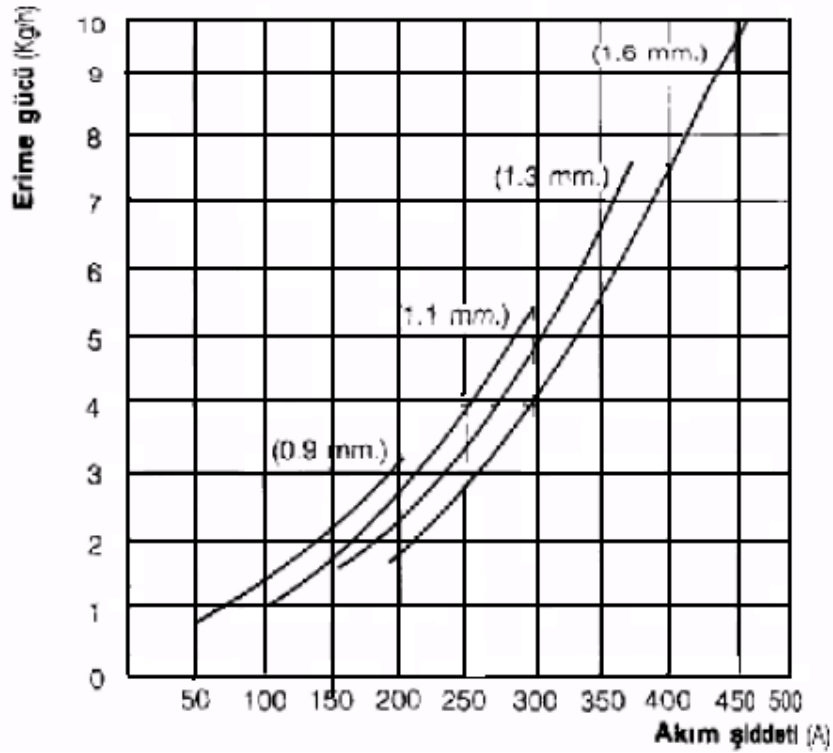
## 7.4.2 MAG Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Seçimi

### 7.4.2.1 Elektrod Çapı ve Akım Şiddeti

Büyük çaplı elektrodlar daha yüksek akım şiddeti ile kullanılabilirler ve daha yüksek bir erime gücüne sahiptirler ve daha derin nüfuziyetli dikişler oluştururlar. Erime gücü akım yoğunluğunun bir fonksiyonudur, eş çaplı iki elektrod farklı akım şiddetlerinde kullanıldıklarında, yüksek akım şiddetlerinde kullanıldıklarında, yüksek akım şiddeti ile yüklenende, akım yoğunluğu büyük olduğundan, daha yüksek bir erime gücü elde edilir. Akım şiddeti, tel çapı, ve erime gücü arasındaki ilişkiler tablo 7.3'de görülmektedir.

1.3 mm'lik bir elektrod seçimine gidildiğinde yaklaşık akım şiddeti ve erime gücü tablodan alınabilir.

Tablo 7. 3 Yığılan kaynak metali, akım şiddeti ve elektrod çapı arasındaki ilişki (Tülbentçi,1990)



### 7.4.2.2 Koruyucu Gaz Türü

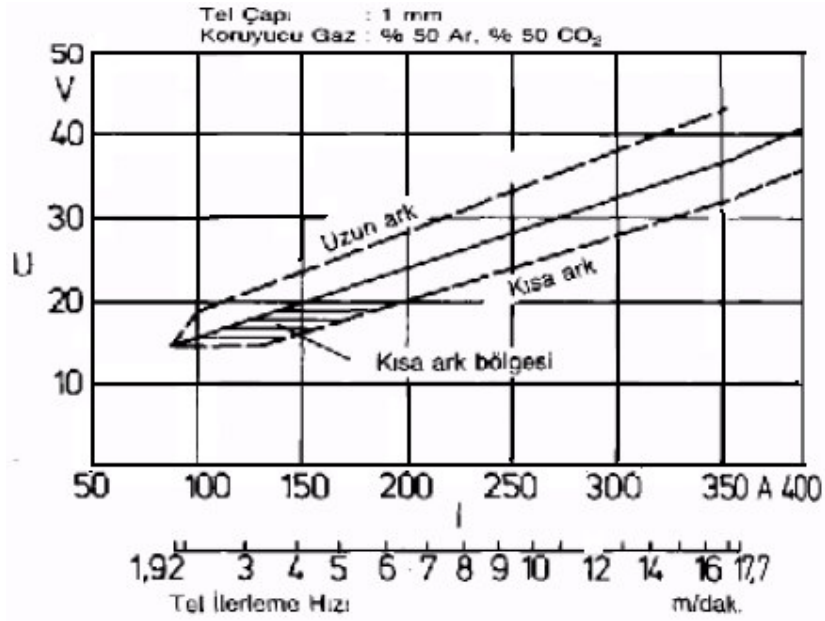
Demir esaslı metallerin kaynağında saf karbondioksit ile argon-karbondioksit ve argon oksijen karışımları kullanılır. Karbondioksit koruyucu gaz olarak kullanılması halinde aynı akım şiddeti için en büyük erime gücü, en derin nüfuziyet, en geniş ve en konveks kaynak dikişi elde edilir.

Seçilen SG 1 elektrod için CO<sub>2</sub> veya %80Ar+%20CO<sub>2</sub> koruyucu gaz olarak kullanılabilir.

### 7.4.2.3 Ark Boyu

Sabit gerilim karakteristikli bir kaynak akım üreticinde ark gerilimi veya kaynak gerilimi, elektrod ucu ile iş parçası arasındaki uzaklık tarafından belirlenir. Bütün diğer parametreler sabit tutulmak koşulu ile ark geriliminin artması haline kaynak dikişi yaygın ve geniş bir biçim alır. Seçilen parametreler göz önüne alınarak tablo 7.4 ark boyu hakkında fikir vermektedir.(Tel çapı 1mm, koruyucu gaz %50 Ar, %50 CO<sub>2</sub>)

Tablo 7. 4 Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri (Tülbentçi, 1990)



### 7.4.2.4 Kaynak Hızı

Kaynak hızı yarı otomatik yöntemlerde kaynakçı, otomatik veya mekanize yöntemlerde ise makine tarafından ayarlanır.

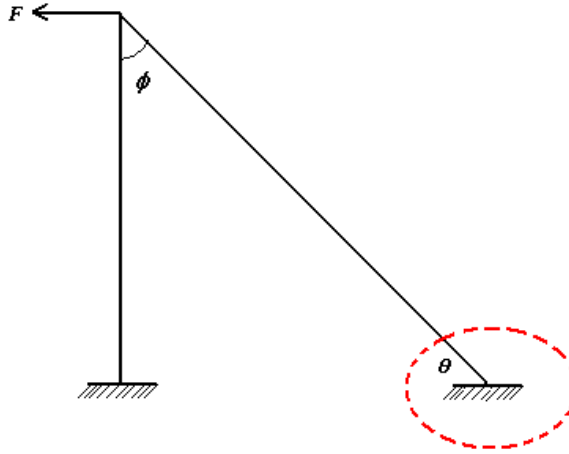
Kaynak hızı, kaynak arkının iş parçası boyunca olan hareketi veya birim zamanda yapılan kaynak dikiş boyu olarak tanımlanır. En derin nüfuziyet kaynak hızının optimum değerinde elde edilir ve bu hızın yavaşlaması veya artması hallerinde ise nüfuziyet azalır. Kaynak hızı yavaş olduğu zaman, birim zamanda birim boya yığılan kaynak metali artar ve bu da kaynak banyosunun büyümesine neden olur, çok akışkan hale gelen sıvı metal ağız içinde arkın önüne doğru akar ve bu da nüfuziyetin azalmasına neden olur ve sonuçta geniş bir kaynak dikişi elde edilir.

### 7.4.2.5 Elektrod Açısı

Kaynak elektrodunun veya torçunun iş parçasına nazaran konumu ve kaynak esnasındaki hareketi kaynak dikişinin formunu etkileyen etmenlerden bir tanesidir. Bu parametre ölçülmesi zor olan parametre grubuna dahildir.

### 7.5 Analiz Çalışması

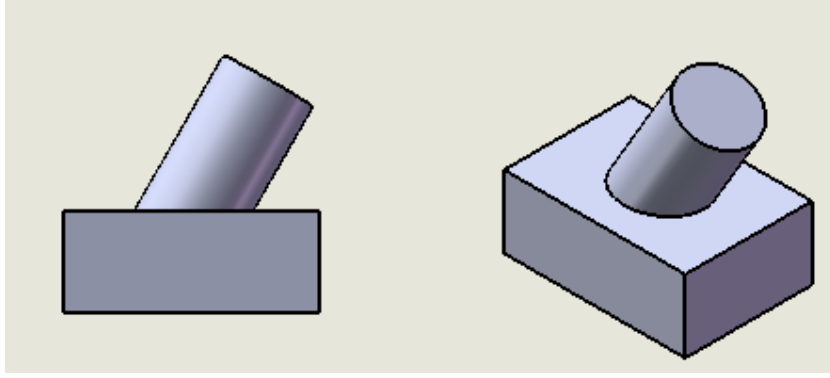
Analiz çalışmasında şekil 7.1 'deki konstrüksiyonda kesikli çizgiler ile belirtilen kısım için kuvvetin aynı açı ile etki edebileceği 2 farklı kaynaklı konstrüksiyon tasarlanmıştır. Bu konstrüksiyonlar kullanılan kaynak ağzının açılması, kullanılan kaynak metalinin miktarı, buna bağlı olarak değişecek işçilik ve maliyet, kuvvetlerin farklı konstrüksiyonlarda değişiminin sonuç üzerindeki etkileri, belirlenen konstrüksiyona uygun yöntem seçimleri ve bunlara bağlı olarak kaynak kalitesi açısından irdelenmiştir.



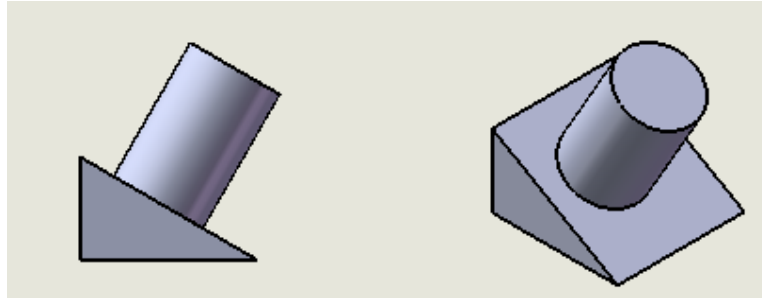
Şekil 7. 1 Analiz çalışmasında kullanılan ana konstrüksiyon

Ana konstrüksiyonda hedeflenen kuvvetin silindirik parçaya  $\theta$  açısı ile etki etmesidir. Bu nedenle çalışmada iki ana farklı tasarım üzerinde durulmuştur. Bu tasarımlar şekil 7.2 ve şekil 7.3 de gösterilmiştir.





Şekil 7. 2 1 no'lu tasarımın isometrik ve soldan görünüşü



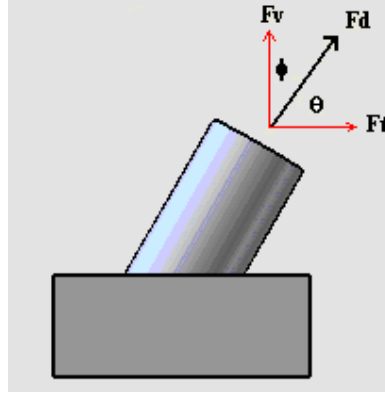
Şekil 7. 3 2 no'lu tasarımın isometrik ve soldan görünüşü

Konstrüksiyonda daha öncede belirtildiği gibi ana hedef, yükün silindire açılı bir şekilde uygulanmasıydı. 1 numaralı konstrüksiyonda tabla düz seçilmiş, silindir üzerine belirli bir açıyla kaynak edilmiştir. 2 numaralı konstrüksiyonda ise gereken açı tablaya verilmiş, silindir açılı tablanın üzerine kaynak edilmiştir. Tasarımdaki bu ana değişiklik birçok farklı açıdan konstrüksiyona etki etmektedir. Bunlardan ilki düz tablanın kullanıldığı konstrüksiyonda silindire belirli bir açı verilmesi için silindirin alt bölümü açılı olarak kesilmiş olmasıdır. Buda silindirde mevcut olan dairesel formun değiştirilerek eliptik hale getirilmesine sebep olmuştur. Kaynak işleminin bu bölümden yapılacak olması ilk başta kaynak dikiş uzunluğunun ve kaynak metali hacminin artması demektir. Çünkü matematiksel olarak elipsin çevresi aynı yarıçaplı dairenin çevresinden fazladır. Çevrenin boyutları ise aynı kuvvet altında kullanılan kaynak metaline etki etmektedir.

## 7.6 Tasarım Değişikliklerine Bağlı Olarak Kaynak Metal Kullanımının İncelenmesi

### 7.6.1 1 numaralı konstrüksiyon için etkiyen kuvvetlerin incelenmesi:

Şekil 7.4 'te 1 numaralı konstrüksiyonda kuvvetlerin dağılımı gösterilmiştir. Ana konstrüksiyona etkiyen  $F$  kuvveti, ana konstrüksiyonda mevcut olan açı değişimi ile birlikte silindir üzerinde kendisini  $F_d$  olarak göstermektedir.



Şekil 7. 4 1 numaralı konstrüksiyonda kuvvetlerin dağılımı

$$F_d = \frac{F}{\sin\phi} \quad (7.1)$$

$$\begin{aligned} F_t &= F_d \cdot \sin\theta \\ F_v &= F_d \cdot \cos\theta \end{aligned} \quad (7.2)$$

$F$  kuvveti, açı sabit olduğundan  $F_d$  kuvveti üzerinden değerlendirmeye başlanmıştır.

$F_d=50$  kN olduğunda eşitlik 7.2' deki formüllerden yararlanılarak;

$$F_t = 50 \cdot \sin 60 \Rightarrow F_t = 43,30 \text{ kN}$$

$$F_v = 50 \cdot \cos 60 \Rightarrow F_v = 25 \text{ kN}$$

bulunur.

Kaynağın yapılacağı elipsin çevresi;

$$A = \pi \cdot r \cdot \left( \frac{1}{\sin\theta} + 1 \right) \quad (7.3)$$

formülü ile

$A=135,50$  mm olarak hesaplanır.

Elips çevresinin hesabından sonra kaynak dikişinde mm başına etkiyecek kuvvetlerin hesaplanması gerekmektedir. Birim başına etkiyen kuvvet, kaynak dikişinin dayanabilmesi için gereken kaynak dikiş kalınlığını verecektir.

$$f_t = \frac{F_t}{A} = \frac{43,30 \cdot 1000}{135,50} = 319,55 \text{ N/mm}$$

$$f_v = \frac{F_v}{A} = \frac{25 \cdot 1000}{135,50} = 184,50 \text{ N/mm}$$

$$f_r = \sqrt{f_t^2 + f_v^2} \quad (7.4)$$

$$f_r = \sqrt{319,55^2 + 184,50^2}$$

$$f_r = 368,98 \text{ N/mm}$$

w= kaynak dikiş kalınlığı;

$$w = \frac{f_r}{(0.707) \cdot (\%30\text{EXX})^*} \quad (7.5)$$

$$w = \frac{368,98}{(0.707) \cdot 144,78} = 3,60 \text{ mm olarak belirlenmiştir.}$$

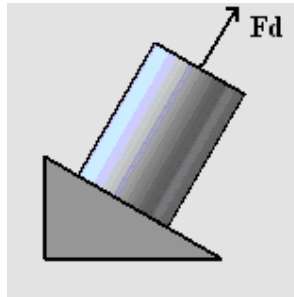
Kaynak metal hacmi;

$$v = \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot A \quad (7.6)$$

$$v = 878,04 \text{ }^3\text{mm}$$

### 7.6.2 2 numaralı konstrüksiyon için etkiyen kuvvetlerin incelenmesi:

Şekil 7.5 'te 2 numaralı konstrüksiyonda kuvvetlerin dağılımı gösterilmiştir. Ana konstrüksiyona etkiyen F kuvveti, mevcut olan açı değişimi nedeniyle silindir üzerine  $F_d$  olarak etkimektedir.



Şekil 7. 5 2 numaralı konstrüksiyonda kuvvetlerin dağılımı

\*Kaynak metali olarak 7016 kullanıldığı varsayılmıştır.

Bu konstrüksiyonda gereken açı tabladan verildiği için kuvvetin dağılımı ilk konstrüksiyona göre değişim göstermektedir. 2 numaralı konstrüksiyonda  $f_d = f_r$ 'dir. Kaynak dikişi dairesel bir kesite uygulanacağından;

$$A=2\pi r \quad (7.7)$$

$A=125,66$  mm olarak bulunur.

Eşitlik (7.4), (7.5) ve (7.6) kullanılarak;

$$f_r = f_d = \frac{50.1000}{125,66} = 397,89 \text{ N/mm}$$

$$w = \frac{397,89}{(0,707).144,78} = 3,88 \text{ mm}$$

$$v = 945,86 \text{ mm}^3$$

bulunur.

İlgili iki konstrüksiyondaki kuvvetlerin matematiksel olarak analizi yapıldığında bu kuvvetlere uygun olarak seçilmesi gereken kaynak dikiş kalınlığı ve kaynak hacminin değiştiği görülmektedir. Bu aşamada toplam maliyetteki diğer tüm parametreler sabit tutulduğunda dahi kullanılacak malzeme maliyeti değiştirmektedir. Konstrüksiyona uygulanan kuvvet veya parçaların boylarında yapılacak değişimlerle, kullanılan kaynak malzemelerin arasındaki farkın ciddi boyutlara ulaşması söz konusudur. Bu nedenle parçaların yükleme durumlarının maliyete etki ettiği söylenebilir. Tablo 7.5'de konstrüksiyonlar arasındaki farklar özetlenmiştir.

Tablo 7. 5 Konstrüksiyonlara ait dikiş form sonuçları

|                            | mm <sup>2</sup> 'ye etki eden kuvvet<br>(f <sub>r</sub> )-N/mm <sup>2</sup> | Kaynak dikiş<br>kalınlığı (w) - mm | Kaynak dikiş hacmi (v)-<br>mm <sup>3</sup> |
|----------------------------|---|------------------------------------|--|
| Düz Tabla - Açılı Silindir | 368,98 N/mm <sup>2</sup>  | 3,60 mm                            | 878,04                                     |
| Açılı Tabla - Düz Silindir | 397,89 N/mm <sup>2</sup>  | 3,88 mm                            | 945,86                                     |

## 7.7 Kaynaklı Konstrüksiyonların FEM ile modellenmesi ve Analizi

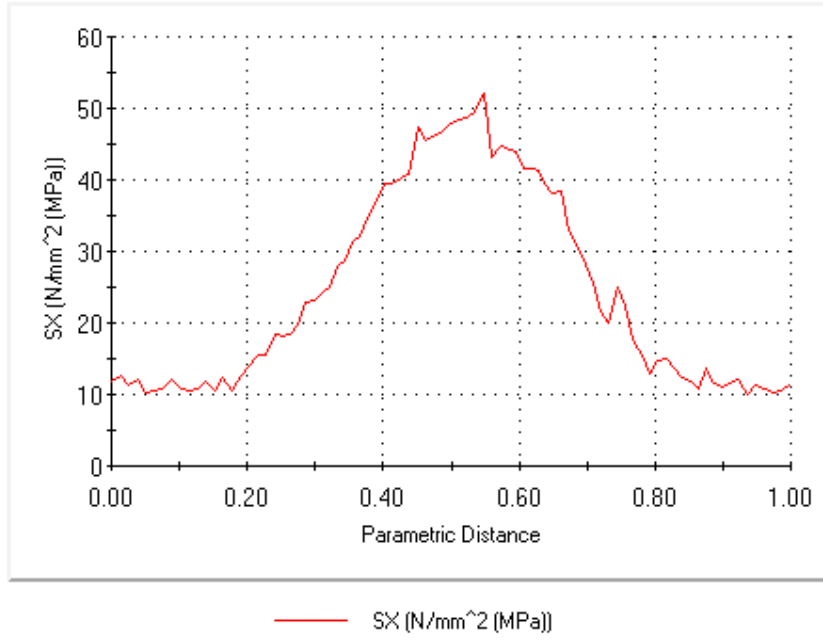
### 7.7.1 1 Numaralı Konstrüksiyonun ( Düz Tabla-Açılı Silindir) FEM ile Modellenmesi ve Analizi

Konstrüksiyonların analizinde COSMOSwork paket programı kullanılmıştır. Konstrüksiyonda kullanılan tabla 40x100x70 mm boyutlarında; silindir ise R=20 mm çapında ve 70 mm yüksekliktedir, fakat açılı montaj etme zorunluluğu nedeniyle silindirin alt bölgesinden 30<sup>0</sup>'lik açıyla parça kesilmiştir. Kullanılan her iki parçanın da malzemesi AISI 1020 seçilmiştir. Parçaların kaynak işleminde ise kaynak dikişi için gereken kalınlık parametresi eşitlik (7.5)'den 3,88 mm olarak belirlenmiştir. Konstrüksiyon sonlu elemanlar yöntemi ile 71738 nokta bazında incelenmiştir.

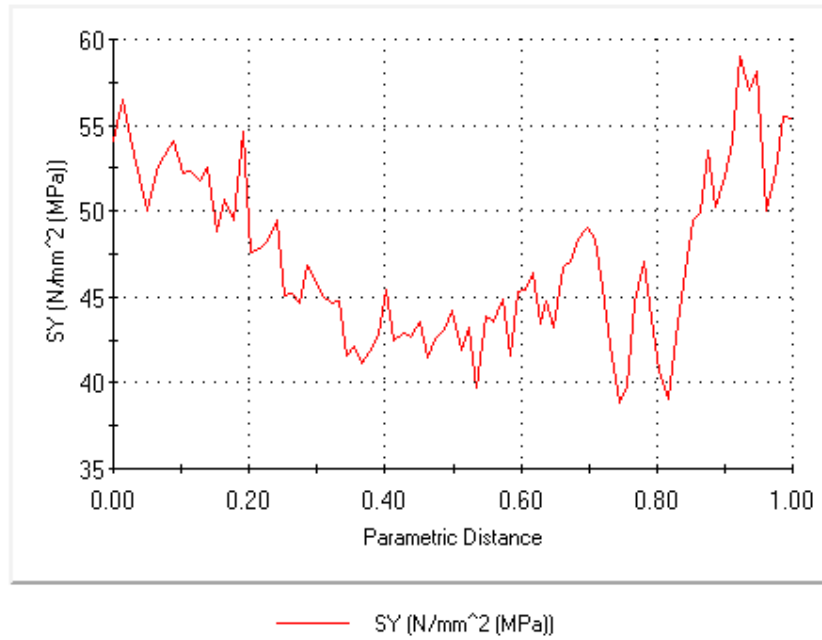
Analiz için seçilen sıcaklık 25<sup>0</sup> C'dir. Bu sıcaklığın seçilmesindeki hedef çalışma ortamında, ideal bir kaynaktaki davranışın incelenmesidir. Konstrüksiyonda silindire 50 kN yük uygulanmıştır. Tablo 7.6'da düz tabla ve açılı silindirin yukarıda belirtilen parametreler kullanılarak kaynak işleminin modellenmesi sonucu, konstrüksiyonda oluşan maksimum ve minimum gerilmeler ile bunların oluşturduğu noktalar belirtilmiştir. Analize ait rapor EK-1'de sunulmuştur.

Tablo 7. 6 Düz Tabla-Açılı Silindir Modelinde Analiz Sonucu Çıkan Gerilme Değerleri

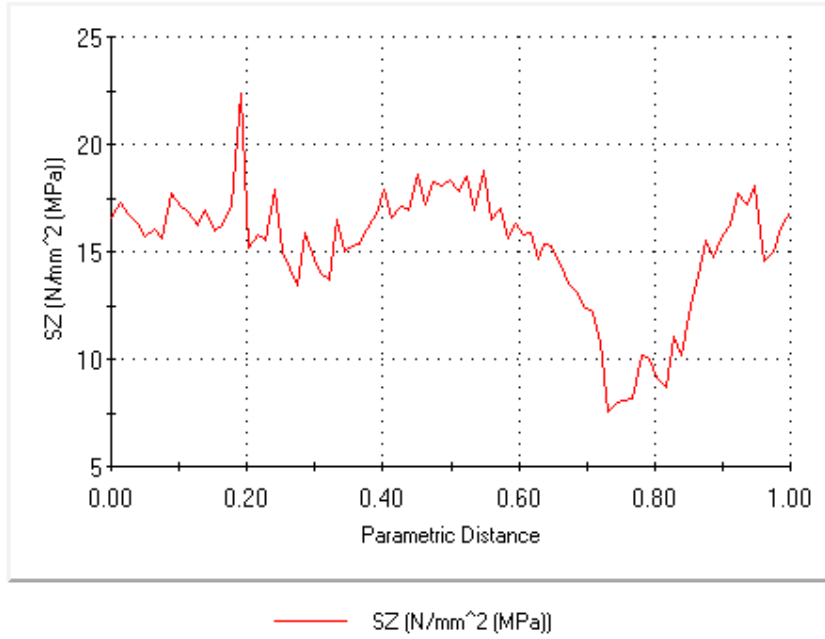
| <b>GERİLİM TÜRÜ</b>                                      | <b>MİN GERİLME DEĞERİ</b>                      | <b>MIN GERİLMENİN GÖRÜLDÜĞÜ BÖLGE</b>         | <b>MAX GERİLME DEĞERİ</b>                     | <b>MAX GERİLMENİN GÖRÜLDÜĞÜ BÖLGE</b>         |
|--|--|---|---|---|
| <b>Yer Değiştirme</b>                                    | 0 mm;<br>Nokta:203                             | (-48.1769 mm,-<br>25.8552 mm; -31.9841<br>mm) | 0.021 mm;<br>Nokta:57789                      | (14,7568 mm,<br>74.8101 mm, 1.26918<br>mm)    |
| <b>VON Mises Gerilimi</b>                                | 0.157 N/mm <sup>2</sup>                        | (31.1306 mm,-14.9491<br>mm, -31.9841 mm)      | 77.1132<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57227 | (-18.5016 mm,<br>16.0185 mm, -<br>1.89552 mm) |
| <b>X Doğrultusundaki Normal Gerilme</b>                  | -25.9168<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57227 | (4.6938 mm, 14.1448<br>mm, -21.5898 mm)       | 52.2139<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57227 | (-18.5016 mm,<br>16.0185 mm, -<br>1.89552 mm) |
| <b>Y Doğrultusundaki Normal Gerilme</b>                  | -25.051<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57063  | (4.6938 mm, 14.1448<br>mm, -21.5898 mm)       | 59.0443<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57227 | (24.0464 mm, 19.227<br>mm, -10.7229 mm)       |
| <b>Y Doğrultusundaki (YZ Düzleminde) Kayma Gerilmesi</b> | -12.9418<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57063 | (4.6938 mm, 14.1448<br>mm, -21.5898 mm)       | 40.7089<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57227 | (-18.5016 mm,<br>16.0185 mm, -<br>1.89552 mm) |
| <b>Z Doğrultusundaki Normal Gerilme</b>                  | -9.6421<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57158  | (3.9135 mm, 14.1448<br>mm, -19.6996 mm)       | 22.3965<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57314 | (14.8412 mm,<br>18.3759 mm, 20.0177<br>mm)    |
| <b>Z Doğrultusundaki (XZ Düzleminde) Kayma Gerilmesi</b> | -21.251<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57314  | (14.8412 mm, 18.3759<br>mm, 20.0177 mm)       | 19.4814<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57193 | (-9.2687 mm, 15.8301<br>mm, -14.2013 mm)      |



Şekil 7. 6 X doğrultusunda maksimum. gerilmenin olduğu bölgede gerilme dağılımı



Şekil 7. 7 Y doğrultusunda maksimum gerilmenin olduğu bölgede gerilme dağılımı



Şekil 7. 8 Z doğrultusunda maksimum gerilmenin olduğu bölgede gerilme dağılımı

### 7.7.2 2 Numaralı Konstrüksiyonun ( Açılı Tabla - Düz Silindir) FEM ile Modellenmesi ve Analizi

Açılı tabla ve düz silindirden oluşan 2 numaralı konstrüksiyonda kullanılan tablaya 30<sup>0</sup>'lik açı verilmiş, silindir ise R=20 mm çapında ve 70 mm yükseklikte seçilmiştir. Kullanılan her iki parçanın da malzemesi AISI 1020 seçilmiştir. Parçaların kaynak işleminde ise kaynak dikişi için gereken kalınlık parametresi eşitlik (7.5)'den 3,60 mm olarak belirlenmiştir. Konstrüksiyon sonlu elemanlar yöntemi ile 73110 nokta bazında incelenmiştir. Analiz için seçilen sıcaklık 25<sup>0</sup> C'dir. Bu sıcaklığın seçilmesindeki hedef çalışma ortamında, ideal bir kaynakta davranışın incelenmesidir. Konstrüksiyonda silindire 50 kN yük uygulanmıştır.

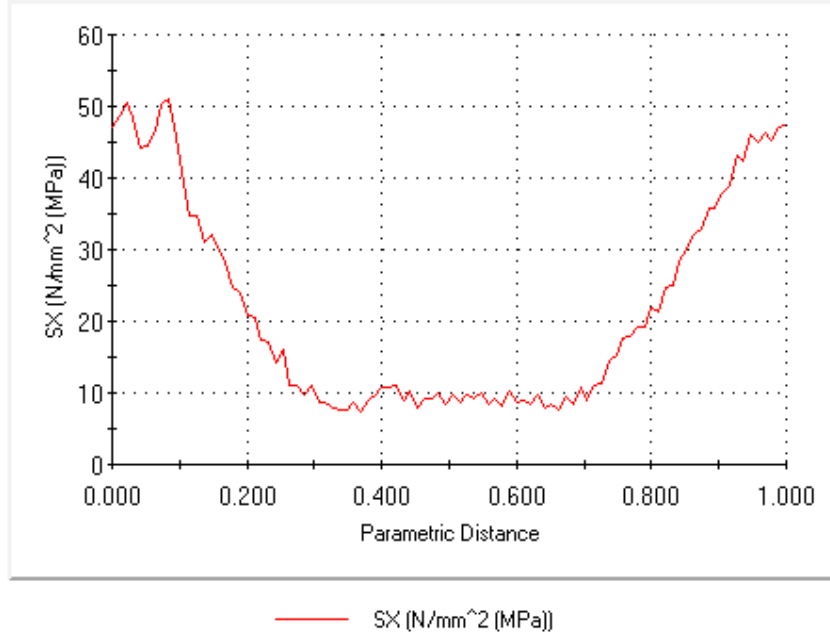
Tablo 7.7'de düz tabla ve açılı silindirin yukarıda belirtilen parametreler kullanılarak kaynak işleminin modellenmesi sonucu, konstrüksiyonda oluşan maksimum ve minimum gerilmeler ile bunların oluşturduğu noktalar belirtilmiştir.

Analize ait rapor EK-2'de sunulmuştur.

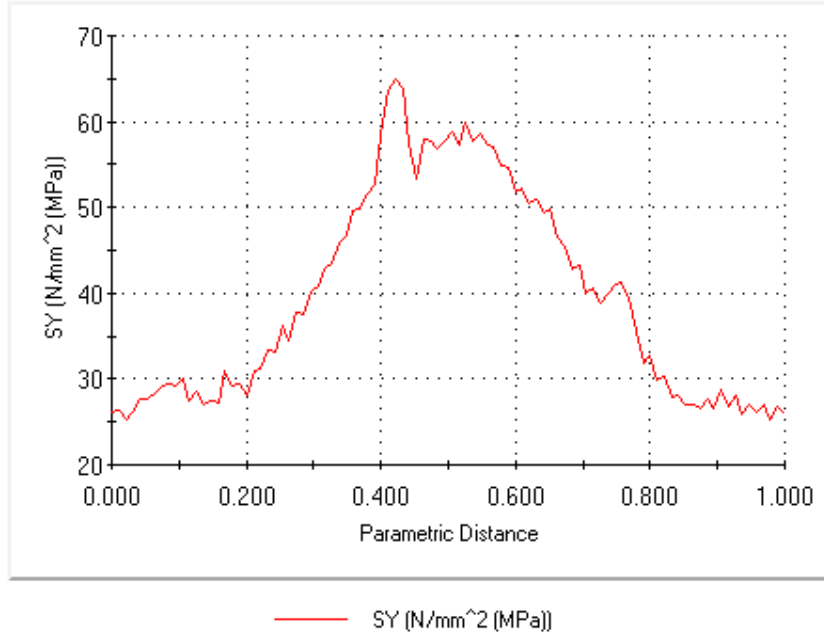


Tablo 7. 7 Düz Tabla-Açılı Silindir Modelinde Analiz Sonucu Çıkan Gerilme Değerleri

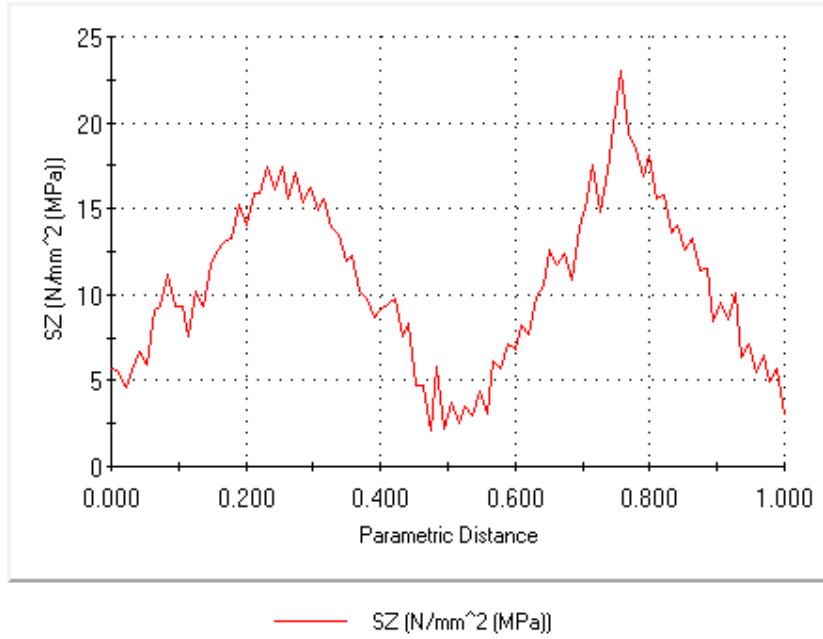
| <b>GERİLİM TÜRÜ</b>                                      | <b>MİN GERİLME DEĞERİ</b>                   | <b>MIN GERİLMENİN GÖRÜLDÜĞÜ BÖLGE</b>   | <b>MAX GERİLME DEĞERİ</b>                 | <b>MAX GERİLMENİN GÖRÜLDÜĞÜ BÖLGE</b> |
|--|---|---|---|---------------------------------------|
| <b>Yer Değiştirme</b>                                    | 0 mm;<br>Nokta:30645                        | (38.5373mm,-23.9471 mm; -34.3744 mm)    | 0.014 mm;<br>Nokta:28079                  | (15.5599 mm, 58.6009 mm, -3.4729 mm)  |
| <b>VON Mises Gerilimi</b>                                | 0.157 N/mm <sup>2</sup>                     | (-30.7447 mm, -23.9471 mm, -34.3744 mm) | 63.8186 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:1039 | (-10.9889 mm, 9.0937 mm, -8.8516 mm)  |
| <b>X Doğrultusundaki Normal Gerilme</b>                  | -39.5958 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:31151 | (-30.7447 mm, -23.9471 mm, -34.744 mm)  | 50.9349 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:1    | (-10.4558 mm, 8.7889 mm, -10 mm)      |
| <b>Y Doğrultusundaki Normal Gerilme</b>                  | -39.5958 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:31151 | (-30.7447 mm, -23.9471 mm, -34.3744 mm) | 64.9502 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57   | (19.5573 mm, -8.5087 mm, -10 mm)      |
| <b>Y Doğrultusundaki (YZ Düzleminde) Kayma Gerilmesi</b> | -8.1787 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:760    | (22.3715mm, -11.0936 mm, -1.3905 mm)    | 27.9113 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:1039 | (-10.9889 mm, 9.0937 mm, -8.8516 mm)  |
| <b>Z Doğrultusundaki Normal Gerilme</b>                  | -39.5958 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:31151 | (-30.7447 mm, -23.9471 mm, -34.744 mm)  | 23.0352 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:138  | (4.5573 mm, 0.1514 mm, 20 mm)         |
| <b>Z Doğrultusundaki (XZ Düzleminde) Kayma Gerilmesi</b> | -20.2046 N/mm <sup>2</sup> ; Nokta:722      | (13.3587 mm, -5.8903 mm, 18.2146 mm)    | 20.3948 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:978  | (14.6256mm, -6.6221 mm, -17.275 mm)   |



Şekil 7. 9 X doğrultusunda maksimum gerilmenin olduğu bölgede gerilme dağılımı



Şekil 7. 10 Y doğrultusunda maksimum gerilmenin olduğu bölgede gerilme dağılımı



Şekil 7. 11 Y doğrultusunda maksimum gerilmenin olduğu bölgede gerilme dağılımı

### 7.8 Analizlerin Değerlendirilmesi

Analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde gözden kaçırılmaması gereken nokta, kaynak tekniği kalitesinin sadece kaynak parametrelerinin değişiminden etkilenmediğidir. Bunun sebebi ise çalışmada da ayrıntılı anlatıldığı üzere, başta kaynak personeli olmak üzere birçok dış değişkenin kaynak tekniğindeki etkinliğidir. Bilgisayar ortamında, herhangi bir paket programla kaynak modellenmesi yapıldığında, kaynak ağzının temizliğinden kaynakçı personelin yeterliliğini kadar birçok nokta sorgulanamaz. Kaynak tekniğinde kaynak kalitesindeki diğer önemli noktalardan biri malzemenin kimyasal yapısıdır. Pratikte her zaman sertifikalı malzeme bulunamamaktadır. Eldeki malzemeler yakılarak yaklaşık sonuçlar elde edilir, paket programlarda ise malzemenin tam içeriğine sahip olduğumuz düşünülmektedir. Bu da kaynak tekniğinde pratik ve teorikte oluşacak farkların sebeplerinden biridir. Bu analiz çalışmasında asıl hedeflenen kaynakta herhangi bir hata oluşmadığı varsayılarak yükleme durumlarına ve tasarıma bağlı olarak kaynak kalitesinde nelerin etkilenebileceğinin araştırılmasıdır.

Tablo 7.6 ve tablo 7.7 incelendiğinde verilen parametreler dahilinde maksimum ve minimum gerilmenin hangi noktada karşımıza çıkacağı görülmektedir. İki tablodaki maksimum gerilmeler ilk karşılaştırıldığında, düz tablaya açılı silindirin kaynak edildiği konstrüksiyon modelinde gerilmelerin daha az olduğu, bu nedenle daha güvenli bir model oluşturulduğu görülmektedir. 50 kN olarak uygulanan kuvvet açılı tabla-düz silindirden oluşan

konstrüksiyonda, dikiş çevresine direk etki ettiği halde, düz tabla açılı silindir modelde kuvvet eksenler dahilinde etkimektedir. Bu 2 numaralı konstrüksiyonda dikişin daha fazla kuvvete maruz kaldığını gösterir. Kaynaklı konstrüksiyonların tasarım aşamasında kaynak dikişinin maruz kalacağı kuvveti sadece parçanın sabitlenmesiyle değiştirebileceğimiz bu şekilde ispatlanmaktadır. Fakat bu noktada ilk sorgulanması gereken, iki konstrüksiyon arasındaki dayanım değerlerindeki farkın, ana konstrüksiyon göz önüne alındığında bir seçim yapmaya yetecek kadar olup olmadığıdır.

Analizden çıkan diğer bir nokta tablolar ayrıntılı incelendiğinde maksimum normal gerilmelerin hep aynı noktada oluştuğu görülmüştür. Bu noktalarda herhangi bir konstrüktif önlem alınıp anlamayacağı dizayn bürosu, kaynak personeli ve müşteri tarafından belirlenmesi gereken bir konudur.

Tasarım aşamasında, tasarımcının birleştirme emniyetine direk etki ettiği görülmektedir. Birleştirme emniyetinden sonra sorgulanacak diğer kısımlar birleştirme yöntemi, tasarımcı tarafından seçilen malzeme, eğer gerekiyorsa bu malzemeye uygulanacak ısıl işlemler, konstrüksiyon için seçilecek kaynak ağzı ve en nihayetinde bu seçimlerin yerinde uygulanabilirliği ve doğacak maliyettir.

Analiz çalışmasında, birleştirilecek malzemeler AISI 1020 olarak seçilmiştir. İlk olarak bu malzemeler kullanılarak analiz sonucu çıkan dayanımların istenen kaynak kalite seviyesini karşılayıp karşılamadığı irdelenmesi gerekmektedir.

Konstrüksiyonlar statik yüklere maruz kaldığından Niemann'ın deneylerine göre tüm bağlantı türleri için  $v_1$  dikiş katsayısı 0,8-1 arasında alınabilmektedir.  $V_2$  kalite katsayısı ise 2.kalite kaynak için 0,8 olarak alınmıştır ( bkz:4.3.1 Birinci Yöntem, syf 76 ).  $V_3$  darbe katsayısı ve  $v_4$  deneysel gerilme yığılmaları mevcut konstrüksiyonlar dikkate alındığında göz ardı edilmişlerdir. S emniyet katsayısı ise 2 olarak alınmıştır. Bu durumda;

$$v_1=0,9$$

$$v_2=0,8$$

$$S=3$$

$$\sigma_{Ak} = 420,51 \text{ N/mm}^2 ; \tau_{Ak} = 351,57 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{Ak}}{S} = 140,17 \text{ N/mm}^2 ; \tau_{em} = \frac{\tau_{Ak}}{S} = 117,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{kem} = v_1 \cdot v_2 \cdot \sigma_{em} = 100,92 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{kem} = v_1 \cdot v_2 \cdot \tau_{em} = 84,27 \text{ N/mm}^2$$

Buradan çıkan sonuç her iki konstrüksiyonunda kaynak emniyetinin sağlandığıdır. Ayrıca değerlerin seçiminde her iki konstrüksiyon içinde aynı dikiş katsayılarının alındığına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunun sebebi konstrüksiyonların statik yüklemenin altında kalmasıdır. Eğer konstrüksiyonlar dinamik yük altında kalsaydılar  $v_1$  dikiş katsayısı Niemann deney sonuçlarına göre seçilecekti. Bu durumda aynı konstrüksiyon için alınan dikiş katsayısı 0,9'dan 0,22 'ye düşecektir (*bkz: Tablo 4.1*). Bu düşüş kaynak emniyet gerilme değerini de aşağı çekecek ve konstrüksiyonlar bu kuvveti karşılayamayacaktır. Buradan çıkan sonuç seçilen malzemenin, konstrüksiyon dikişinin ve dikişin maruz kaldığı kuvvetin, yükleme durumunun kaynak kalitesinde bu unsurların önemini göstermiştir.

Konstrüksiyonların karşılaştırılabileceği bir diğer husus kaynak ağzının açılmasıdır. Yapılan analizde her iki konstrüksiyona da kaynak ağzı açılmamıştır. Pratik için düşünüldüğünde de özellikle düz tabla-açılı silindir kaynaklı birleştirmesinde silindirin açılı kesilmesi ve bu açının korunarak kaynak ağzı açılması işçilik maliyetlerini çok fazla yükseltecek ve bu da bu konstrüksiyonun tamamen göz ardı edilmesine sebep olacaktır.

Konstrüksiyonlar için kullanılan malzeme ve istenen dayanım için kaynak metalinin miktarının belirlenmesi de maliyeti arttıracaktır. Bu hesabın yapılmasında başlangıç noktası kaynak metalinin seçimi ile başlar. Seçtiğimiz metalin karbon içeriğinin %30'dan az olması nedeniyle elektrod seçimi nadiren kritik bir olay durumundadır ve seçim genelde arzu edilen çekme dayanımına göre yapılmaktadır.

Tablo 7.5'de her iki konstrüksiyon için kullanılması gereken kaynak metal hacmi belirtilmişti. Tablodan da görüleceği gibi açılı tabla –düz silindir modelde kaynak metal hacmi daha fazladır. İki konstrüksiyon arasındaki fark maliyete etkiyecektir. Analizde kullanılan parça boyutlarının küçük olması kaynak metal farklarının da küçük olmasına sebep olmuştur. Parça boyutları büyüdükçe kaynak dikişinde kullanılan kaynak metal hacmi de artacaktır. Burada esas üstünde durulması gereken nokta tasarımda oluşturulacak farkın malzeme kullanımına da etki edeceğidir. Kaynak metaline ek olarak aynı şartların yaratılması için kullanılan ana metalde fark göstermektedir. Düz tabla-açılı silindir modelde yaklaşık 2 kat fazla malzeme kullanılmıştır. Tüm bu malzeme farklılıkları, konstrüksiyon boyutları büyütüldüğünde ciddi maliyet farklarına sebep olabileceği için göz önünde bulundurulmalıdır.

Konstrüksiyonlarda istediğimiz dayanımın sağlanmasında malzemenin önemi yukarıda ayrıntılı olarak belirtilmiştir. Fakat seçtiğimiz malzeme konstrüksiyonun ön tav gereksimini de ortaya koyacaktır. İlk başta seçilen ana malzemenin  $C_{eş}$ 'nin hesaplanması gerekmektedir. Bunun hesabında farklı yöntemler vardır. Bunlar;

1-Dearden ve H.O.Neill karbon eşdeğer formülü;

$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{5}$$

2-Kihara, Suzuki, Oratin ve Tamura'nın karbon eşdeğer formülü;

$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}$$

3-B.J.Bradstreet karbon eşdeğer formülü;

$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{2} + \frac{Cr+Mo+V}{10} + \frac{Ni}{15}$$

4-Société National de Chemin de Fer (Fransa)'in karbon eşdeğer formülü;

$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{P}{2} + \frac{Cr}{5} + \frac{Cu}{13} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15}$$

5-K. Winterton karbon eşdeğer formülü;

$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{10} + \frac{Cu}{40} + \frac{Ni}{20} + \frac{Mo}{50} + \frac{V}{10}$$

6-IIW IX No'lu komisyonuna göre karbon eşdeğer formülü;

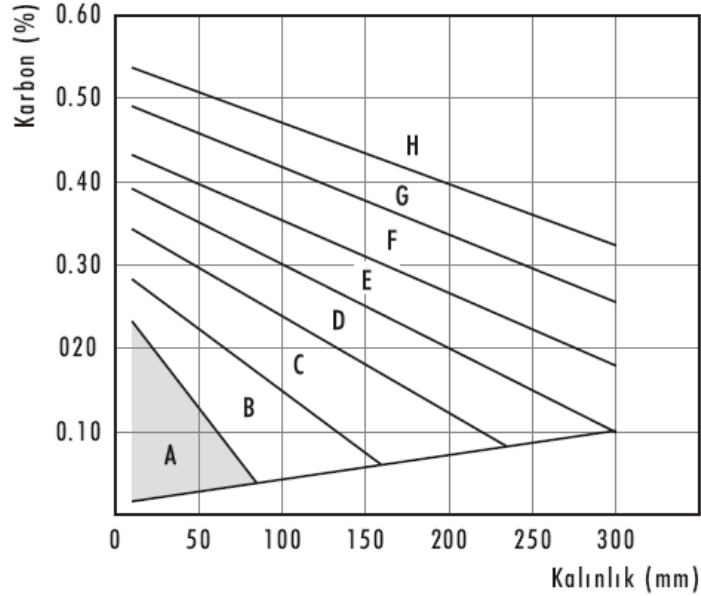
$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

Olarak sıralanabilir. Konstrüksiyonlarda kullanılan AISI 1020 malzemenin kimyasal içeriği ise  $C=0,18-0,23$

$Mn:0,30-0,60$ 'dur.

Bu içerik göz önüne alındığında yukarıdaki tüm formüller kullanılarak AISI 1020'nin  $C_{eş}$ 'i hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda analizdeki minimum değerler kullanılarak elde edilen en düşük  $C_{eş}=0,23$ , maksimum değerler kabul edildiğinde maksimum  $C_{eş}=0,35$  bulunmuştur. Eğer tasarımı göz ardı edip  $C_{eş}$  üzerinden değerlendirmeye gidilirse  $C_{eş}$  0,45'den küçük olduğundan normal atmosfer şartlarında ön tavlama gerek yoktur. Fakat burada tasarımın kaynak kalitesindeki etkisi tekrar ön plana çıkmaktadır. Çünkü tasarımda sadece  $C_{eş}$ 'e değil aynı zamanda parçanın et kalınlığına da dikkat edilmelidir. Tablo 7.8'de verilen değerler ana malzemenin karbon içeriğine ve parçaların kalınlığına bağlı olarak ön tavlama ve pasolar arası sıcaklığı göstermektedir.

Tablo 7. 8 Esas metalin karbon içeriğine ve kalınlığına bağlı olarak ön tavlama ve pasolar arası sıcaklık



| Alan | Öntavlama ve Pasolararası Sıcaklıklar (°C) |                           |
|------|--|---------------------------|
|      | Yüksek Hidrojenli Elektrod                 | Düşük Hidrojenli Elektrod |
| A    | 10 - 40                                    | 10 - 40                   |
| B    | 40 - 90                                    | 10 - 40                   |
| C    | 90 - 150                                   | 40 - 90                   |
| D    | 120 - 200                                  | 70 - 150                  |
| E    | 150 - 260                                  | 90 - 200                  |
| F    | 180 - 320                                  | 120 - 260                 |
| G    | 200 - 370                                  | 150 - 320                 |
| H    | 230 - 430                                  | 200 - 430                 |

### 7.9 Kaynak Metal Hacminin Azaltılmasının Kaynak Kalitesi Üzerindeki Etkileri

Açılı silindirin düz tablaya kaynak edildiği konstrüksiyonda 3,6 mm 'lik kalınlığında kaynak dikişi ve 878,04 mm<sup>3</sup> kaynak metali kullanılmıştır. Gerilmelerin analizi yapıldığında, bu konstrüksiyonun daha iyi bir dayanım gösterdiği için bu konstrüksiyonun daha fazla iyileştirme yöntemleri araştırılmıştır. Bu konstrüksiyonda kaynak dikişi atlamalı kaynak olarak yapılmak istenmiştir. Fakat programda bu mümkün olmadığından, kaynak metali hacminin azaltılması yoluna gidilmiştir. Bu şekilde kaynak metal hacminin, kaynak dayanımı üzerindeki etkilerini de inceleme şansımız olmuştur. Bu hesaplamada sondan başa doğru bir yol izlenmiştir.

Konstrüksiyonda kullandığımız kaynak metali  $878,04 \text{ mm}^3$ 'tür. Burada kullanılan kaynak metalinin üçte bir oranına indirdiğimizde kullanılacak kaynak metali yaklaşık  $300 \text{ mm}^3$  olacaktır. Elipsin çevresinin  $135,30 \text{ mm}$  olduğu göz önüne alınırsa eşitlik (7.6)'dan ;

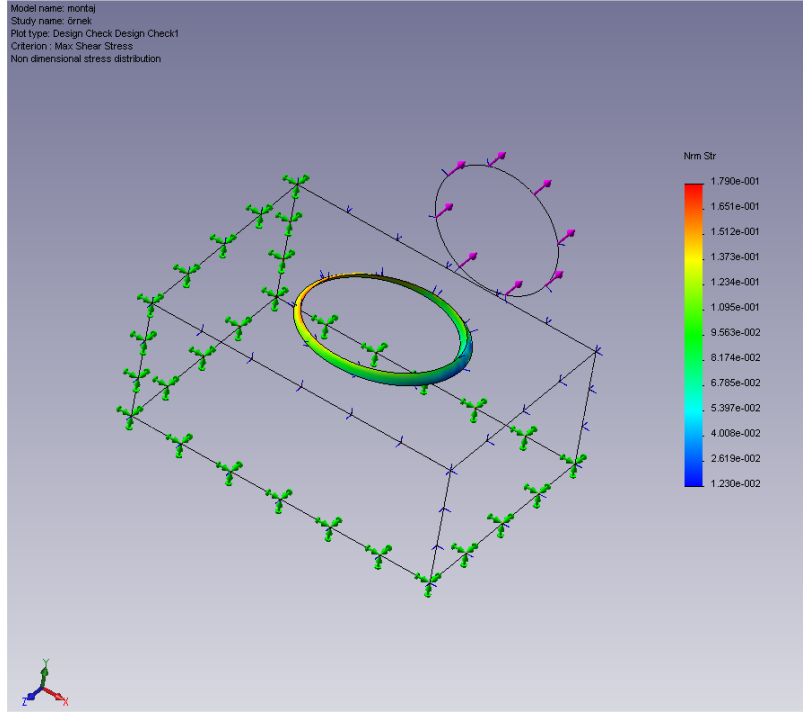
$w=2,1 \text{ mm}$  olmaktadır. Kaynak kalınlığı 2,1 olarak belirlenen konstrüksiyona ait gerilim değerleri ile ilk konstrüksiyona ait gerilim değerleri tablo 7.9'da karşılaştırılmıştır.

Tablo 7. 9 Atlamalı dikiş ve ilk tasarımdaki gerilme değerlerinin karşılaştırılması

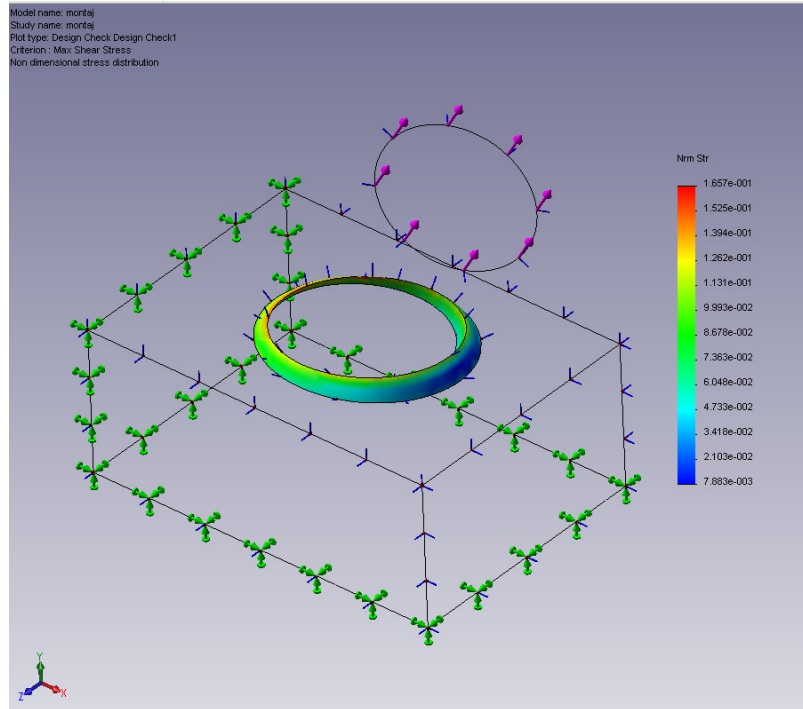
| GERİLİM TÜRÜ                                      | MAX GERİLME DEĞERİ (İLK DEĞER)             | MAX GERİLMENİN GÖRÜLDÜĞÜ BÖLGE (İLK DEĞER) | ATLAMALI KAYNAKTA MAX GERİLME DEĞERİ       | ATLAMALI KAYNAKTA MAX GERİLMENİN GÖRÜLDÜĞÜ BÖLGE |
|---|--|--|--|--|
| Yer Değiştirme                                    | 0.021 mm;<br>Nokta:57789                   | (14,7568 mm, 74.8101 mm, 1.26918 mm)       | 0.021 mm;<br>Nokta:57089                   | (14,7568 mm, 74.8101 mm, 1.26918 mm)             |
| VON Mises Gerilimi                                | 77.1132 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57227 | (-18.5016 mm, 16.0185 mm, -1.89552 mm)     | 80.8279N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:56600  | (-18.5976 mm, 15.2223 mm, 8.0159mm)              |
| X Doğrultusundaki Normal Gerilme                  | 52.2139 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57227 | (-18.5016 mm, 16.0185 mm, -1.89552 mm)     | 62.5905 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:56578 | (-19.6072 mm, 14.9154 mm, -3.3876 mm)            |
| Y Doğrultusundaki Normal Gerilme                  | 59.0443 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57227 | (24.0464 mm, 19.227 mm, -10.7229 mm)       | 57.6658 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:72048 | (22.0038 mm, 18.1125 mm, -12.0716 mm)            |
| Y Doğrultusundaki (YZ Düzleminde) Kayma Gerilmesi | 40.7089 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57227 | (-18.5016 mm, 16.0185 mm, -1.89552 mm)     | 42.639 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:56433  | (-19.0636 mm, 15.2068 mm, 6.4012 mm)             |
| Z Doğrultusundaki Normal Gerilme                  | 22.3965 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57314 | (14.8412 mm, 18.3759 mm, 20.0177 mm)       | 22.1941 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:56677 | (-5.0172 mm, 15.1654 mm, 21.9173 mm)             |
| Z Doğrultusundaki (YZ Düzleminde) Kayma Gerilmesi | 19.4814 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57193 | (-9.2687 mm, 15.8301 mm, -14.2013 mm)      | 24.206 N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:56487  | (-1.6070 mm, 15.0969 mm, -18.3437 mm)            |

Tablo 7.9 incelendiğinde kaynak dikiş hacminin azaltılması sonucu gerilme değerlerinin arttığı görülmektedir. İlk bakışta maksimum gerilmelerin meydana geldiği noktaların, ilk konstrüksiyon örneğinde aynı noktalar olduğu halde, kaynak metal hacmi azaltıldığında noktaların değişiklik gösterdiği gözlenmektedir. Bu yapının daha kararsız bir hal aldığı ve kritik noktaların arttığının göstermektedir. İki konstrüksiyonun güvenilirliği bilgisayar ortamında analiz edilmiştir. Analiz sonuçları şekil 7.12 ve şekil 7.13'de gösterilmektedir.





Şekil 7. 12 Kaynak hacminin azaltıldığı durumda kaynak dikişindeki kaynak güvenilirliği



Şekil 7. 13 Teorideki kaynak hacmi sağlandığında kaynak dikişindeki kaynak güvenilirliği

Konstrüksiyonlar analiz edilirken sadece kaynak dikişi incelenmiştir. Burada paket programın kullandığı formülde kaynak dikişindeki gerilme ve kaynak dikişinin dayanımları

orantılanmıştır. Kritik noktalar kırmızı ile gösterilmiş, renklere ait değer skalaları da şeklin yanında belirtilmiştir. Teorik olarak hesaplanan kaynak metali kullanıldığında dağılımın daha güvenli olduğu aşikârdır. Fakat bu hesap irdelenirken unutulmaması gereken, yapılan bu analiz atlamalı kaynak uygulaması ile kaynak uygulamasının karşılaştırılması değildir. Temelde atlamalı kaynakta daha az kaynak metali kullanılacak olmasından yola çıkılmıştır.

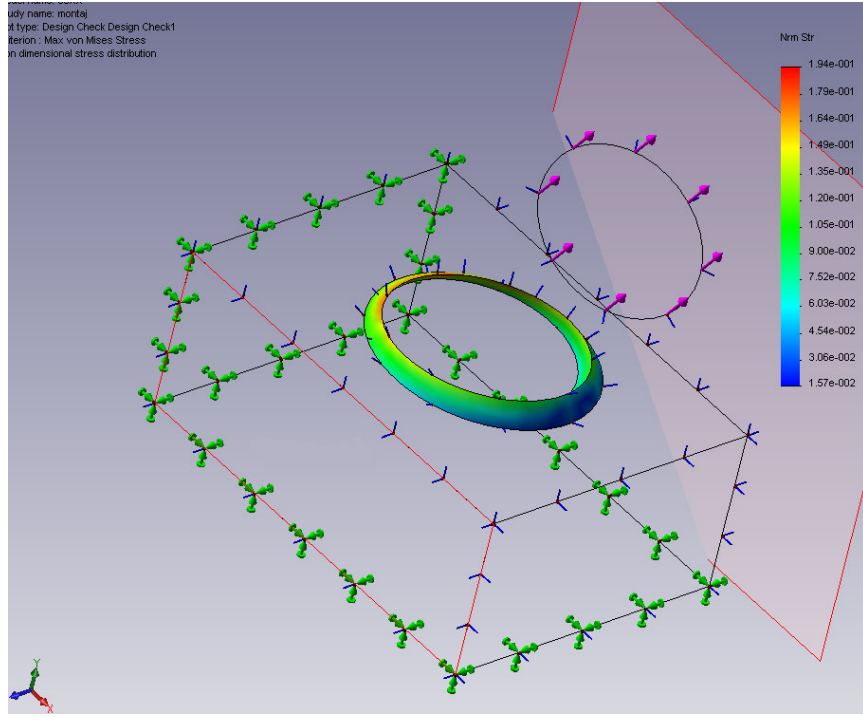
### **7.10 Kaynak Metalinin Değiştirilmesinin Kaynak Kalitesi Üzerindeki Etkileri**

AISI 1020 malzemesinin kaynağında düşük karbonlu çelik çekirdek teline sahip olan bir tür elektrod kullanılabilceği ve bu tür çeliklerin kaynağında minimum 430\*\*Mpa'lık çekme dayanımı ve minimum 330\*\*Mpa'lık akma dayanımına sahip kaynak metali oluşturan 60XX elektrodlar kullanılabilceği belirtilmiştir. Yapılan analizde daha yüksek mukavemette kaynak metali tercihi yapılarak minimum 510 Mpa'lık çekme dayanımı ve minimum 360 MPa'lık akma dayanımına sahip kaynak metali oluşturan 70XX elektrodları kullanılmıştır. 70XX elektrodları incelenmiş ve E7016 Elektrod uygun seçilmiştir. E7016 elektrodları düşük hidrojenli, düşük karbonlu çelik elektrodlarıdır. Bundan sonraki aşamada analiz tekrarlanmış ve 60XX elektrodları kullanılmıştır. Tablo 7.10'da farklı kaynak metali kullanılmasının kaynak dikişindeki gerilmeler üzerinde etkileri gösterilmiştir.

Tablo 7. 10 Farklı kaynak metallerinin kullanılması durumunda kaynak dikişindeki gerilmelerin karşılaştırılması

| GERİLİM TÜRÜ                                      | MAX GERİLME DEĞERİ (70XX)                     | MAX GERİLMENİN GÖRÜLDÜĞÜ BÖLGE (70XX)         | MAX GERİLME DEĞERİ (60XX)                    | MAX GERİLMENİN GÖRÜLDÜĞÜ BÖLGE (60XX)        |
|---|---|---|--|--|
| Yer Değiştirme                                    | 0.021 mm;<br>Nokta:57789                      | (14,7568 mm,<br>74.8101 mm, 1.26918 mm)       | 0.021 mm;<br>Nokta:57789                     | (14,7568 mm,<br>74.8101 mm,<br>1.26918 mm)   |
| VON Mises Gerilimi                                | 77.1132<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57227 | (-18.5016 mm,<br>16.0185 mm, -<br>1.89552 mm) | 69.3125<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:9544 | (18.8812 mm,<br>15.9539 mm, 5.0943 mm)       |
| X Doğrultusundaki Normal Gerilme                  | 52.2139<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57227 | (-18.5016 mm,<br>16.0185 mm, -<br>1.89552 mm) | 50.6891<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:9617 | (-20.5807 mm,<br>15.9535 mm, 5.0943 mm)      |
| Y Doğrultusundaki Normal Gerilme                  | 59.0443<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57227 | (24.0464 mm, 19.227 mm, -10.7229 mm)          | 47.5213<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:9572 | (-1.7026 mm,<br>17.3423 mm, -<br>17.1118 mm) |
| Y Doğrultusundaki (YZ Düzleminde) Kayma Gerilmesi | 40.7089<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57227 | (-18.5016 mm,<br>16.0185 mm, -<br>1.89552 mm) | 36.5488<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:9625 | (-19.0806 mm,<br>15.9545 mm, 2.0948 mm)      |
| Z Doğrultusundaki Normal Gerilme                  | 22.3965<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57314 | (14.8412 mm,<br>18.3759 mm, 20.0177 mm)       | 16.9643<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:9635 | (-15.2326 mm,<br>16.1812 mm,<br>13.2704 mm)  |
| Z Doğrultusundaki (YZ Düzleminde) Kayma Gerilmesi | 19.4814<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:57193 | (-9.2687 mm, 15.8301 mm, -14.2013 mm)         | 15.0446<br>N/mm <sup>2</sup> ;<br>Nokta:9601 | (-8.4209 mm,<br>15.4056 mm, -<br>16.1462 mm) |

Tablo 7.10 incelendiğinde yeni seçilen kaynak metali ile kaynak dikişindeki maksimum gerilmelerin azaldığı görülmüştür. Şekil 7.14 'te ise kaynak dikişindeki gerilmeler gösterilmiştir. Şekil 7.14'te incelendiği takdirde kaynak dikişindeki dayanımın da arttığı görülmektedir. E70XX ve E60XX kaynak metallerinin arasındaki en temel fark E60XX kaynak metalinin akma ve çekme dayanımlarının E70XX metalinden daha küçük olması ve bu nedenle dayanım değerlerinin ana metale daha uygun olmasıdır.



Şekil 7. 14 E60XX kaynak metali kullanılarak oluşturulmuş kaynak dikişindeki gerilme dağılımı

## 8. SONUÇLAR

Kaynaklı konstrüksiyonlarda kaynak kalitesini etkileyen unsurlardan birçoğu insan ve çevre faktörü ile ilişkilidir. Bu nedenle konstrüksiyonların analiz sonucunda çıkan teorik değerlerle pratik değerler farklılık gösterecektir. Robotik kaynak uygulamalarında parametreler ilk baştan belirlenir ve daha sonra kaynaklanacak her parçada bu parametreler farklılık göstermeyeceklerdir. Fakat manuel kaynak yöntemlerinde özellikle kaynakçının kaynak kalitesinin sağlanmasında çok önemli rolü vardır.

Teorik sonuçlar ile pratik sonuçlar arasındaki bir diğer fark ise, parçalar analiz edilirken kaynak dikişinde herhangi bir hata ile karşılaşılmadığının varsayılmasıdır.

Kaynaklı konstrüksiyonlarda kalite tasarım aşamasıyla başlamaktadır. Kuvvetin istenilen noktadan etkimesi için tasarım değiştirildiğinde, kaynak dikişinde oluşan gerilmeler, kuvvet taşıyan dikişlerin kalınlığı, kuvvet çizgilerinin kaynak dikişlerindeki yön değiştirmeleri, yöntemler de değişecektir.

Konstrüksiyona etkileyen kuvvetin çekme, basma, burkulma yâda eğilme olması konstrüksiyon için seçilen profili değiştirecektir. Bu profillerin değişmesi de kaynak kalitesine etkileyen unsurların değişmesine sebebiyet verecektir.

Kaynaklı konstrüksiyon için yöntem seçiminde birleştirilen malzeme, kaynaklı birleştirme ile üretilen malzemenin üretim hızı, kaynaklı birleştirmenin uygulanacağı konum, birleştirilecek parçanın kalınlık yönünden durumu ve özellikleri, kaynak ağzı hazırlanması, kaynak dikinin uzunluğu ve birleştirmeden beklenen özellikler değerlendirilmelidir. Bu maddelere uygun yöntemler arasında bir seçim yapılırken, kaliteyi söz konusu iş için elimizde mevcut olan kaynakçıların becerilerinden ve oluşacak maliyet açısından da değerlendirmeliyiz. Örneğin açılı silindire kaynak ağzının açılması, pratikte çok zor ve maliyetli bir iştir. Bu durumda diğer konstrüksiyonda oluşacak gerilmeler ile karşılaştırılmalı yapılmalı ve gerilmeler tehlikeli boyutlarda değil ise seçim ona göre yapılmalıdır.

Kaynak dikişlerinin analiz sonuçlarına göre pratik uygulamalar aynen yapılmamalıdır. Unutulmaması gereken analiz sonuçlarının pratik uygulamalar için fikir alınması gereken çalışmalar olduğudur. Yukarıda da belirtildiği gibi herhangi iki konstrüksiyonun pratikteki iş gücü ve maliyet açısından değerlendirilirken, analiz sonuçları yön göstericidir.

Kaynak parametreleri de kaynak kalitesini etkileyen en önemli unsurlar arasındadır. Kaynak öncesi saptanan parametreler kaynak süresinde değiştirilemez. Bu parametrelerden elektrod türü analiz de değerlendirilebilirken, kullanılan mevcut paket programla kaynak akım türü ya da elektrod çapının kaynak kalitesi üzerindeki etkileri incelenemez. Bu özellikte analiz

programlarının sadece fikir alınması için kullanılması gerektiğini desteklemektedir. Birinci dereceden ayarlanabilir parametreler olan akım şiddeti, ark boyu ve kaynak hızı da mevcut programla analiz edilemez. Bu parametreler için gerekli tablolardan ve deneyimlerden yararlanılmalıdır.

Analizler incelendiğinde tasarım değişikliklerinin kuvvetlerini kaynak dikişinde oluşturdukları gerilmelerin değişikliklere sebebiyet verdiği görülmektedir. Ayrıca farklı konstrüksiyonlar kaynak dikiş uzunluğu dolayısıyla kullanılacak kaynak metal miktarını ve maliyeti de etkimektedir. Bu madde, çalışmada yapılan analizde çember ve elipsin çevre farklılığı ve bu nedenle kullanılacak malzeme miktarının değişmesiyle kendini göstermiştir.

Teorik çalışmalar sonucu bulunan gereken kaynak metal miktarının azaltılması irdelenmiştir. Burada çıkan sonuç ise dişteki kritik noktaların çoğalması ile sonuçlanmıştır. Ayrıca teorik değerdeki metal kullanıldığında hatalar ile karşılaşılacak noktalar belirli iken, kaynak metali azaldığında problemlerli noktaların kaynak dikişinde dağıldığı gözlenmiştir.

Analizin yön gösterdiği noktalar, yukarıda bahsedilen maddeler ile sınırlı değildir. Kullanılan kaynak metalleri değiştirilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir. Bu analizden çıkan sonuç kaynak metali dayanım değerlerinin, ana metalden çok yüksek olması durumunda dikişteki gerilmelerin çok yüksek seviyelere çıktığıdır. Bu nedenle kullanılacak kaynak metalinin dayanımının ana metale yakın olması gerekmekte görülmüştür. Kaynak metalinin etkileri analiz programında incelenebilir.

**KAYNAKLAR**

- Anık, S., Tülbentçi, K. ve Kaluç, E. (1991), “Örtülü Elektrod ile Ark Kaynağı”, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul
- Babalık, F.C., (1997), Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri-Cilt I, Uludağ Üniversitesi, Bursa
- Behnisch, H., (1996), “Methodik im Qualitätsmanagement-am Beispiel Schweißen”, Jahrbuch Schweißtechnik 96, DVS-Verlag, s282-292, Duesseldorf
- Benli, S. (2004), Kaynaklı Parçalarda Oluşan Artık Gerilmelerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Blodgett, O.M., Funderburk, R.S. ve Miller, D.K, (1998), “Fabricators’ and Erectors’ Guide to Welded Steel Construction”, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Florida
- Cürgül, İ., (2001), Konstrüksiyon Tekniği Ders Notları”, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Kocaeli
- DS 952 01: Alman Demiryollarında raylı taşıtlarda ve makineyle ilgili teknik tesislerde metalik malzemelerin kaynağı
- Eryürek, B., (2004), Çelikler İçin Örtülü Elektrod Seçimi, Eczacıbaşı, Lincoln Elektrik, 2004
- Funderburk, R.S., (1999), “Selecting Filler Metals: Matching Strength Criteria”, Welding Innovation, Vol XVI, No:2
- Gourd, L.M., (1995), Kaynak Teknolojisinin Esasları (Çev. İ.B., Eryürek, O., Bodur ve A., Dikicioğlu), İ.T.Ü Makine Fakültesi, Birsen Yayınevi, İstanbul
- Gülsöz, A., (2001), ”Kaynaklı Birleştirmelerde Dikiş Kalitesi ve Emniyet Gerilmeleri”, 5. Denizli Malzeme Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 1993, Denizli
- Gülsöz, A. ve Karakaş, Ö., (2001), ”Dinamik Yükler Altındaki Kaynak Dikişlerinin Hesaplanmasında Yeni Yaklaşımlar”, Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi, Bildiriler Kitabı, Makine Mühendisleri Odası, İstanbul, Ekim 2001
- Gülsöz, A., ve Karakaş, Ö., (2007), “Kaynaklı Birleştirmelerin Statik ve Yorulma Dayanımına Etki Eden Faktörler”, Mühendis ve Makine Dergisi, 2007
- Hobbacher, A., (1997), Empfehlungen zur Schwingfestigkeit geschweißter Verbindungen und Bauteile, DVS Verlag, Düsseldorf
- Karakaş, Ö., (2002), “Kaynaklı Yapı Elemanlarının Hesaplanmasında Kullanılan Yöntemlerin İncelenmesi”, Denizli
- Kılıç, Y., (2006), Kaynak Aşamasında Kalite Güvencesinin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Maddox, S., (2000), “Fatigue Design Rules For Welded Structures”, Progress in Structural Engineering and Materials, 102-109
- Madi, Y., Matheron, P., Recho, N. ve Mongabura, P., (2003), “Low Cycle of Welded Joints, New Experimental Approach”, Nuclear Engineering and Design, 161-177.
- Niemann, G., (1981), Maschinenelemente Band 1, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1981
- Niemann, G., Winter, H. Ve Höhn, B., (2001), Maschinenelemente Band 1, Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2001

Nippes, E.F., Cubberly, W.H., Stedfeld, R.L., Mills, K., Davis, J.R. ve Sandes, B.R., (1983), "Metals Handbook Ninth Edition", American Society For Metals, Ohio

Neumann, A., (1985), Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure, Teil 1. Grundlagen, Tragfähigkeit, Gestaltung, Deutscher Verlag für Schweißtechnik, Düsseldorf, 1985

Radaj. D., Review of Fatigue Strength Assesment of Non-Welded and Welded Structures On Local Parameters, International Journal of FAtigue, Vol 18, 153-170, 1996

Rende. H., (1994), Makine Elemanları Cilt I, Heap ve Konstrüksiyon, Seç Yayın Dağıtım, İstanbul

Ruge, J., (1988), "Handbuch der Scweißtechnik, Bond 4, Berechnung der Verbindungen, Springer Verlag, 1988

Scheermann, H., (1986), Leitfaden für den Schweißkonstrukteur, Die Scweißtechnische Prexis, Bond 17, DVS Verlag, Duesseldorf, 1986

Slecza, L., (2003), "Low Cycle Fatigue Strenght Assesment of Butt and Filet Weld Connections", Journal of Construction Steel Research, 701-712

Yavuz. N.,Özcan. R. Ve Polat. F., (2005), "Tozaltı Kaynak Bağlantısının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Termal ve Mekanik Analizi", Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,Cilt 10,Sayı 2.

Yetiştiren, İ., Cürgül, İ. Ve Sınmazçelik, T., (2002), Makine Tasarımı ve Şekillendirme Tekniği, Birsen Yayınevi, Kocaeli

### **Internet Kaynakları**

[http://www.gedikwelding.com/TR/pdf/library\\_1.pdf](http://www.gedikwelding.com/TR/pdf/library_1.pdf)

[http://www.gedikwelding.com/TR/pdf/library\\_4.pdf](http://www.gedikwelding.com/TR/pdf/library_4.pdf)

[http://www.gedikwelding.com/TR/pdf/library\\_6.pdf](http://www.gedikwelding.com/TR/pdf/library_6.pdf)

[http://www.gedikwelding.com/TR/pdf/library\\_9.pdf](http://www.gedikwelding.com/TR/pdf/library_9.pdf)

[http://www.gedikwelding.com/TR/pdf/library\\_10.pdf](http://www.gedikwelding.com/TR/pdf/library_10.pdf)

[www.efunda.com](http://www.efunda.com)



## EKLER

### EK-1 :Düz Tabla-Açılı Silindirden Oluşan Konstrüksiyonun Gerilme Analizi

- 1.Giriş
- 2.Malzeme
- 3.Yükleme ve Sınır Bilgileri
- 4.Sonuçlar

#### 1. Giriş

Bu bölümde konstrüksiyondaki sonlu elemanla analizi özetlenmiştir. Tasarımdaki kararlar bu raporda sunulan bilgiler temel alınarak verilmemelidir. Bu rapordaki bilgiler tecrübelerden çıkan sonuçlar ile kullanılmalıdır.

#### 2. Malzeme

| No. | Parça Adı     | Malzeme   | Parça Kütleleri | Parça Hacimleri             |
|-----|---------------|-----------|-----------------|-----------------------------|
| 1   | Tabla         | AISI 1020 | 2.212 kg        | 0.00028 m <sup>3</sup>      |
| 2   | Kaynak Dikişi | E70XX     | 0 kg            | 1.2445e-006 m <sup>3</sup>  |
| 3   | Silindir      | AISI 1020 | 0.580614 kg     | 7.34955e-005 m <sup>3</sup> |

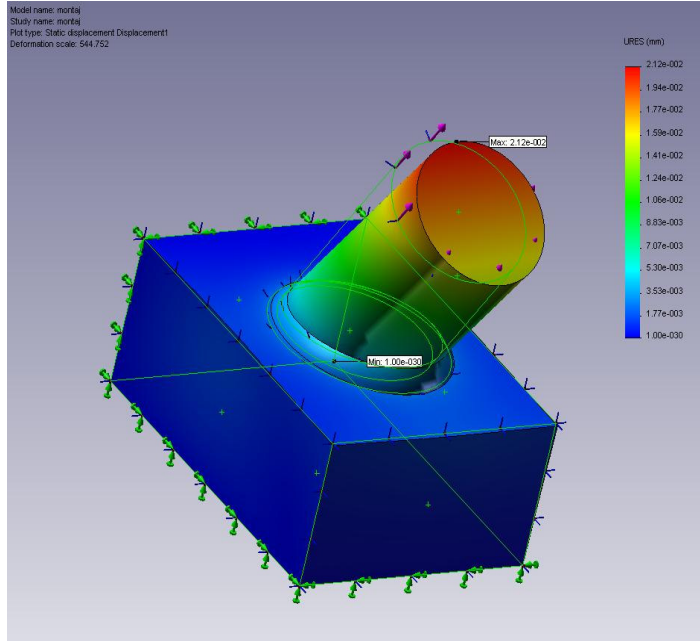
#### 3. Yüklemeye ve Sınır Bilgileri

| Sınır Bilgileri                       |   |                    |
|---------------------------------------|---|--------------------|
| <b>Tabla</b>                          | Tabla alt ve yan yüzeyinden sabitlenmiştir.                           |                    |
| Yüklemeye Bilgileri                   |   |                    |
| <b>Silindir</b>                       | Silindirin üst yüzeyine 50000 N'luk kuvvet uniform olarak etkimiştir. | Sequential Loading |
| <b>Silindir, Kaynak Dikişi, Tabla</b> | Tüm yüzeylerdeki sıcaklık 25 C° olarak ayarlanmıştır.                 |                    |

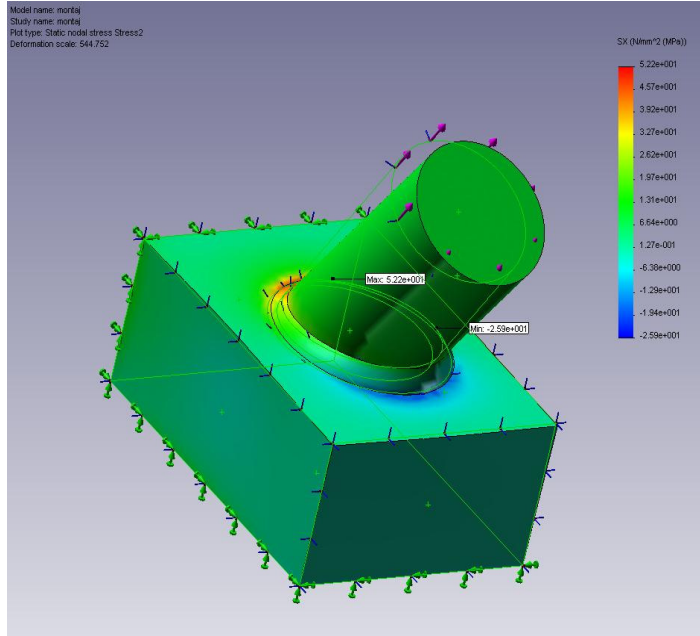
## 4. Sonuçlar

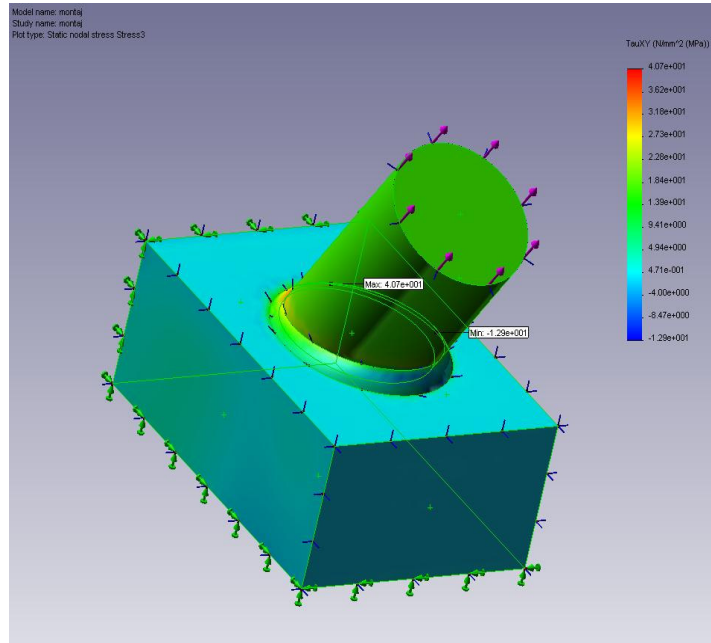
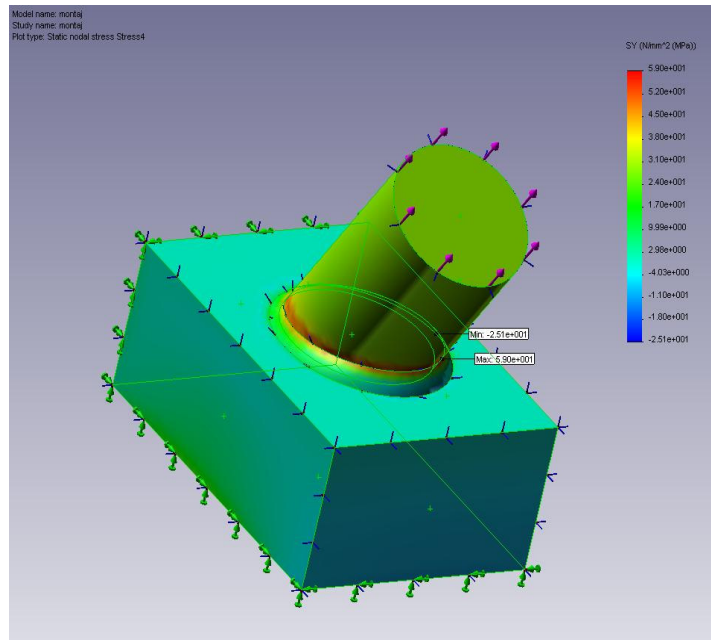
| Ad            | Tip   | Min  | Bölge   | Max   | Bölge  |
|---------------|---|--|---|---|--|
| Yer Değişirme | Toplam Yer Değişirme                        | 0 mm<br>Nokta: 203                               | (-48.1769 mm,<br>-25.8552 mm,<br>-31.9841 mm) | 0.021201 mm<br>Nokta: 57789                     | (14.7568 mm,<br>74.8101 mm,<br>1.26918 mm)   |
| Gerilim-1     | VON: von Mises stress                       | 0.157142 N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 42066 | (31.1306 mm,<br>-14.9491 mm,<br>-31.9841 mm)  | 77.1132 N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 57227 | (-18.5016 mm,<br>16.0185 mm,<br>-1.89552 mm) |
| Gerilim-2     | SX: X Ekseninde Normal Gerilme              | -25.9168 N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 57063 | (4.6938 mm,<br>14.1448 mm,<br>-21.5898 mm)    | 52.2139 N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 57227 | (-18.5016 mm,<br>16.0185 mm,<br>-1.89552 mm) |
| Gerilim-3     | TXY: YZ Düzleminde, Y 'deki Kayma Gerilmesi | -12.9418 N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 57063 | (4.6938 mm,<br>14.1448 mm,<br>-21.5898 mm)    | 40.7089 N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 57227 | (-18.5016 mm,<br>16.0185 mm,<br>-1.89552 mm) |
| Gerilim-4     | SY: Y'deki Normal Gerilme                   | -25.051 N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 57063  | (4.6938 mm,<br>14.1448 mm,<br>-21.5898 mm)    | 59.0443 N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 57127 | (24.0464 mm,<br>19.227 mm,<br>-10.7229 mm)   |
| Gerilim-5     | SZ: Z 'deki Normal Gerilme                  | -9.64219 N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 57158 | (3.91351 mm,<br>14.1448 mm,<br>-19.6996 mm)   | 22.3965 N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 57314 | (14.8412 mm,<br>18.3759 mm,<br>20.0177 mm)   |
| Gerilim-6     | TXZ: YZ Düzleminde, Z 'deki Kayma Gerilmesi | -15.7679 N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 56756 | (-11.4421 mm,<br>14.1448 mm,<br>21.0629 mm)   | 15.6536 N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 57194 | (-10.0125 mm,<br>15.4056 mm,<br>-15.374 mm)  |
| Gerilim-7     | TYZ XZ Düzleminde, Z'deki Kayma Gerilmesi   | -21.251 N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 57314  | (14.8412 mm,<br>18.3759 mm,<br>20.0177 mm)    | 19.4814 N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 57193 | (-9.26875 mm,<br>15.8301 mm,<br>-14.2013 mm) |

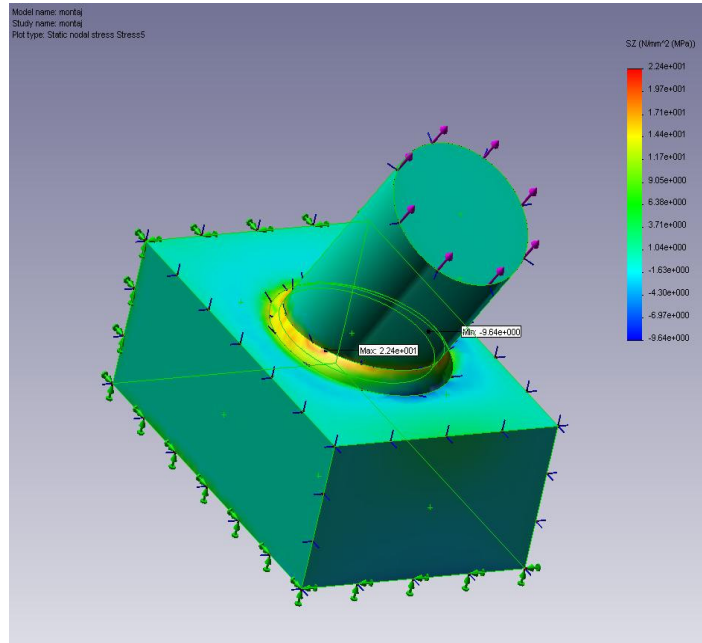
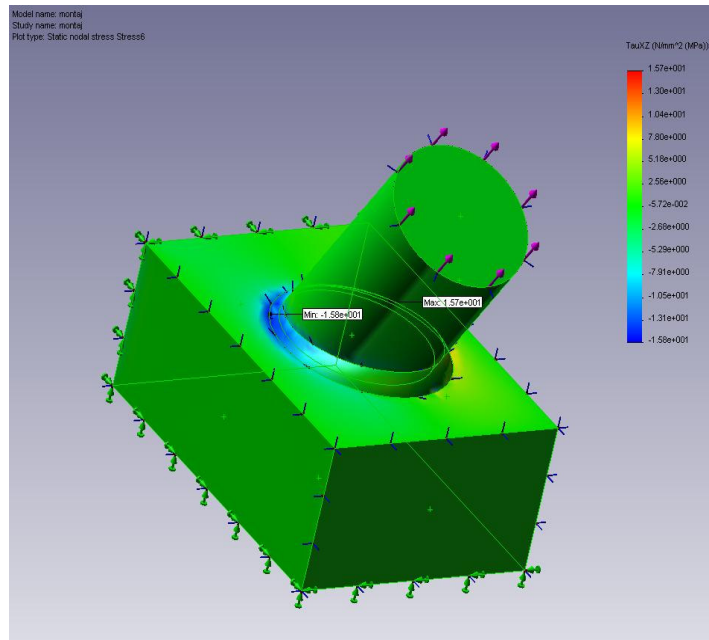
## PARÇADAKİ YER DEĞİŞTİRME

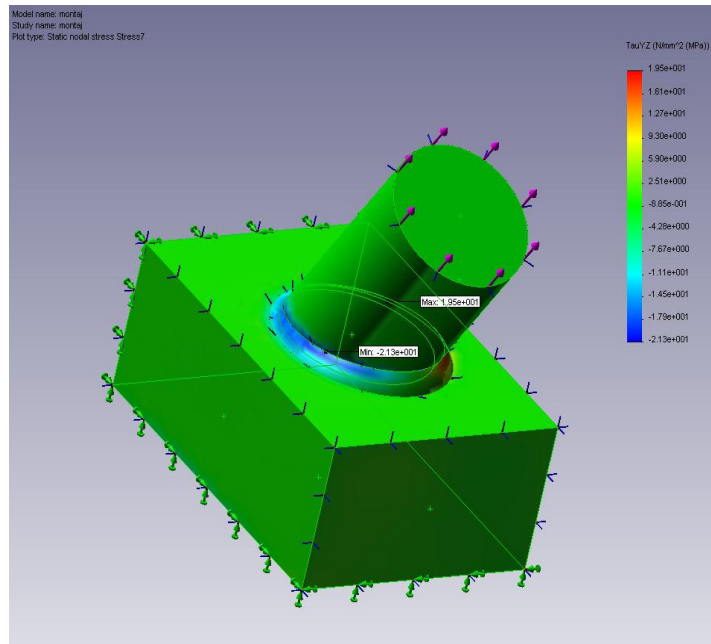


## GERİLME -2; SX



**GERİLME-3; TXY****GERİLME -4; SY**

**GERİLME-5; SZ****GERİLME-6; TXZ**

**GERİLME-7; TYZ**

## EK-2 Açılı Tabla-Düz Silindirden Oluşan Konstrüksiyonun Gerilme Analizi

- 1.Giriş
- 2.Malzeme
- 3.Yükleme ve Sınır Bilgileri
- 4.Sonuçlar

### 1. Giriş

Bu bölümde konstrüksiyondaki sonlu elemanla analizi özetlenmiştir.

Tasarımdaki kararlar bu raporda sunulan bilgiler temel alınarak verilmemelidir. Bu rapordaki bilgiler tecrübelerden çıkan sonuçlar ile kullanılmalıdır.

### 2. Malzeme

| No. | Parça Adı     | Malzeme   | Parça Kütleleri | Parça Hacimleri              |
|-----|---------------|-----------|-----------------|------------------------------|
| 1   | Tabla         | AISI 1020 | 0.766259 kg     | 9.69948e-005 m <sup>3</sup>  |
| 2   | Kaynak Dikişi | E70XX     | 8.81807e-006 kg | 1.13052 e-006 m <sup>3</sup> |
| 3   | Silindir      | AISI 1020 | 0.580614 kg     | 7.53982e-005 m <sup>3</sup>  |

### 3. Yüklemeye ve Sınır Bilgileri

| Sınır Bilgileri |   |
|-----------------|---|
| Tabla           | Tabla alt ve yan yüzeyinden sabitlenmiştir. |

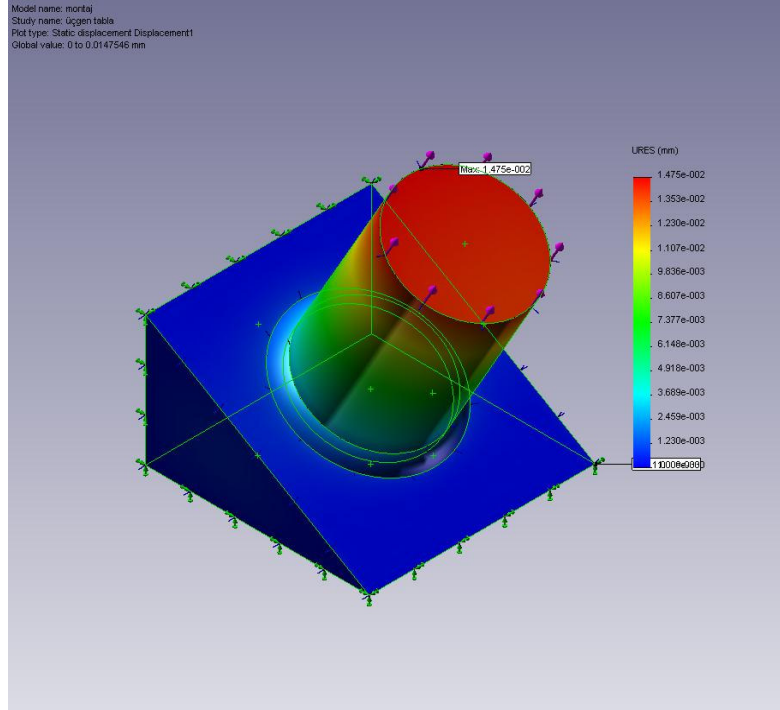
| Yükleme Bilgileri              |   |                    |
|--------------------------------|---|--------------------|
| Silindir                       | Silindirin üst yüzeyine 50000 N'luk kuvvet uniform olarak etkimiştir. | Sequential Loading |
| Silindir, Kaynak Dikişi, Tabla | Tüm yüzeylerdeki sıcaklık 25 Co olarka ayarlanmıştır.                 |                    |

#### 4. Sonuçlar

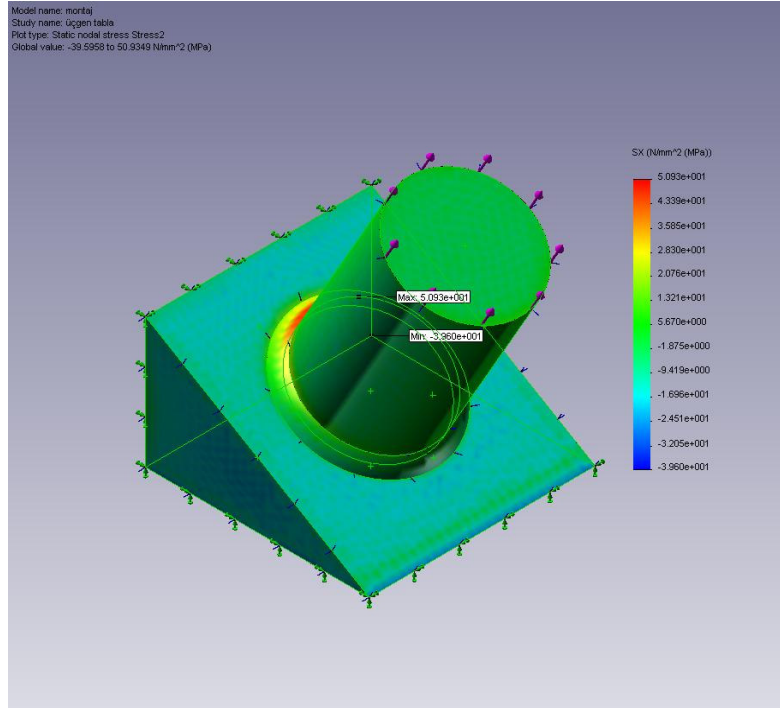
| Ad             | Tip   | Min   | Bölge   | Max  | Bölge  |
|----------------|---|---|---|--|--|
| Yer Değiştirme | Toplam Yer Değiştirme                       | 0 mm<br>Nokta: 30645                                    | (38.5373 mm,<br>-23.9471 mm,<br>-34.3744 mm)  | 0.0147546<br>mm<br>Nokta:<br>28079                   | (15.5599 mm,<br>58.6009 mm,<br>-3.47296 mm)  |
| Gerilim-1      | VON: von Mises stress                       | 8.83343e-006<br>N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 31151 | (-30.7447 mm,<br>-23.9471 mm,<br>-34.3744 mm) | 63.8186<br>N/mm <sup>2</sup><br>(MPa)<br>Nokta: 1039 | (-10.9889 mm,<br>9.09374 mm,<br>-8.85166 mm) |
| Gerilim-2      | SX: X Ekseninde Normal Gerilme              | -39.5958<br>N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 31151     | (-30.7447 mm,<br>-23.9471 mm,<br>-34.3744 mm) | 50.9349<br>N/mm <sup>2</sup><br>(MPa)<br>Nokta: 1    | (-10.4558 mm,<br>8.78899 mm,<br>-10 mm)      |
| Gerilim-3      | TXY: YZ Düzleminde, Y 'deki Kayma Gerilmesi | -8.17872<br>N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 760       | (22.3715 mm,<br>-11.0936 mm,<br>-1.39056 mm)  | 27.9113<br>N/mm <sup>2</sup><br>(MPa)<br>Nokta: 1039 | (-10.9889 mm,<br>9.09374 mm,<br>-8.85166 mm) |
| Gerilim-4      | SY: Y 'deki Normal Gerilme                  | -39.5958<br>N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 31151     | (-30.7447 mm,<br>-23.9471 mm,<br>-34.3744 mm) | 64.9502<br>N/mm <sup>2</sup><br>(MPa)<br>Nokta: 57   | (19.5573 mm,<br>-8.50875 mm,<br>-10 mm)      |
| Gerilim-5      | SZ: Z 'deki Normal Gerilme                  | -39.5958<br>N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 31151     | (-30.7447 mm,<br>-23.9471 mm,<br>-34.3744 mm) | 23.0352<br>N/mm <sup>2</sup><br>(MPa)<br>Nokta: 138  | (4.55732 mm,<br>0.151476 mm,<br>20 mm)       |
| Gerilim-6      | TXZ: YZ Düzleminde, Z 'deki Kayma Gerilmesi | -17.4007<br>N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 248       | (-6.0455 mm,<br>5.31224 mm,<br>17.5113 mm)    | 17.3775<br>N/mm <sup>2</sup><br>(MPa)<br>Nokta: 1024 | (-6.04111 mm,<br>5.30971 mm,<br>-17.5147 mm) |
| Gerilim-7      | TYZ XZ Düzleminde, Z 'deki Kayma Gerilmesi  | -20.2046<br>N/mm <sup>2</sup> (MPa)<br>Nokta: 722       | (13.3587 mm,<br>-5.89037 mm,<br>18.2146 mm)   | 20.3948<br>N/mm <sup>2</sup><br>(MPa)<br>Nokta: 978  | (14.6256 mm,<br>-6.62213 mm,<br>-17.275 mm)  |



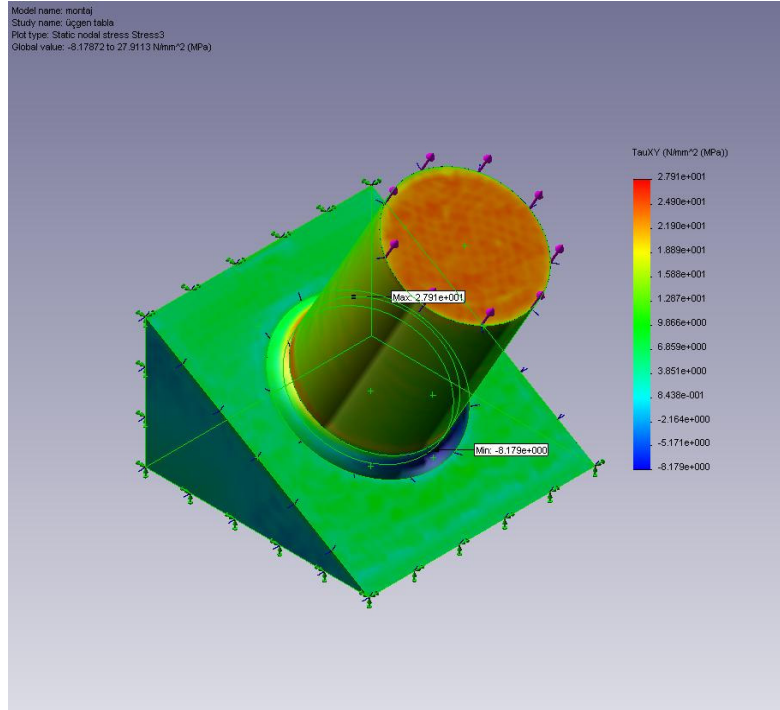
## PARÇADAKİ YER DEĞİŞTİRME



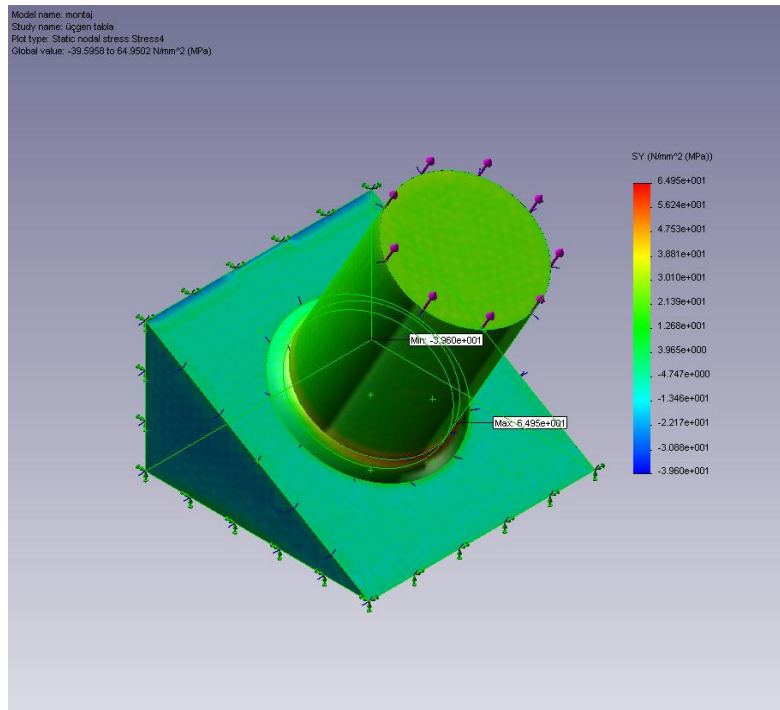
## GERİLME -2; SX



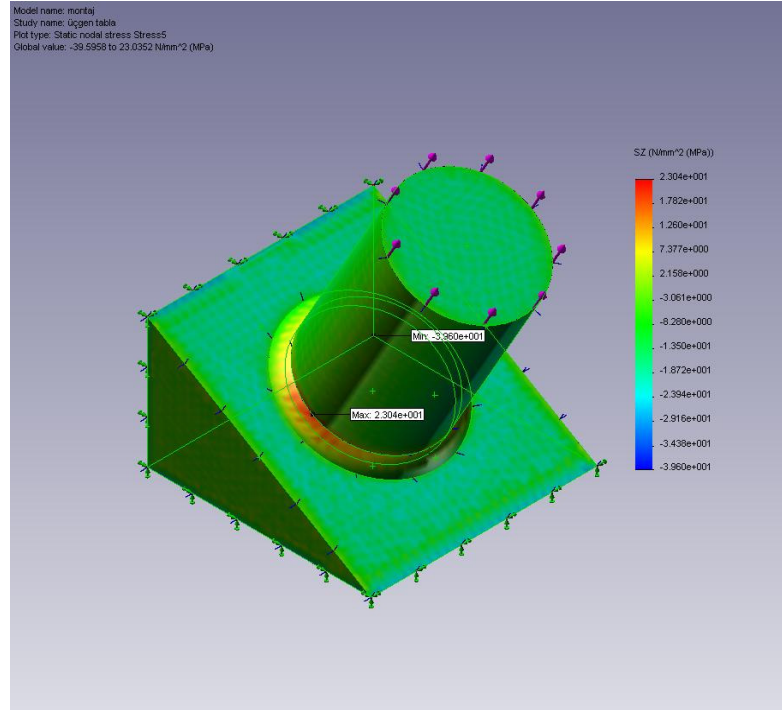
## GERİLME-3; TXY



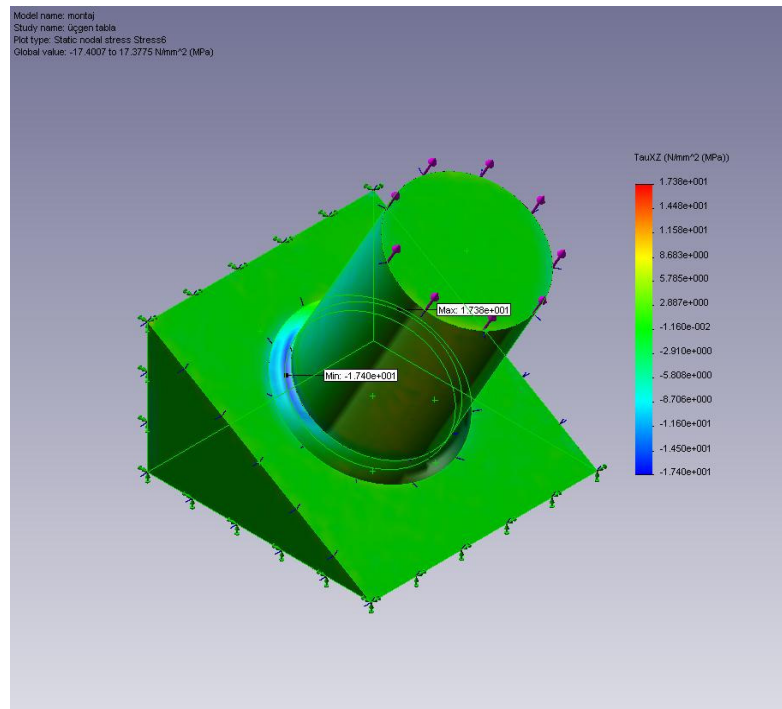
## GERİLME -4; SY



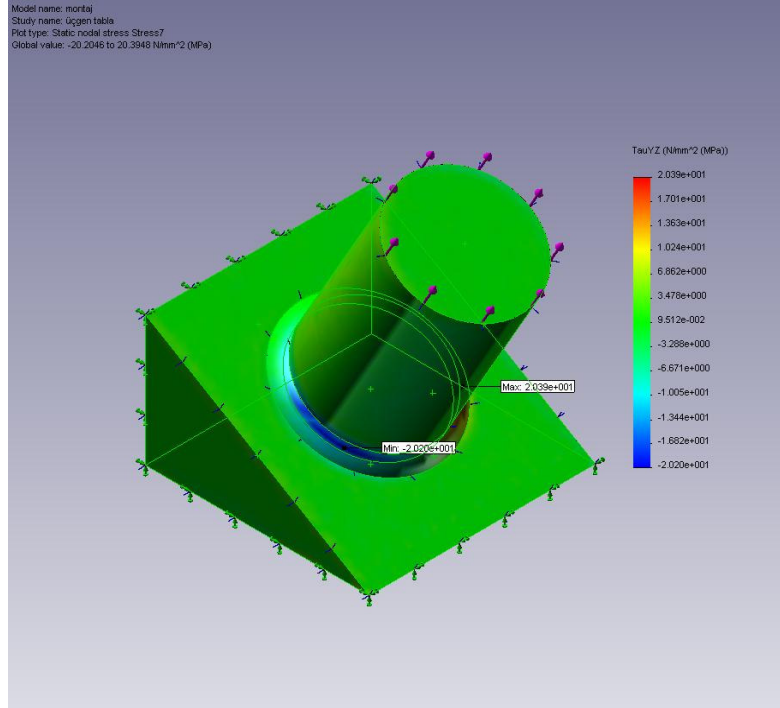
## GERİLME-5; SZ



## GERİLME-6; TXZ



## GERİLME-7; TYZ



**ÖZGEÇMİŞ**

|               |            |   |
|---------------|------------|---|
| Doğum tarihi  | 02.12.1984 |   |
| Doğum yeri    | İstanbul   |   |
| Lise          | 1995-2002  | Yeşilköy 50.Yıl Anadolu Lisesi  |
| Lisans        | 2002-2006  | Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.<br>Makina Mühendisliği Bölümü                                      |
| Yüksek Lisans | 2006-2009  | Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü<br>Makina Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı |

**Çalıştığı kurumlar**

|           |                   |
|-----------|-------------------|
| 2006-2008 | Elopar A.Ş        |
| 2008-2009 | Hema Endüstri A.Ş |

