

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

**ÇELİK YÜZEYLERİN İŞLENMESİNİN KAYNAK
KALİTESİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Gülçin BARBAROS AK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2016

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

**ÇELİK YÜZEYLERİN İŞLENMESİNİN KAYNAK
KALİTESİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Gülçin BARBAROS AK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından FYL-2015-936 nolu proje ile desteklenmiştir.)**

2016

ÖZET

ÇELİK YÜZEYLERİN İŞLENMESİNİN KAYNAK KALİTESİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Gülçin BARBAROS AK

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

I. Danışman: Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

II. Danışman: Yrd. Doç. Dr. Barış ERDİL

Ağustos 2016, 109 sayfa

Bu çalışmada, çelik yapılarda uygulanan birleşim çeşitlerinden en çok kullanılan yöntemlerden biri olan kaynak tekniğinde, kaynak kalitesini ve dayanımını etkileyen faktörlerden olan, yüzey durumunun etkisi incelenmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmada, kaynaklanan çelik plakalara yüzeyin orijinal durumu, antipaslı durumu, boyalı durumu, yağla kaplı durumu ve kumlama yapılmış durumu olmak üzere beş çeşit yüzey hazırlığı yapılmıştır. Çelik plakalar, tek bindirmeli ve çift bindirmeli bağlantılı birleşim olmak üzere iki gruba ayrılmış ve köşe kaynağı ile birleştirilmiştir. Deney elemanlarının üzerine gerinim ölçer yapıştırılmış ve eksenel çekme testi yapılmıştır. Bu sayede elemanların kaynak dayanımı ölçülmüştür. Dayanım sonuçlarına bakıldığında en düşük çekme dayanımı; boyalı yüzey üzerine uygulanmış kaynak birleşiminde görülmüştür. En yüksek çekme dayanımı ise kumlama yapılmış kaynak birleşiminde görülmüştür.

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmada farklı yüzey durumlarının kaynak dayanımını doğrudan etkilediği görülmüştür. Atölyelerde standartlara uygun şekilde üretilebilen ve kaynak muayene yöntemleri ile kontrolleri yapılabilen birleşimler, şantiyelerde de yüzey hazırlığı yapılmadan tekrar kaynak işlemi görebilmektedir. Boyalı yüzey üzerine uygulanmış kaynak birleşiminde elde edilen en düşük çekme dayanımı verisi ile beraber detaylı temizlik yapılmış kaynak birleşiminde elde edilen en yüksek çekme dayanımı değerleri inşaat sektörü için değerlidir. Bu konuda daha fazla sayıda örnek ve daha çeşitli kaynak metotları ile çalışmalar yapılması gerekmektedir.

ANAHTAR KELİMELELER: Çelik yapılar, birleşim çeşitleri, kaynak kalitesi, yüzey durumu, köşe kaynak

JÜRİ: Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK (Danışman)

Doç. Dr. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ

Yrd. Doç. Dr. Serdar ÇARBAŞ

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF WELDING QUALITY ON THE PROCESSING OF STEEL SURFACES

Gülçin BARBAROS AK

MSc Thesis in Department of Civil Engineering
1st Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK
2nd Supervisor: Asst. Prof. Dr. Barış ERDİL
August 2016, 109 pages

In this study, the effect of surface condition of steel plates on welding quality and capacity is examined experimentally.

Five types of surfaces such as original, anti-corrosion, painted, oiled and sand blasted surfaces were used for test specimens. Steel plates are welded in two groups namely single lap joint and double lap joint. Fillet weld was used for connections of the test specimens. Strain gauges were bonded on test materials and axial tensile test was performed on test the specimens in order to determine the weld capacity. The test results indicated that while the lowest weld capacity is obtained on the painted surface, the highest one is occurred on the sand blasted surface.

According to the experimentally study conducted in this theses, different surface conditions affected directly the welding capacity. The welded connections performed with respect to standards and controlled with welding inspection can sustain acceptable performance however the weld with proper surface preparation such as painted results in low weld capacity. Hence the lowest weld capacity from painted surfaces and the highest weld capacity from detailed cleaning surfaces such as sand blasted surfaces are valuable for the construction industry. Further study may perform about different surface and connection conducted by using welding.

KEYWORDS: Steel constructions, Joints, welding quality, Surface condition, Fillet welding

COMMITTEE: Assoc. Prof. Ramazan ÖZÇELİK (Supervisor)
Assoc. Prof. İzzet Ufuk ÇAĞDAŞ
Asst. Prof. Dr. Serdar ÇARBAŞ

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimin başlangıcından bitimine kadar geçen süreçte benden yardımlarını esirgemeyen, bildiklerini paylaşan ve özgün bir çalışma ortaya çıkarma konusunda her zaman ilham kaynağım olan, tezimin tamamlanmasında emeğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK' e teşekkür ederim.

Tez konumun belirlenmesindeki emekleri ve araştırmama verdiği desteğiyle yüksek lisans eğitimim boyunca hep yanımda olan ikinci danışmanım, değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Barış ERDİL' e ayırdığı değerli zamanı ve güveni için teşekkür ederim.

Canım kardeşim Mimar Serdar BARBAROS' a yüksek lisans eğitimim boyunca yardımları ve sınırsız sevgisi için çok teşekkür ederim. Sevgili annem Hacer BARBAROS ve babam Mustafa BARBAROS' a koşulsuz sevgileri, bugüne gelmemdeki emekleri ve her daim yanımda oldukları için çok teşekkür ederim.

Kıymetli eşim Yrd. Doç. Dr. Burak AK'a; bana verdiği cesaret ve destek, gösterdiği sabır ve sonsuz sevgisi için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çelik Birleşim Aracı Olarak Kaynak Kullanımı.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	2
2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI	5
2.1. Giriş.....	5
2.2. Kaynaklı Birleşimin Avantajları ve Dezavantajları	5
2.3. Kaynak Metotları	6
2.3.1. Ergitme kaynakları	6
2.3.2. Ark kaynağı	6
2.3.3. Eriyen elektrotlar.....	8
2.3.3.1. Standart elektrik arkı kaynağı.....	8
2.3.3.2. Gaz altı ark kaynağı	10
2.3.3.3. Özlü telle ark kaynağı	11
2.3.3.4. Elektrogaz kaynağı	11
2.3.3.5. Toz altı elektrik arkı kaynağı.....	12
2.3.4. Erimeyen elektrotlar	13
2.3.4.1. Tungsten inert gaz kaynağı.....	13
2.3.4.2. Plazma ark kaynağı.....	14
2.3.5. Gaz kaynağı.....	14
2.3.5.1. Oksi-yanıcı gaz kaynağı	15
2.3.5.2. Oksi-asetilen kaynağı.....	15
2.3.6. Basınç kaynakları	16
2.3.6.1. Elektrik direnç kaynağı.....	16
2.3.6.2. Sürtünme kaynağı	17
2.4. Dikişlerine Göre Kaynak Çeşitleri	18
2.4.1. Küt kaynak	18
2.4.2. Köşe kaynak	19

2.4.3. Bindirme kaynak	21
2.5. Kaynak Kabiliyeti ve Kaynak Kalitesini Etkileyen Faktörler.....	22
2.5.1. Isının tesiri altında kalan bölge (ITAB)	24
2.5.2. Artık gerilmeler ve distorsiyon	25
2.5.3. Kaynak hataları	26
2.5.3.1. Kaynakta çatlak.....	26
2.5.3.2. Kaynakta porozite	26
2.5.3.3. Kalıntı içerme	27
2.5.3.4. Kaynakta yetersiz erime.....	27
2.6. Kaynak Muayene Metotları (Kaynak Deneyleri).....	27
2.6.1. Gözle muayene	27
2.6.2. Tahribatsız muayene.....	27
2.6.3. Tahribatlı muayene.....	28
2.7. Kaynak Yapım Kuralları	28
2.8. Literatür Araştırması	31
3. MATERYAL VE METOT	35
3.1. Giriş.....	35
3.2. Deney Elemanlarının Detayları.....	35
3.3. Deney Elemanlarının Tasarımı	37
3.4. Deney Elemanlarının Üretimi ve Deney Öncesi Hazırlıklar.....	44
3.5. Deney Elemanlarının Test Edilmesi.....	51
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	59
4.1. Giriş.....	59
4.2. Deney Verileri ve Grafiklerinin İncelenmesi	59
4.3. Verilerin Özetlenmesi ve Genel Değerlendirme	94
4.4. Deney Sonrası Fotoğraflar	98
5. SONUÇ	105
5.1. Giriş.....	105
5.2. Sonuçlar.....	106
5.3. Öneriler	107
6. KAYNAKLAR	108
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

a	İç köşe kaynağı anma kalınlığı
b₁	Tek bindirmeli bağlantılı birleşimde kaynak uzunluğu
b₂	Çift bindirmeli bağlantılı birleşimde kaynak uzunluğu
c	Bindirme boyu
F_k	Kaynak alanı
l	Kaynak hesap boyu
P	Eksenel çekme kuvveti
t	Levha veya et kalınlığı
σ	Kaynakta normal gerilme
τ	Kaynakta kayma gerilmesi

Kısaltmalar

ANSI	Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
AWS	AWS D9.1-90 Sac Metal Kaynak Kodu
DIN	Alman Standartları Enstitüsü
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TS	Türk Standartları
ISO	Uluslararası Standartlar Organizasyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Köşe kaynak dikişinde hesap uzunlukları (İMO 2005)	3
Şekil 1.2. Köşe kaynakta dikiş kalınlığı (TS 3357)	3
Şekil 1.3. Köşe kaynakta dikiş kalınlığı limitleri (TS 3357).....	3
Şekil 2.1. Doğru akım pozitif elektrot (ters kutuplama) (Dikicioğlu 2011).....	7
Şekil 2.2. Doğru akım negatif elektrot (düz kutuplama) (Dikicioğlu 2011).....	7
Şekil 2.3. Alternatif akım (Dikicioğlu 2011)	7
Şekil 2.4. Elektrik ark kaynağı (Anık vd 1991)	8
Şekil 2.5. Elektrot çeşitleri (Dikicioğlu 2011)	9
Şekil 2.6. Örtülü elektrotların numaralandırılması (MEB 2011)	9
Şekil 2.7. Mig mag kaynağı (Turan 2014)	10
Şekil 2.8. Özlü telle açık ark kaynağı (Oğuz 1988)	11
Şekil 2.9. Elektrogaz kaynağı (Kobelco 2016)	12
Şekil 2.10. Toz altı ark kaynağı yapılırken (Turan 2014).....	12
Şekil 2.11. TIG kaynağı uygulaması (Vural 2011)	13
Şekil 2.12. Plazma ark kaynağı (Vural 2011)	14
Şekil 2.13. Oksi asetilen kaynağında kesme torcu (MEB 2011).....	15
Şekil 2.14. Oksi asetilen kaynağı (Kutay 2010).....	15
Şekil 2.15. Direnç nokta kaynağı (Gatwick Technologies 2016)	16
Şekil 2.16. Direnç dikiş kaynağı çalışma prensibi (Dikicioğlu 2011)	17
Şekil 2.17. Direnç alın kaynağı çalışma prensibi (Dikicioğlu 2011)	17
Şekil 2.18. Sürtünme kaynağı çalışma prensibi (Gatwick Technologies 2016)	18
Şekil 2.19. Küt kaynak dikişleri (TS 3357).....	18
Şekil 2.20. Kaynak pasosu (TS 3357).....	19
Şekil 2.21. Kaynak ağızları (Erdil 2014)	19
Şekil 2.22. Köşe kaynak uygulanmış çelik levha örneği (Erdil 2014).....	19
Şekil 2.23. Köşe kaynak dikiş çeşitleri (Deren vd 2003).....	20
Şekil 2.24. Köşe kaynak kalınlığı (TS 3357)	20
Şekil 2.25. Köşe kaynakta alın dikiş uzunluğu hesabı (TS 3357).....	20
Şekil 2.26. Köşe kaynakta yan dikiş uzunluğu hesabı (TS 3357).....	20
Şekil 2.27. Köşe kaynakta alın ve yan dikiş uzunluğu hesabı (TS 3357)	21
Şekil 2.28. Tek bindirmeli bağlantı.....	21
Şekil 2.29. Çift bindirmeli bağlantı (ek levhasız)	21
Şekil 2.30. Çift bindirmeli bağlantı (ek levhalı-kapaklı)	21
Şekil 2.31. Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler (Ünal 2008).....	24
Şekil 2.32. Ergitme kaynağında kaynak bölgesinin yapısı (Ünal 2008)	25
Şekil 2.33. Distorsiyon (Salmon 1996).....	25
Şekil 2.34. Simetrik olmayan tasarımda distorsiyon (Salmon 1996).....	26
Şekil 3.1. Deney numunelerinin adlandırılmasının açıklanması.....	37
Şekil 3.2. Yükleme sistemi (deplasman kontrollü piston)	38
Şekil 3.3. Yükleme sistemi ve deney düzeneği (pistonun karşı tarafından görünüş)	38
Şekil 3.4. Yükleme sistemi ve deney düzeneği (piston tarafından görünüş)	39
Şekil 3.5. Sabit plakalar (yatay plakalar)	39
Şekil 3.6. Sabit plakalar (dikey plakalar)	39
Şekil 3.7. Sabit plakalar (sabit kısım için bağlantı plakaları)	39
Şekil 3.8. Sabit plakalar (değişken kısım için bağlantı plakaları).....	40
Şekil 3.9. Değişken plakalar (tek bindirmeli bağlantı plakaları)	40

Şekil 3.10. Değişken plakalar (çift bindirmeli bağlantı plakaları).....	40
Şekil 3.11. Değişken plakalar (çift bindirmeli bağlantı ara plakaları).....	40
Şekil 3.12. Tek bindirmeli kaynak birleşiminde kullanılan ölçüler.....	41
Şekil 3.13. Çift bindirmeli kaynak birleşiminde kullanılan ölçüler.....	42
Şekil 3.14. Tek bindirmeli bağlantıda kaynak boyutları(üst görünüş).....	43
Şekil 3.15. Tek bindirmeli bağlantıda kaynak boyutları(yan görünüş).....	43
Şekil 3.16. Çift bindirmeli bağlantıda kaynak boyutları(üst görünüş).....	43
Şekil 3.17. Çift bindirmeli bağlantıda kaynak boyutları(yan görünüş).....	43
Şekil 3.18. Tek bindirmeli bağlantıda kaynak düzeneği üst görünüş.....	44
Şekil 3.19. Tek Bindirmeli kaynak düzeneği yan görünüş.....	44
Şekil 3.20. Çift bindirmeli kaynak düzeneği üst görünüş.....	44
Şekil 3.21. Çift bindirmeli kaynak düzeneği yan görünüş.....	45
Şekil 3.22. Sabit plakaların birleşimi (bağlantı elemanlarının montajından önce).....	45
Şekil 3.23. Sabit plakaların birleşimi (bağlantı elemanlarının montajından sonra).....	45
Şekil 3.24. Sabit plakaların montajı.....	46
Şekil 3.25. Kullanılan elektrot paketi.....	46
Şekil 3.26. Kullanılan elektrot çubuğu.....	47
Şekil 3.27. Elektrik ark kaynağı üretici.....	47
Şekil 3.28. Tek bindirmeli bağlantı üst görünüş.....	48
Şekil 3.29. Tek bindirmeli bağlantı yan görünüş.....	48
Şekil 3.30. Çift bindirmeli bağlantı üst görünüş.....	48
Şekil 3.31. Çift bindirmeli bağlantı yan görünüş.....	49
Şekil 3.32. Kullanılan gerinim ölçer yapıştırıcısı.....	49
Şekil 3.33. Kullanılan gerinim ölçerler.....	50
Şekil 3.34. Tek bindirmeli bağlantıda gerinim ölçerler.....	50
Şekil 3.35. Çift bindirmeli bağlantıda gerinim ölçerler.....	50
Şekil 3.36. Yükleme sistemine yerleştirilmiş tek bindirmeli elemanların testten önceki son durumu.....	51
Şekil 3.37. Yükleme sistemine yerleştirilmiş çift bindirmeli elemanların testten önceki son durumu.....	51
Şekil 3.38. A firması tarafından yapılan tek bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney öncesi fotoğraflar.....	54
Şekil 3.39. A firması tarafından yapılan çift bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney öncesi fotoğraflar.....	55
Şekil 3.40. B firması tarafından yapılan tek bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney öncesi fotoğraflar.....	56
Şekil 3.41. B firması tarafından yapılan çift bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney öncesi fotoğraflar.....	57
Şekil 3.42. İkinci kez kaynak yapılmış olan malzeme grubunun kaynak birleşimini gösteren deney öncesi fotoğraflar.....	58
Şekil 4.1. A-T-O-N ₁ deney sonucu grafiği.....	59
Şekil 4.2. A-T-A-N ₁ deney sonucu grafiği.....	60
Şekil 4.3. A-T-B-N ₁ deney sonucu grafiği.....	60
Şekil 4.4. A-T-Y-N ₁ deney sonucu grafiği.....	61
Şekil 4.5. A-T-K-N ₁ deney sonucu grafiği.....	61
Şekil 4.6. A-T-O-N ₂ deney sonucu grafiği.....	62
Şekil 4.7. A-T-A-N ₂ deney sonucu grafiği.....	62
Şekil 4.8. A-T-B-N ₂ deney sonucu grafiği.....	63

Şekil 4.9. A-T-Y-N ₂ deney sonucu grafiği	63
Şekil 4.10. A-T-K-N ₂ deney sonucu grafiği	64
Şekil 4.11. A firması tek bindirmeli bağlantı deneyleri birinci numunelerin sonuç grafiği	64
Şekil 4.12. A firması tek bindirmeli bağlantı deneyleri ikinci numunelerin sonuç grafiği	65
Şekil 4.13. A-Ç-O-N ₁ deney sonucu grafiği	65
Şekil 4.14. A-Ç-A-N ₁ deney sonucu grafiği	66
Şekil 4.15. A-Ç-B-N ₁ deney sonucu grafiği	66
Şekil 4.16. A-Ç-Y-N ₁ deney sonucu grafiği	67
Şekil 4.17. A-Ç-K-N ₁ deney sonucu grafiği	67
Şekil 4.18. A-Ç-O-N ₂ deney sonucu grafiği	68
Şekil 4.19. A-Ç-A-N ₁ deney sonucu grafiği	68
Şekil 4.20. A-Ç-B-N ₂ deney sonucu grafiği	69
Şekil 4.21. A-Ç-Y-N ₂ deney sonucu grafiği	69
Şekil 4.22. A-Ç-K-N ₂ deney sonucu grafiği	70
Şekil 4.23. A firması çift bindirmeli bağlantı deneyleri birinci numunelerin sonuç grafiği	70
Şekil 4.24. A firması çift bindirmeli bağlantı deneyleri ikinci numunelerin sonuç grafiği	71
Şekil 4.25. B-T-O-N ₁ deney sonucu grafiği	71
Şekil 4.26. B-T-A-N ₁ deney sonucu grafiği	72
Şekil 4.27. B-T-B-N ₁ deney sonucu grafiği	72
Şekil 4.28. B-T-Y-N ₁ deney sonucu grafiği	73
Şekil 4.29. B-T-K-N ₁ deney sonucu grafiği	73
Şekil 4.30. B-T-O-N ₂ deney sonucu grafiği	74
Şekil 4.31. B-T-A-N ₂ deney sonucu grafiği	74
Şekil 4.32. B-T-B-N ₂ deney sonucu grafiği	75
Şekil 4.33. B-T-Y-N ₂ deney sonucu grafiği	75
Şekil 4.34. B-T-K-N ₂ deney sonucu grafiği	76
Şekil 4.35. B firması tek bindirmeli bağlantı deneyleri birinci numunelerin sonuç grafiği	76
Şekil 4.36. B firması tek bindirmeli bağlantı deneyleri ikinci numunelerin sonuç grafiği	77
Şekil 4.37. B-Ç-O-N ₁ deney sonucu grafiği	77
Şekil 4.38. B-Ç-A-N ₁ deney sonucu grafiği	78
Şekil 4.39. B-Ç-B-N ₁ deney sonucu grafiği	78
Şekil 4.40. B-Ç-Y-N ₁ deney sonucu grafiği	79
Şekil 4.41. B-Ç-K-N ₁ deney sonucu grafiği	79
Şekil 4.42. B-Ç-O-N ₂ deney sonucu grafiği	80
Şekil 4.43. B-Ç-A-N ₂ deney sonucu grafiği	80
Şekil 4.44. B-Ç-B-N ₂ deney sonucu grafiği	81
Şekil 4.45. B-Ç-Y-N ₂ deney sonucu grafiği	81
Şekil 4.46. B-Ç-K-N ₂ deney sonucu grafiği	82
Şekil 4.47. B firması çift bindirmeli bağlantı deneyleri birinci numunelerin sonuç grafiği	82
Şekil 4.48. B firması çift bindirmeli bağlantı deneyleri ikinci numunelerin sonuç grafiği	83

Şekil 4.49. A-T-O-N ₁ -İ deney sonucu grafiği	83
Şekil 4.50. A-T-A-N ₂ -İ deney sonucu grafiği	84
Şekil 4.51. A-T-B-N ₁ -İ deney sonucu grafiği.....	84
Şekil 4.52. A-T-Y-N ₁ -İ deney sonucu grafiği	85
Şekil 4.53. A-T-K-N ₁ -İ deney sonucu grafiği	85
Şekil 4.54. B-T-O-N ₂ -İ deney sonucu grafiği.....	86
Şekil 4.55. B-T-A-N ₂ -İ deney sonucu grafiği.....	86
Şekil 4.56. B-T-B-N ₂ -İ deney sonucu grafiği.....	87
Şekil 4.57. B-T-Y-N ₂ -İ deney sonucu grafiği.....	87
Şekil 4.58. B-T-K-N ₂ -İ deney sonucu grafiği.....	88
Şekil 4.59. İkinci kez kaynak bağlantısı yapılan A firmasına ait numuneler sonuç grafiği	88
Şekil 4.60. İkinci kez kaynak bağlantısı yapılan B firmasına ait numuneler sonuç grafiği	89
Şekil 4.61. Yapılan deney sonuçlarına ait özet halindeki Eksenel yük-Zaman grafiği ..	97
Şekil 4.62. A firması tarafından yapılan tek bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney sonrası fotoğraflar	100
Şekil 4.63. A firması tarafından yapılan çift bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney sonrası fotoğraflar	101
Şekil 4.64. B firması tarafından yapılan tek bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney sonrası fotoğraflar	102
Şekil 4.65. B firması tarafından yapılan çift bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney sonrası fotoğraflar	103
Şekil 4.66. İkinci kez kaynak yapılmış olan malzeme grubunun kaynak birleşimini gösteren deney sonrası fotoğraflar	104

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Köşe kaynakta emniyet gerilmesi (TS 648).....	4
Çizelge 2.1. Kaynak türleri (MEB 2011).....	6
Çizelge 2.2. Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler (Anık 1991).....	23
Çizelge 3.1. Deney numunelerinin adetleri.....	36
Çizelge 3.2. Deney numunelerinin adlandırılması.....	37
Çizelge 4.1. A firması deney sonuçları.....	90
Çizelge 4.2. B Firması deney sonuçları.....	91
Çizelge 4.3. Yüzey durumlarına göre eksenel yük dayanımlarının karşılaştırılması.....	92
Çizelge 4.4. A firması ve B firması ikinci kez kaynaklanmış deney sonuçları.....	93
Çizelge 4.5. Birinci kez kaynaklanmış sonuçları ile ikinci kez kaynaklanmış deney sonuçlarının kıyaslaması.....	94
Çizelge 4.6. Beklenen değerden düşük performans gösteren numunelerin güvensiz tarafta kalma oranları.....	95
Çizelge 4.7. Şekil 4.66.'da bulunan eleman numaralarının ve verilerin detayları.....	96

1. GİRİŞ

Çelik yapılarda, çelik yapı elemanlarının güvenli bir şekilde yük aktarabilmesi için üç farklı bağlantı detayı mevcuttur. Bunlar; kaynak, bulon ve perçindir.

Günümüzde kaynak ve bulon kullanımı yaygın olmakla birlikte perçin kullanımı geçerliliğini yitirmiştir. Bu tez kapsamında çelik yapı elemanlarının bağlantı detaylarından biri olan kaynaklı birleşimler üzerinde durulmuştur.

Bölüm 1’de, bu çalışmanın yapılma amacı ve tezin bölümleri ile ilgili kısa bilgilere yer verilmiştir.

Bölüm 2’de, çalışmada kaynak uygulaması yapılması nedeniyle, kaynak imalatı ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Kaynak uygulama metotlarına ve dikişlerine göre kaynak çeşitlerine yer verilmiştir. Kaynak kalitesini ölçebilmek için yapılması gerekenlerden bahsedilmiştir. Kaynak yapım kurallarının ve hatalarının neler olduğuna, kaynakla ilgili hataları önleyebilmek için yapılması gerekenler anlatılmıştır. Literatürde bulunan, çalışmamızın konusuna yakın özelliklerdeki diğer çalışmalar incelenmiştir.

Bölüm 3’te, deneysel çalışmanın nasıl yapıldığı anlatılmıştır. Şantiye ortamı ve laboratuvar ortamındaki farkı görebilmek amacıyla, beş farklı yüzey durumu içeren çelik plakalar, tek bindirmeli ve çift bindirmeli bağlantı olacak şekilde köşe kaynakla birleştirilmiştir. Kaynaklanmış her bir elemana, çekme testi ile tahribatlı muayene yapılmıştır. Daha sonra, tahribat görmüş, kaynak kopması meydana gelmiş bir grup elemana, ikinci kez kaynak uygulaması yapılmış ve yeniden aksel çekme testi yapılmıştır. Elemanların dayanımları birbiri ile kıyaslanarak, yüzey durumunun dayanıma etkisi incelenmiştir.

Bölüm 4’te, yapılan kaynak testlerinden elde edilen sonuçlara ait sayısal veriler, resimler ve grafiklere yer verilmiştir. Deneysel çalışmamızdan elde edilen bulgular incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Bölüm 5’te, deneysel çalışmamızdan elde ettiğimiz bütün sayısal veriler ve bulgular doğrultusunda bir değerlendirme yapılmıştır.

1.1. Çelik Birleşim Aracı Olarak Kaynak Kullanımı

Metalik malzemenin basınç ve ısıyla veya her ikisi kullanılarak aynı türden ve erime ısısı birbirine yakın bir gereç ile birlikte veya gereçsiz yapılan birleşimine kaynak denir (İMO 2005). Zamanımızdan ortalama 3000 yıl geriye gidildiğinde, iki metalin çekiç ile birleştirildiği demirci kaynağından bu yana, kaynak teknolojisi gelişerek, takı imalatından gemi inşaatlarına kadar çok geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Türkiye’de, endüstriyel amaçlı olarak kaynak kullanımına 1920 yıllarında İstanbul Tersanelerinde başlanmış ve daha sonra yaygınlaşarak ülke çapına yayılmıştır (Anık 1991). İlk kullanım dönemlerinde kaynağın ana amacı metal parçaları olabildiğince bir arada tutmak iken sanayinin gelişimi kaynak performansının önemini ortaya çıkarmıştır. Bir başka deyişle, kaynak kalitesi sanayi ile birlikte önemli hale gelmiştir. “Demirci Kaynağı”ndan bu yana kaynak tekniğinde önemli gelişmeler kaydedilmiş ve farklı

kaynak teknikleri geliştirilmiştir. Günümüzde en fazla kullanım alanı bulan elektrik arkı kaynağının yanında gaz altı kaynağı, gaz eritme kaynağı, toz altı kaynağı gibi yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır (Tama 2009).



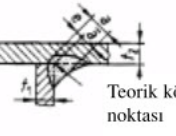
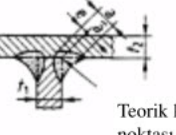
Kaynak, gaz ve su sızdırmazlığının iyi olması, imal edilen bağlantının uzun ömürlü olması, istenilen şekilde ve büyüklükte bağlantıya müsaade etmesi ve bağlantının dayanımının yüksek olması gibi avantajlara sahiptir. Fakat çoğunlukla ısı kullanımı ve çeşitli kimyasal malzemeler içermesi nedeni ile imalatı herkes tarafından gerçekleştirilememekte, mutlaka alanında uzman kişilere ihtiyaç duymaktadır. Bu durum bir dezavantaj gibi görülebilir fakat sadece işinin ehli olan kişiler tarafından imal edilebilir olması kaynak kalitesinden ödün verilmemesini sağlayarak imalat kalitesini de yükseltmektedir. Bu sebeptir ki kaynak imalatlarının çoğunluğu kontrollü bir şekilde atölyelerde gerçekleştirilmekte ve çeşitli kaynak muayene yöntemleri ile kaliteleri sınanmaktadır. Fakat özellikle inşaat mühendisliği uygulamalarında atölyede yapılan imalat bazen şantiyede çeşitli değişikliklere maruz kalmakta ve bu değişiklikler neticesinde şantiyede de kaynak kullanımı kaçınılmaz olmaktadır. Şantiyede yapılan kaynak uygulaması her ne kadar kontrollü yapılmaya çalışılsa da çevresel faktörler ve işçilik kaynak kalitesini çok fazla etkilemektedir. Kaynak uygulaması bazen inşaatın belirli aşamalarında ve yerinde yapılmak zorunda kalmakta ve bu durum kaynak muayenesini güçleştirmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

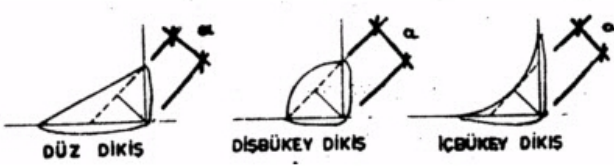
Bu çalışmanın amacı, şantiyede uygulanan elektrik ark kaynağının dayanımının birleştirilecek çelik elemanların yüzey durumlarından ne kadar etkilendiğini belirlemektir. Çelik malzemelerde birleşim elemanlarının kontrolü, malzemenin fabrikadan çıkışından yapının montajının tamamlanıp iş bitimine kadar devam eden bütün bir işlemdir. Kontroller tahribatsız muayene yöntemleri ile ya da tahribatlı muayene yöntemleri ile yapılır (MEB 2012). Bu çalışmada uygulanan deney, tahribatlı (mekanik) muayene yöntemlerinden olan çekme testidir. Bu çalışma kapsamında iki veya üç parçadan oluşan çelik plakalara beş farklı şekilde yüzey durumu oluşturulmuştur. Farklı yüzey durumlarının incelenmesinde, şantiye ortamında yapılan imalatlardaki şartları yakalayabilmek hedeflenmiştir. Çelik plakaların kaynak birleşimi yapılmış ve köşe kaynaklı olacak şekilde birleştirilerek aksel çekme yüküne tabi tutulmuştur. Deney elemanlarına aksel çekme durumunda göçmenin kaynaklarda oluşacak çekme kuvvetinden gerçekleşmesi sağlanmıştır. Bu şekilde her bir yüzey durumunun kaynak dayanımına etkisi incelenmiş ve şantiye ile atölye ortamındaki koşullar arasındaki farklar yorumlanmıştır.

İnşaat mühendisliği uygulamalarında kaynak tasarımı ve imalatı yapılırken yararlanılan TS 3357 standardında kaynak hesaplarında kullanılacak alanların bazıları aşağıdaki Şekil 1.1, Şekil 1.2 ve Şekil 1.3'te gösterilmiştir.

Köşe kaynak hesabında dikiş kalınlığı, kaynak dikişinin içinde çizilen ikizkenar üçgenin uzunluğu kadardır (TS 3357).

Köşe kaynak dikişleri	Köşe kaynak dikişi		Kaynak dikişi kalınlığı a , teorik kök noktasından kaynak dikişi enkesiti içine çizilebilen en büyük ikizkenar üçgenin yüksekliğine eşittir.	
	Çift köşe kaynak dikişi			
	Köşe kaynak dikişi	Derin nüfuziyetli		$a = \hat{a} + e$ \hat{a} : 10. ve 11. maddelerdeki dikiş kalınlığı a ile aynı. e : Prosedür testiyle doğrulanmalıdır.
	Çift köşe kaynak dikişi			

Şekil 1.1. Köşe kaynak dikişinde hesap uzunlukları (İMO 2005)



Şekil 1.2. Köşe kaynakta dikiş kalınlığı (TS 3357)



Şekil 1.3. Köşe kaynakta dikiş kalınlığı limitleri (TS 3357)

Köşe kaynaktaki en az dikiş kalınlığı 3 mm yapılmalıdır, ayrıca dikiş kalınlığı, kaynak yapılan parçaların ince olanından, 0,7 kat fazla yapılmamalıdır (TS 3357).

Çizelge 1.1'de verilen emniyet gerilmelerinin asıl amacı olası imalat hatalarını dikkate alarak birleşimi daha güvenli hale getirmektir. Tasarımda dikkate alınan bu katsayılar çoğunlukla atölye dayanımı dikkate alınarak oluşturulmuştur. Atölyede kaynaklı çelik imalatları çoğunlukla antipas, astar ve/veya boya imatları tamamlanarak şantiyeye sevk edilmekte ve şantiyede bulonlu birleşimler yapılmaktadır. Fakat inşaat

mühendisliği uygulamalarında bir önceki bölümde bahsedildiği gibi şantiyede de çeşitli nedenlerle kaynak imalatı yapılmakta ve bazı durumlarda bu imalat kontrole imkan verememektedir. Şantiyede yapılan kaynak imalatları sırasında çelik elemanların yüzeyleri olabildiğince antipas, astar, boya, toz ve yağdan arındırılarak çelik yüzeyine ulaşılmaya çalışılmasına rağmen özellikle inşaatın belli bir aşamasında ve yerinde yapılması gereken kaynak imalatlarında bu hususlara pek dikkat edilmemektedir. Bu durum yük aktarımının gerçekleştiği çelik elemanların birleşimlerinin güvenliği konusunda soru işaretleri oluşturmaktadır.

Çizelge 1.1. Köşe kaynakta emniyet gerilmesi (TS 648)

Dikiş çeşidi	Dikiş niteliği	Gerilme	Çelik cinsi (kgf/cm ²)			
			EY	EIY	EY	EIY
-Köşe kaynağı -Yarım y tipi köşe kaynağı -Çukur ve yarık kaynağı	Muayene edilmiş veya edilmemiş	Basınç ve eğilme basıncı, çekme ve eğilme çekmesi, kıyaslama değerleri				
			1100	1250	1700	1900
Bütün dikiş çeşitleri		Kayma	1100	1250	1700	1900

EY Yükleme: esas yüklerin toplamı (TS 648)

EIY: esas ve ilave yüklerin toplamı (TS 648) (bu standardın kapsamı içinde deprem de bir ilave yüküdür)

2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI

2.1. Giriş

Uygulamada çok farklı teknikler kullanılarak kaynak imalatı yapılmasına rağmen bütün kaynak metotları aynı derecede kullanım alanı bulmamaktadır. Bazı kaynak türleri genel kullanıma uygun olması nedeniyle çok fazla alanda ve yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen, bazıları kısıtlı alanlarda ve sadece özel amaçlara hizmet edecek şekilde kullanılabilir. Örneğin ergitme ark kaynağı hem atölye hem de şantiye ortamında kaynak yapılmasına imkan veren ve bu sebeple en yaygın kullanıma sahip kaynak türlerinden biridir.

Metallerin kaynak ile birleştirilmesi neticesinde monolitik bir bağlantı oluşturulmak istenmesine rağmen bu monolitik etkiyi zayıflatan çeşitli faktörler bulunmaktadır. Örneğin birleştirilecek metallerin konumları, metallerin kalınlığı, metal yüzeyinin temizliği, kullanılan kaynak yönteminin uygulama sıcaklığı v.s. kaynak kalitesine etki eden faktörler arasında gösterilmektedir.

Bu bölümde öncelikle uygulamada kullanılan ve literatürde bahsedilen kaynak türleri kısaca tanımlanarak önemli noktalara dikkat edilmiş daha sonra kaynak kalitesine ve dayanımına etki eden faktörler anlatılmıştır.

2.2. Kaynaklı Birleşimin Avantajları ve Dezavantajları

Kaynaklı birleşimlerin avantajları;

- Kaynak birleşimi yapılan levhaların bir bütün haline gelmesi,
- İstenen şekilde ve ebatla bağlantı yapılmasına elverişli olması,
- Gaz ve su sızdırmazlığı açısından kullanışlı olması,
- Diğer birleşim çeşitlerine göre daha hafif olması,
- Maliyeti bakımından diğer birleşim çeşitlerine göre ekonomik olması,
- Uzun ömürlü olması, dayanımının yüksek olması,
- Yalnızca fabrika ve atölyelerde değil aynı zamanda sahada ve şantiyelerde de yapılabilir olmasıdır.

Kaynaklı birleşimlerin dezavantajları;

- Kaynak işleminin sökülemez bir birleşim olması nedeniyle değişikliğe elverişli olmaması,
 - Kaynak işlemi esnasındaki ısı nedeniyle kaynak yapılan malzemenin içyapısında değişiklik olması sonucu gevrekleşmesi nedeniyle mukavemetinin olumsuz yönde etkilenmesi,
 - Kaynak kalitesinin kontrol edilmesi amacıyla yapılan muayene yöntemlerinin genel olarak ekonomik olmamasıdır.

2.3. Kaynak Metotları

Kaynaklar temel olarak üç bölüme ayrılmaktadır: basınç kaynakları, ergitme kaynakları ve özel kaynaklar (Deren vd 2003). Her bir kaynak çeşidi kullanılan teknolojiye göre çeşitli isimlerle ifade edilmektedir.

Çizelge 2.1’de yer alan kaynak bağlantılarının yapılmasına göre sınıflandırılmış kaynak yöntemleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Kaynak türleri (MEB 2011)

Kaynak Türleri				
Basınç Kaynağı		Ergitme Kaynağı		Diğer(özel) Kaynaklar
Elektrik Direnç Kaynağı	Sürtünme Kaynağı	Ark Kaynağı		Gaz Kaynağı
		Eriyen Elektrot	Erimeyen Elektrot	
<ul style="list-style-type: none"> •Nokta (punto) kaynağı •Dikiş kaynağı •Alın kaynağı 		<ul style="list-style-type: none"> •Standart elektrik ark kaynağı •MIG/MAG kaynağı •Özlü telle ark kaynağı •Elektrogaz kaynağı •Tozaltı kaynağı 	<ul style="list-style-type: none"> •TIG kaynağı •Plazma Kaynağı 	<ul style="list-style-type: none"> •Oksi asetilen Kaynağı •Oksi hidrojen Kaynağı
				<ul style="list-style-type: none"> •Ultrasonik kaynak •Lazer kaynağı •Elektron ışın kaynağı

2.3.1. Ergitme kaynakları

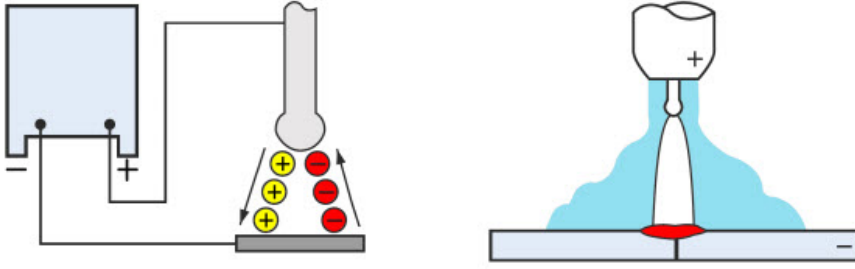
Birleştirilecek malzemelerin eritilerek, ek malzemeli veya ek malzeme olmadan yapıldığı birleştirme yöntemleridir (Turan 2014).

2.3.2. Ark kaynağı

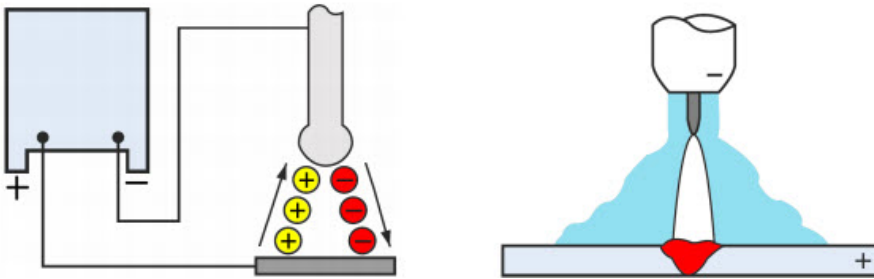
Ark kaynağını oluşturan temel etkenlerden biri elektrik arkıdır. Bir elektrik devresinden geçen elektrik akımının tahliyesine elektrik arkı denir (Anık 1991). Bu yöntemde metal elemanların birleşimi, bir elektrot ile parçalar arasında oluşturulan ve metalleri eritmeye yetecek sıcaklıklar oluşturan elektrik arkının ısı ile yapılmaktadır. Birçok ark kaynak metodunda kaynaklanmış malzemenin mukavemetini yükseltebilmek adına ilave metal eklenir (Anık 1991).

Elektrik ark kaynağında kirlenme ve oksitlenmeyi önleyen malzemeye dekapan denir. Ark kaynağına koruma sağlayıp, elektrik arkını kararlı hale getirir (Kutay 2010, Vural 2011).

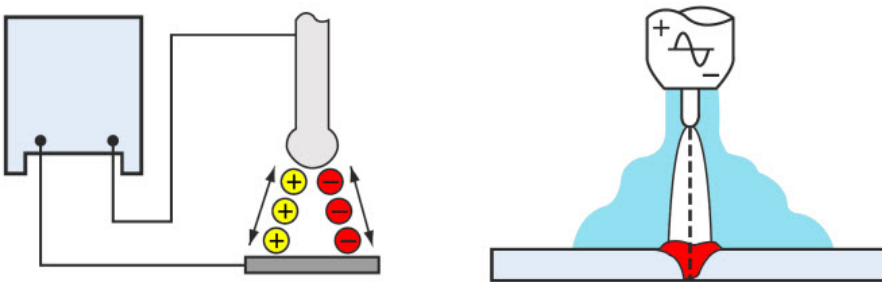
Ark Kaynağı için gerekli enerji Akım Üreteçleri ile sağlanır. Bu üreteçler; Doğru akım (DC) (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2) veya Alternatif akım (AC) (Şekil 2.3) üretenler olarak ikiye ayrılır (Dikicioğlu 2011).



Şekil 2.1. Doğru akım pozitif elektrot (ters kutuplama) (Dikicioğlu 2011)



Şekil 2.2. Doğru akım negatif elektrot (düz kutuplama) (Dikicioğlu 2011)



Şekil 2.3. Alternatif akım (Dikicioğlu 2011)

Alternatif akım makinaları kolay ulaşılabilir ve uygun fiyatlıdır. Dezavantajı ise kullanım alanının demir esaslı metaller ile kısıtlı olmasıdır. Doğru akım makinalarının kullanım alanı bütün metallerde kullanılabilmesi nedeniyle geniştir.

Ark kaynağı elektrotlarının iki temel türü şu şekildedir;

2.3.3. Eriyen elektrotlar

Eriyen elektrotlar kaynak işlemi esnasında kaynak çubukları tüketilmektedir. Örtülü elektrot olarak da adlandırılan çubuklar tükendiğinde değiştirilerek işleme devam edilmesi gerekir. Eriyen çubukların boyutları genel olarak; 22,5 mm ile 45 mm arası boyda ve maksimum 9,5 mm'den endedir (Vural 2011).

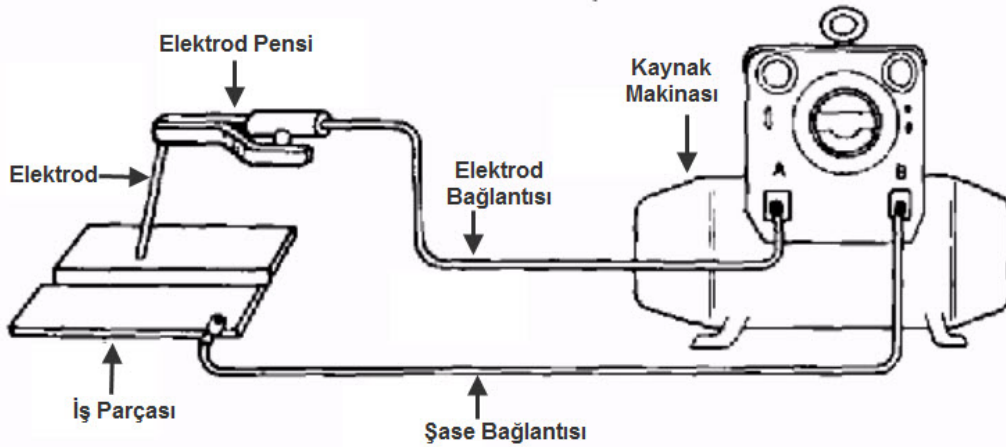
Eriyen elektrotları kullanan ark kaynak yöntemleri aşağıdaki gibidir (Vural 2011);

- Standart Elektrik ark kaynağı
- Gaz altı ark kaynağı
- Özlü telle ark kaynağı
- Elektro gaz kaynağı
- Toz altı ark kaynağı

2.3.3.1. Standart elektrik arkı kaynağı

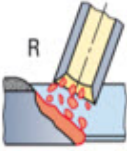
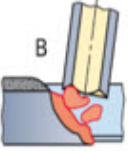
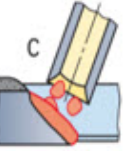
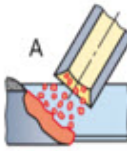
Elektrik ark kaynağı günümüzde en yaygın uygulamaya sahip kaynak yöntemidir. Elektrik ark kaynağının çalışma prensibi olarak, gereken ısı, kaynaklanacak malzeme ile elektrot üzerinden geçen ark aracılığıyla sağlanır. Elektrotun ucu kaynaklanacak bölgeye yaklaşınca, elektrotun ucu ile kaynaklanacak parçalar arasında bir elektrik arkı meydana gelir. Elektrik arkı ve kaynak banyosu havadaki uygunsuz etkenlerden, çubuk elektrotun oluşturduğu gazlar ve/veya cüruf sayesinde zarar görmez. Simgesi "E" dir (Ünal 2008, Kutay 2010).

Örtülü elektrod kaynağı şeklinde de bilinen bu kaynakta, dekapan ve üzeri kimyasal ile kaplanmış ilave bir metal çubuk olan eriyen bir elektrot kullanılır. İmalat yapılırken, kaynak çubuğu, akımı iletmesi için, akım üreticisine bağlanmış bir elektrot pensi tarafından tutulur (Şekil 2.4). Bu kaynak çeşidinde kullanılan güç üretici, bağlantı kabloları ve elektrot pensi uygun fiyatla elde edilebilir (Vural 2011).

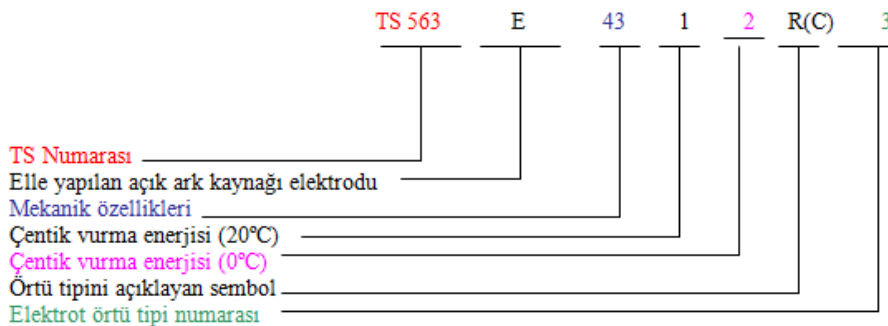


Şekil 2.4. Elektrik ark kaynağı (Anık vd 1991)

Bu uygulamada ilave metal olarak kullanılan kaynak çubuğunun bileşimi iş parçasının bileşimine yakındır. Çubuğun örtüsü ise, örtü içeriğine göre; Titandioksit elektrotlar (Ti), asit elektrotlar (Es), oksit elektrotlar (Ox), bazik elektrotlar (Kb), selülozik elektrotlar (Ze) ve özel elektrotlar (So) elektrotlar olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2.5). Örtü kalınlığına göre sınıflandırıldığında ise, ince örtülü, yarı kalın örtülü, kalın örtülü ve çok kalın örtülü olarak ayrılırlar (Oğuz 1975). Örtülü elektrotların numaralandırılmasında TS 563 ile TSE, ISO, AWS, ANSI standartlarına bakılabilir. Tüm standartlarda kodlama sistemi DIN 1913 ile benzerlik içermektedir (Şekil 2.6) (MEB 2011).

	Rutil	Bazik	Selülozik	Asit
Damla geçişi	İnce damlalı malzeme geçişi 	İri damlalı malzeme geçişi 	İnce damlalı malzeme geçişi 	Çok ince damlalı malzeme geçişi 
Kimyasal bileşimi	Rutil TiO ₂ 45% Kuartz SiO ₂ 20% Fe-Mn 15% Manyezit Fe ₃ O ₄ 10% Kireçtaşı CaCO ₃ 10% Camsuyu	Fluorit CaF ₂ 45% Kireçtaşı CaCO ₃ 40% Kuartz SiO ₂ 10% Fe-Mn 5% Camsuyu	Selüloz 40% Kuartz SiO ₂ 25% Rutil TiO ₂ 20% Fe-Mn 15% Camsuyu	Manyezit Fe ₃ O ₄ 50% Kuartz SiO ₂ 20% Fe-Mn 20% Kireçtaşı CaCO ₃ 10% Camsuyu
Üstün-lükleri	<ul style="list-style-type: none"> ● Kaynak yapması kolay ● güzel, düzdikiş ● AA ve DA mümkün 	<ul style="list-style-type: none"> ● Hafifçe dışbükey dikiş ● Yüksek mek. özellikler ● Çoğunlukla DA+ 	<ul style="list-style-type: none"> ● Derin nüfuziyet ● Tüm pozisyonlar, özellikle yukarıdan aşağı ● İyi mekanik özellikler 	<ul style="list-style-type: none"> ● Kuvvetli alaşım yanması ● Pürüzsüz, düz yüzey ● Ortalama mekanik özellikler
Zayıflıkları	<ul style="list-style-type: none"> ● Tüm pozisyonlar mümkün değil ● Bazik elektrotlara göre daha düşük mekanik özellikler ● Daha kötü aralık doldurma kabiliyeti 	<ul style="list-style-type: none"> ● Kaynak yapması biraz daha zor ● Tekrar kurutulmaları gerekir 	<ul style="list-style-type: none"> ● Kaynak yapması çok daha zor ● Tüm kaynak makinalarına uygun değil ● Daha yoğun duman oluşumu 	<ul style="list-style-type: none"> ● Zor pozisyonlara sınırlı uygunluk ● Çatlak oluşturmaya eğilimli

Şekil 2.5. Elektrot çeşitleri (Dikicioğlu 2011)



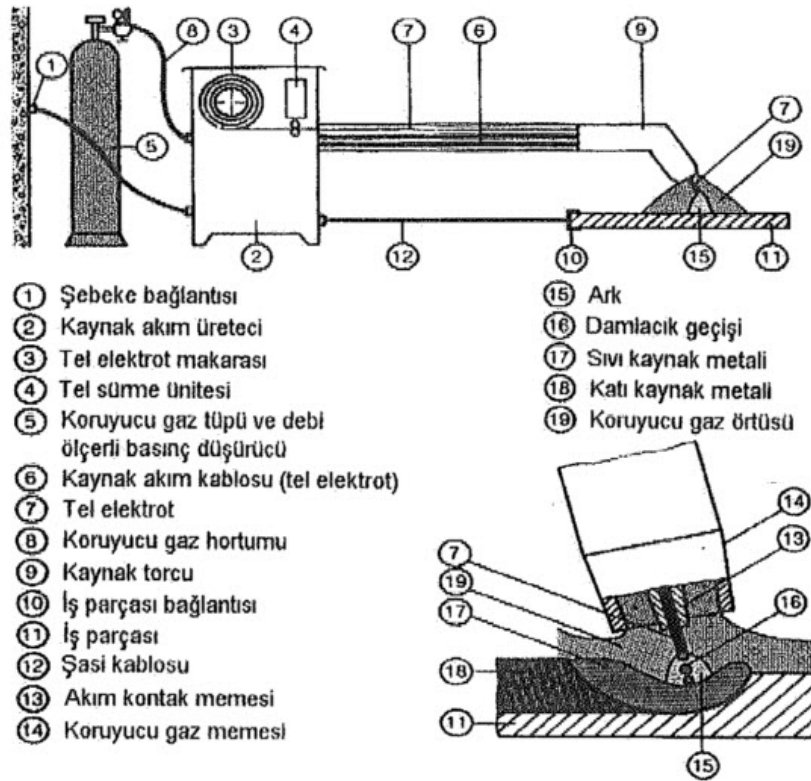
Şekil 2.6. Örtülü elektrotların numaralandırılması (MEB 2011)

Demir ve çelik malzemeler elektrik ark kaynağının en çok kullanıldığı alanlardır. Çubukların düzenli olarak değişim gerektirmesi, örtülü çubuk elektrotla kaynağın dezavantajı olarak sayılabilir (Vural 2011).

2.3.3.2. Gaz altı ark kaynağı

Koruyucu gaz kullanılarak yapılan ark kaynak yöntemidir. Koruyucu gaz olarak, inert yani soy gaz (Metal Inert Gas - MIG) ile metal aktif gaz (Metal Active Gas - MAG) kullanılır. Bu kaynak çeşidi, MIG/MAG kaynağı olarak da bilinmektedir. Herhangi bir ark kaynağı uygulanabilen paslanmaz çeliklere, gazaltı kaynağı yöntemi ile de kaynak yapılabilir. Önemli olan husus, katılaşma sırasında, kaynak bölgesinin hava ile temasının ve havanın kaynağın içerisine doğru girmesinin engellenmesi gerektirir (Eryürek 2007).

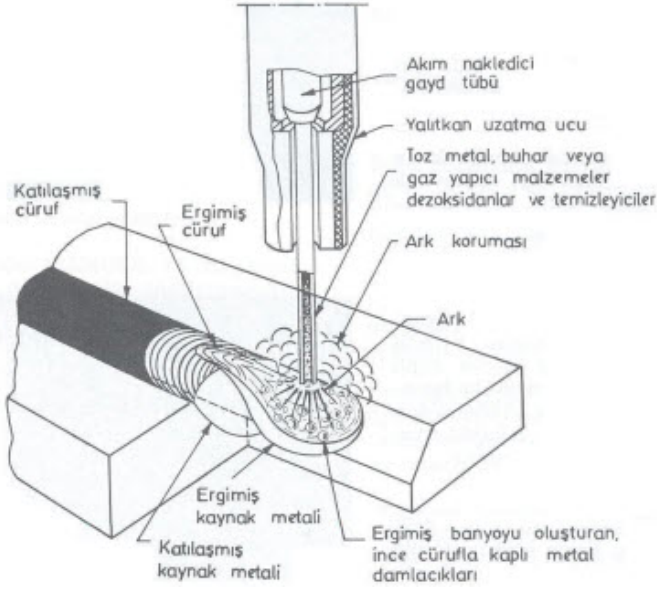
Bu yöntemde koruyucu gaz, elektrot ile kaynak yapıldığında, eriyik halindeki kaynak pasosu ile dışındaki havanın temasını keser. Kaynak pasosunun bu şekilde örtülmesi, MIG/MAG kaynağında nötr oksijen aleviyle, elektrik ark kaynağında ise gaz haline geçen çubuk elektrotun örtüsüyle sağlanır (Şekil 2.7) (Anık 1991). Elektrik ark kaynağında çubukların koçan kısmı kullanılmaz, MIG/MAG kaynağında tamamı kullanılabilir ve çubuk elektrotun örtüsünden kalan cüruf kalıntılarını temizleme işi oluşmaz (Vural 2011). MIG/MAG kaynağı bu yönlerden bakıldığında otomasyona çok uygundur. Simgesi "MIG" dir (Kutay 2010; DetayKalite 2016).



Şekil 2.7. Mig mag kaynağı (Turan 2014)

2.3.3.3. Özlü telle ark kaynağı

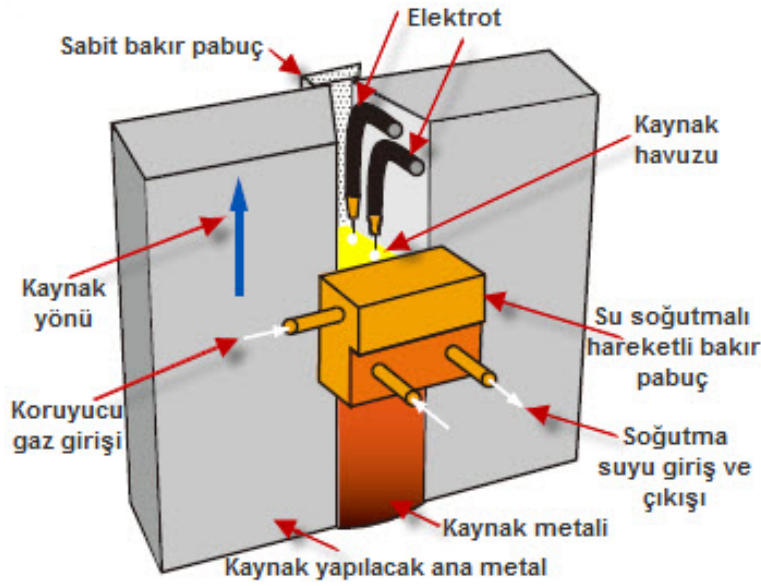
Otomatik kaynak olarak kullanılan MIG/MAG kaynağı, bazı çelik cinslerinin gevreklikleri nedeniyle ince tel halinde çekilememektedir. Esasen bu alaşımların tel haline getirilmeleri teknolojik açıdan yapılabilirken, kullanılan miktarın az olmasından dolayı üretilmeleri ekonomik olmayabilmektedir. Bu gibi sınırlamaların aşabilmek için üretilmiş, örtülü çubuk elektrotla ark kaynağının geliştirilmiş şeklidir denilebilir (Şekil 2.8) (Oğuz 1988).



Şekil 2.8. Özlü telle açık ark kaynağı (Oğuz 1988)

2.3.3.4. Elektrogaz kaynağı

Hem özlü tel elektrot ile hem de ilave koruyucu gazlı elektrot ile yapılan kaynak çeşididir. Tek pasolu dikey kaynak uygulamaları için özellikle gemi inşaatlarında kullanılmaktadır. Özlü tel elektrot kullanıldığında ve gaz ile desteklenmediğinde, özlü telle ark kaynağının bir çeşidi haline gelir. Yine aynı mantıkla, koruyucu gazlı elektrot ile yapıldığında, bir çeşit MIG/MAG kaynağı olarak sayılabilir (Şekil 2.9) (Vural 2011).



Şekil 2.9. Elektrogaz kaynağı (Kobelco 2016)

2.3.3.5. Toz altı elektrik arkı kaynağı

Toz altı kaynağı, yüksek kaynak kabiliyeti ve kaliteli kaynaklı birleşimlerin oluşmasını sağlar (Sönmez 2007). Toz altı kaynağı genel olarak 12 mm'den daha kalın ve östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında tercih edilmektedir. Bu yöntemde, yüksek ısı girişini ve yavaş soğuma hızını kaldırabilen paslanmaz çeliklerin kullanılması gerekmektedir (Eryürek 2007).

Bu kaynak çeşidinde; elektrik arkı, toz şeklindeki dekapan ile korunur. Ayrıca, bir makaradan düzenli olarak otomatik beslenen, sürekli ve eriyen çıplak tel elektrot kullanılır. Yer çekimi etkisiyle arka doğru beslenen toz dekapan, arkı örterek sıçramaları, kıvılcımları ve radyasyonu engeller (Şekil 2.10). Simgesi "UP" dir (Kutay 2010).



Şekil 2.10. Toz altı ark kaynağı yapılırken (Turan 2014)

Yüksek karbonlu çelikler hariç diğer çelik profillerin üretimi ve birleşiminde, altyapılarda kullanılan büyük çaplı borularda, depolama tankı ve basınçlı kapların birleşiminde kullanılır (Vural 2011).

2.3.4. Erimeyen elektrotlar

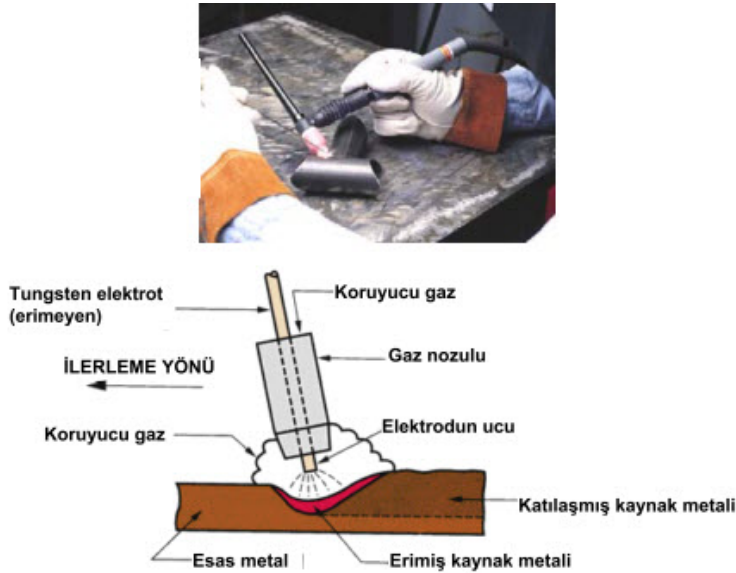
Kaynak işlemi esnasında tüketilmeyen elektrotlara erimeyen elektrotlar denir. İçeriğinde erimeye karşı dirençli olan tungsten bulunur (Vural 2011).

Ark kaynağı yapılırken ulaşılan ısıda, havada bulunan hidrojene, azota ve oksijene karşı kimyasal tepki gösterir. Kaynak bağlantısı, bu kimyasal tepki sonucu ciddi anlamda bozulabilir. Bu sebeple, kaynak yapılırken, elektrik arkı havadan korunmalıdır. Bu koruma işlemini Argon, Helyum ve CO₂ gibi koruyucu gazlar yaptığında, dekaplanla arkın korunabilmektedir (Eryürek 2007).

Plazma ark kaynağı, tungsten inert gaz kaynağı (TIG kaynağı), saplama kaynağı, karbon ark kaynağı, erimeyen elektrot ile yapılan ark kaynağı çeşitleri olarak kullanılmaktadır (Dikicioğlu 2011).

2.3.4.1. Tungsten inert gaz kaynağı

Kaynak yapılabilen tüm paslanmaz çeliklerde tungsten inert gaz kaynağı uygulanabilir (Eryürek 2007, Gözütok 2011). TIG kaynağı olarak da bilinmektedir. Erimeyen çubuk elektrot olarak tungsten malzeme kullanılır. Elektrik arkının korumak amacıyla da inert gaz kullanılır. Tungsten 3410°C sıcaklıkta eridiği için, işlem esnasında erimeydiği için bu kaynak çeşidinde tungsten kullanılır (Şekil 2.11). Uygulama yapıldığı metaller arasında alüminyum ve paslanmaz çelik en yaygındır. Simgesi “WIG” dir (Kutay 2010).



Şekil 2.11. TIG kaynağı uygulaması (Vural 2011)

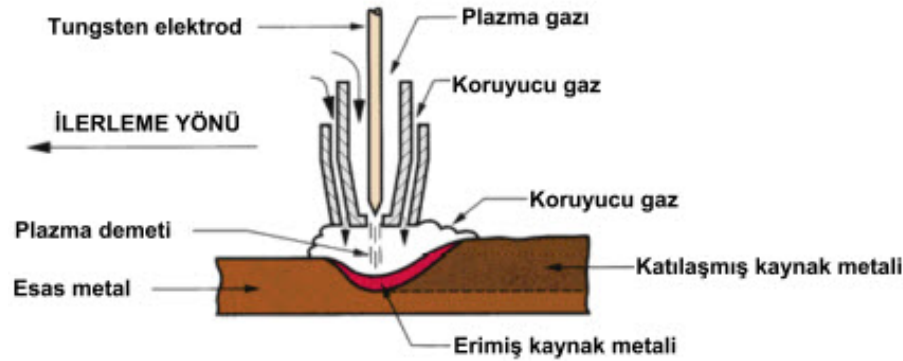
Bu tip kaynakta kaynaklama yüksek hızda olur ve distorsiyon azdır. Kaynaktan sonra cüruf temizlemesi gerektirmez ve sıçrama olmadığı için temiz kaynak dikişleri yapılabilir. Kazanlar, ince sac metaller, ev aletleri, depo ve siloların yapımında ve silindirik boruların birleşimindeki alın kaynaklarında tercih edilir (Tama 2009).

Eriyen elektrotlu yöntemlere göre yavaş ve maliyetli olması göz ardı edilirse, yüksek kaliteli kaynaklar bu yöntemle rahatlıkla yapılabilir.

2.3.4.2. Plazma ark kaynağı

Bu kaynakta plazma arkı, kaynak bölgesine sınırlı bir şekilde iletilir ve TIG kaynağının farklı bir çeşidi olarak bilinir. Tungsten elektrot, inert gazlardan; argon, argon-helyum, helyum veya argon-hidrojen gazlarının ark bölgesine odaklandığı nozulda kullanılır (Şekil 2.12). Bu kaynakta, sıcaklıklar oldukça konsantre ve yoğunlaşarak ortalama 28,000°C'ye ulaşmaktadır.

Bu yöntem derin bir penetrasyon sağlar ve oldukça hızlı uygulanabilir. Çoğu metalin kaynağında kullanılabilmesinin yanında maliyet olarak yüksektir. Küçük ve detay gerektiren bağlantı yerlerinde tercih edilmez çünkü diğer ark kaynak yöntemlerine kıyasla daha büyük torç boyutu vardır.



Şekil 2.12. Plazma ark kaynağı (Vural 2011)

2.3.5. Gaz kaynağı

Gaz kaynağı, gereçlerin gaz alevi ile eritilerek sökülemeyecek biçimde birleştirilmesidir. Biri yanıcı diğeri yakıcı olan gaz birleşimiyle gerekli ısı sağlanır. Yanıcı gaz olarak oksijen kullanılır (Oksi yanıcı gaz kaynağı). Koruyucu gaz olarak Argon, Helyum veya CO₂ veya bunların birleşimi kullanılır. Bu tarz kaynaklarda malzemenin oldukça temiz olması gerekmektedir. Sıcak haddelerin kumlanarak temizlenmesinde yarar vardır (MEB 2011, Ünal 2008).

2.3.5.1. Oksi-yanıcı gaz kaynağı

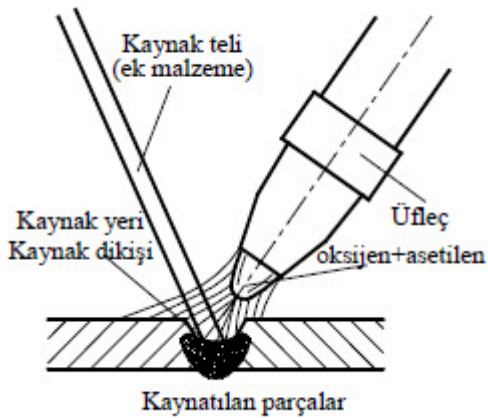
Bu kaynak yönteminde, çeşitli yanıcı gazları oksijenle karıştırarak eritme kaynağı elde edilir. Oksi-yanıcı gaz kaynağı, oksijen kaynağı olarak da bilinir ve metal plakaları ve benzer malzemeleri kesme amacıyla da kullanılır (Şekil 2.13). Yanıcı gaz olarak, doğal gaz, asetilen gazı, hidrojen gazı, propilen gazı, propan gazı kullanılmasına rağmen en yaygın olarak asetilen gazı kullanılarak meydana gelen oksi-asetilen gaz kaynağı kullanılır (Vural 2011).



Şekil 2.13. Oksi asetilen kaynağında kesme torcu (MEB 2011)

2.3.5.2. Oksi-asetilen Kaynağı

Asetilen ve oksijenin yanmasıyla elde edilen yüksek sıcaklıkta bir alevle yapılan eritme kaynağı çeşididir. Bu kaynak metodunun uygulanması Şekil 2.14'te görülebilir. Alev bir üfleç ile uygulanır. İlave metalin yapısı kaynatılan parçanın bileşimine benzemelidir. İlave metal, oksitlenmeyi önlemek için çoğunlukla dekapanla kaplıdır. İnce sac metallerde ve borularda uygulanması tercih edilmektedir. Simgesi "G" dir (Kutay 2010).



Şekil 2.14. Oksi asetilen kaynağı (Kutay 2010)

2.3.6. Basınç kaynakları

Basınç kaynaklarında birleşim, elektrik arkının malzemelerden geçmesinden doğan ısı ve basınç sayesinde yapılmaktadır. Tekrarlanabilir olması ve yüksek üretim hızına sahip olmaları otomatikleşmeyi sağlamaktadır. Ancak ilk donanım maliyetleri yüksektir ve kullanım alanı bindirme bağlantılarla kısıtlıdır (Turan 2014).

Basınç kaynakları çeşitleri aşağıdaki gibidir;

- Elektrik Direnç Kaynağı
- Sürtünme Kaynağı
- Diğer basınç kaynağı yöntemleri (Difüzyon kaynağı, soğuk basınç kaynağı ve ultrason kaynağı)

2.3.6.1. Elektrik direnç kaynağı

Kaynak yapılacak malzemeye elektrik akımı verildiğine, geçen elektriğe karşı bir direnç oluşur. Bu direnç sonucunda oluşan ısı kullanılarak ve buna basınç uygulanarak elde edilen kaynak çeşidine elektrik direnç kaynağı denir. Direnç nokta kaynağı, direnç dikiş kaynağı ve alın kaynağı olarak üç şekilde uygulanabilmektedir;

Direnç nokta kaynağı

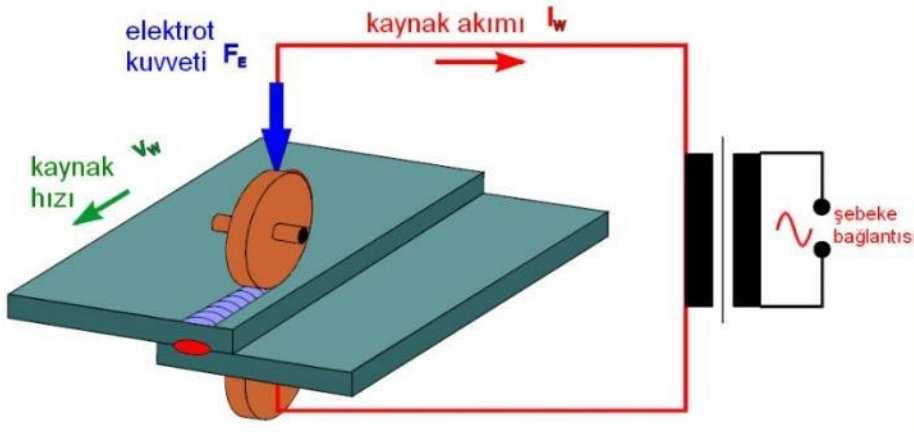
Bindirmeli birleşimde temas etmiş yüzeylerin, elektrik akımına karşı ortaya çıkan ısıdan ve basınçtan eritilerek kaynaklandığı kaynak yöntemidir. Bu yöntemde, elektrotlar kaynaklanacak malzemeye karşılıklı olarak yerine konulur (Şekil 2.15). Bu yöntem, sac metallerin birleştirilmesinde ve en çok otomobil sektöründe kullanılır (Dikicioğlu 2011).



Şekil 2.15. Direnç nokta kaynağı (Gatwick Technologies 2016)

Direnç dikiş kaynağı

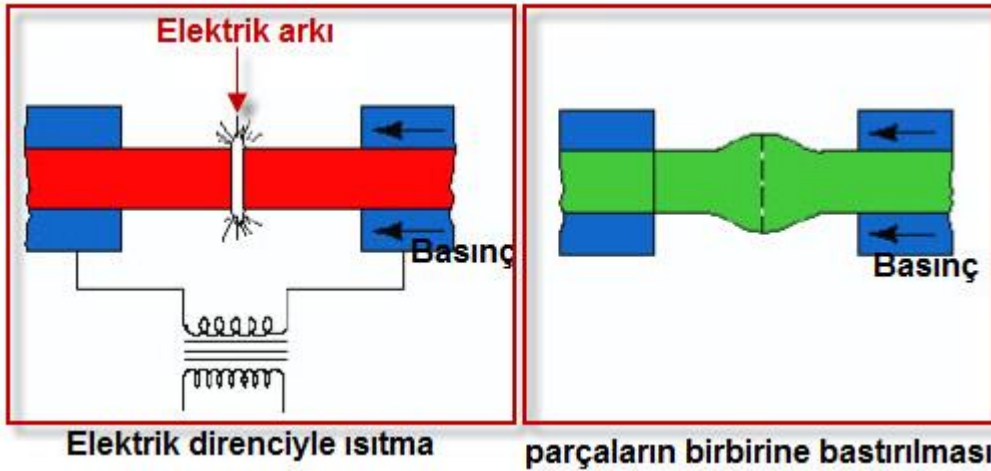
Bindirmeli birleşimde temas eden kısımları birleştirmek için seri halindeki nokta kaynaklarının bir aradaki halidir. Bu hali oluşturabilmek amacıyla elektrik direnç kaynağı prensibiyle çalışan ve dönen disk elektrotlar kullanılmaktadır (Şekil 2.16). Bu yöntemle sızdırmaz bağlantılar üretilebilmektedir. Uygulama alanları, sızdırmazlık gerektiren yerler olan yakıt depoları, egzoz susturucuları vb.dir (Dikicioğlu 2011).



Şekil 2.16. Direnç dikiş kaynağı çalışma prensibi (Dikicioğlu 2011)

Alın kaynağı

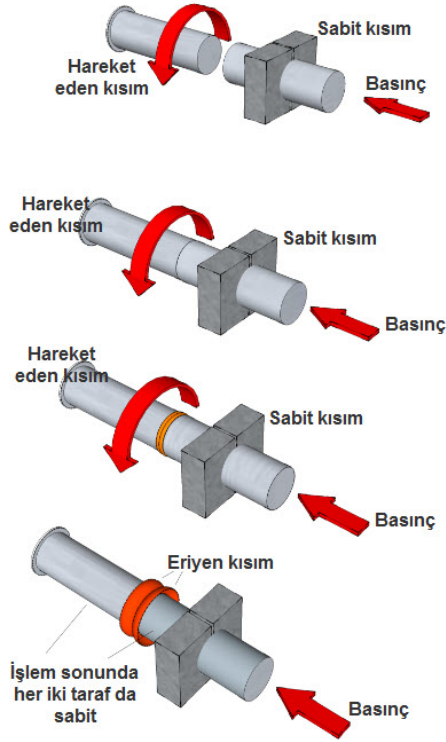
Alın dikişi yapılması gereken birleşim yerlerinde kullanılır. Kaynaklanmak istenen malzemelerin yüzeyleri uç uca temas edecek şekilde getirilir. Elektrik akımı uygulanarak malzemelerin yüzeyi erime sıcaklığına getirilir. Daha sonra erimiş kısımlar bastırıldığında kaynak yapılmış olur (Şekil 2.17). Bu yöntem raylar ve borularda tercih edilebilir.



Şekil 2.17. Direnç alın kaynağı çalışma prensibi (Dikicioğlu 2011)

2.3.6.2. Sürtünme kaynağı

Friksiyon kaynağı olarak da bilinen sürtünme kaynağında, elektriksel akımından faydalanmadan, birleştirilecek elemanların iç kısımlarında sürtünme ve basınçla mekanik enerji üretilir. Bu enerjinin, ısı enerjisine çevrilerek yüzeylerin ergimesini ve birleşmesini sağlayan yöntem sürtünme kaynağı denir. Şekil 2.18’de çalışma prensibi görülmektedir (Dikicioğlu 2011).



Şekil 2.18. Sürtünme kaynağı çalışma prensibi (Gatwick Technologies 2016)

2.4. Dikişlerine Göre Kaynak Çeşitleri

Ergitme kaynağı metoduyla yapılan kaynak dikişleri küt kaynak ve köşe kaynak olarak ikiye ayrılır (Deren vd 2003).

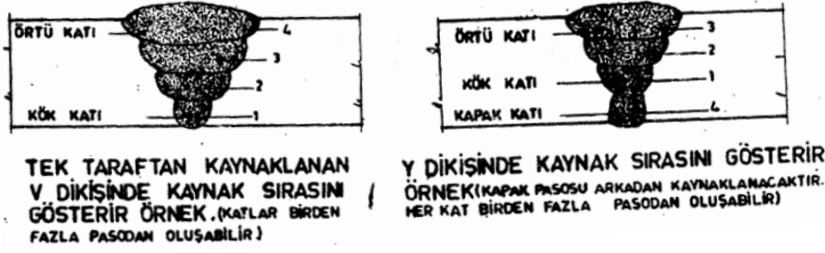
2.4.1. Küt kaynak

Aynı düzlemdeki iki levhanın aynı hizaya getirilen kenarlarına yapılan dikiş çeşididir. Şekil 2.19'da görüldüğü gibi, levha kenarlarının işleniş şekillerine göre özel isimler alırlar.

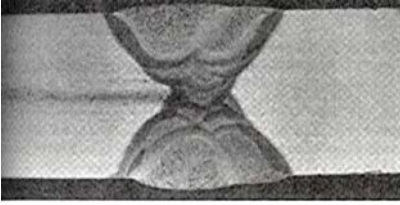
Kaynak dikişi ismi	I - Dikişi	V- Dikişi	Y- Dikişi	X - Dikişi	U - Dikişi
Levha kenarları şekli (DIN 8551)					
Kaynak işareti (DIN 1912)					
levha t kalınlığı	≤ 5	3~20	8~20	18~40	>16

Şekil 2.19. Küt kaynak dikişleri (TS 3357)

Levhaların küt kaynak için kesilmelerine kaynak ağzı açılması denir. Kaynak bir defada çekilmez. Paso adı verilen kademeler halinde çekilir. Şekil 2.20’de kaynak pasosu görülebilmektedir. Kaynak dikişinin kalınlığı $a=t$ olarak alınır. Birleştirilen levhaların farklı kalınlıkta olması durumunda en küçük kalınlık alınır (Erdil 2014). Şekil 2.21’de kaynak ağzı açılmış tipik bir küt kaynak uygulaması verilmektedir. Bu şekilde, verilen küt kaynak kesitinde uygulamanın pasolar halinde yapıldığı görülmektedir.



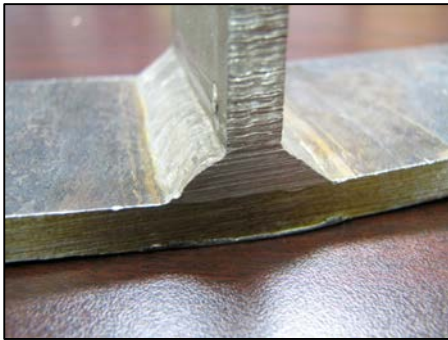
Şekil 2.20. Kaynak pasosu (TS 3357)



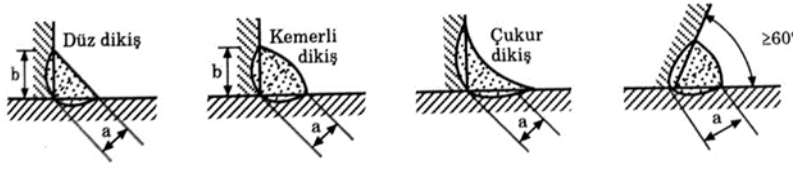
Şekil 2.21. Kaynak ağzları (Erdil 2014)

2.4.2. Köşe kaynak

Çelik malzemelerin birbirine dik açıda veya en az 60° açıda kaynaklanması ile oluşur (Şekil 2.21 ve Şekil 2.22). Açı 60° den az ise kuvvet aktarımı gerçekleşmez. Köşe kaynakta, kaynak kesitinin içinde olduğu varsayılan ikizkenar üçgenin yüksekliği kadar olan uzunluk, kaynak kalınlığı olarak kullanılır (Deren vd 2003).

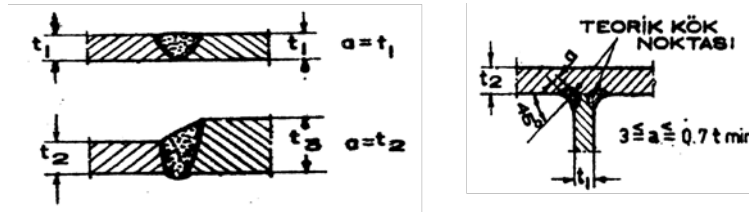


Şekil 2.22. Köşe kaynak uygulanmış çelik levha örneği (Erdil 2014)

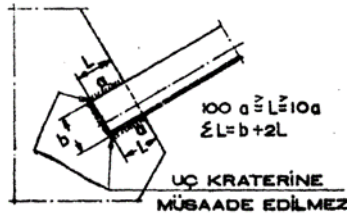


Şekil 2.23. Köşe kaynak dikiş çeşitleri (Deren vd 2003)

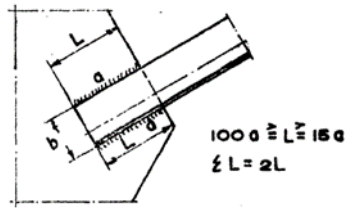
Minimum kaynak kalınlığı 3 mm (köprülerde 3,5 mm), maksimum kaynak kalınlığı $a=0,7t_{\min}$ olmalıdır (Şekil 2.24). Kaynak bağlantılarındaki minimum değerler Şekil 2.25, Şekil 2.26 ve Şekil 2.27'deki gibi olmalıdır (Deren vd 2003).



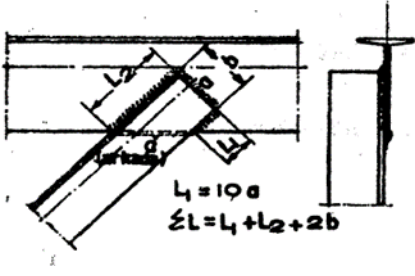
Şekil 2.24. Köşe kaynak kalınlığı (TS 3357)



Şekil 2.25. Köşe kaynakta alın dikiş uzunluğu hesabı (TS 3357)



Şekil 2.26. Köşe kaynakta yan dikiş uzunluğu hesabı (TS 3357)

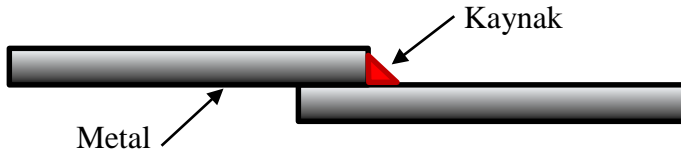


Şekil 2.27. Köşe kaynakta alın ve yan dikiş uzunluğu hesabı (TS 3357)

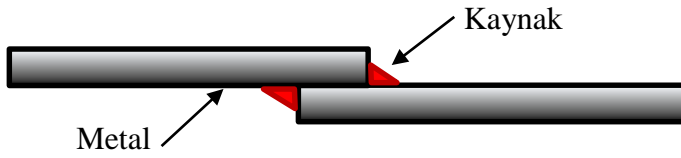
Minimum kaynak boyu $15a$ ve maksimum kaynak boyu $100a$ olmalıdır (TS 3357).

2.4.3. Bindirme kaynak

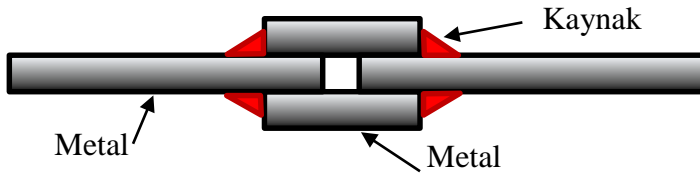
Birleşimi istenen iki metal yüzeyin birbiri üzerineyken yapılan kaynak çeşididir (Şekil 2.28, Şekil 2.29 ve Şekil 2.30).



Şekil 2.28. Tek bindirmeli bağlantı



Şekil 2.29. Çift bindirmeli bağlantı (ek levhasız)



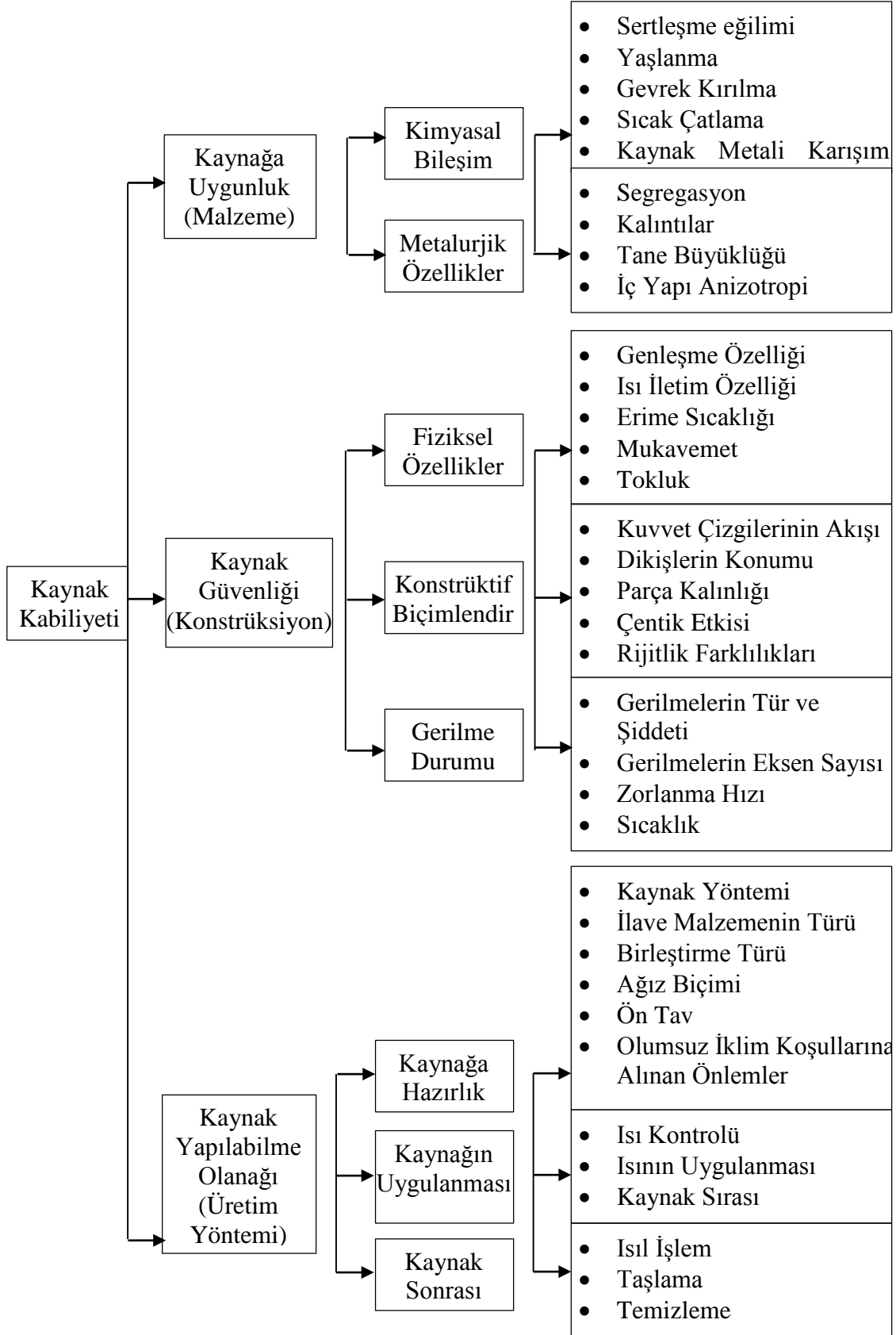
Şekil 2.30. Çift bindirmeli bağlantı (ek levhalı-kapaklı)

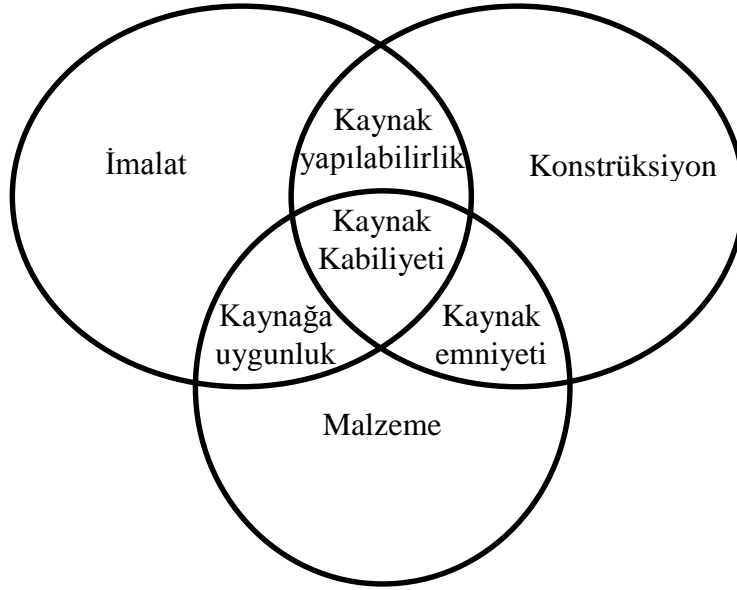
2.5. Kaynak Kabiliyeti ve Kaynak Kalitesini Etkileyen Faktörler

Kaynak uygulaması yapılan kısımda oluşan ısının tesiri altında kalan bölgenin fazla deforme olmaması, kaynak yapılan malzemenin kaynağa uygun olduğunu gösterebilir. Kaynak kabiliyeti ve kaynağa uygunluk için ısının tesiri altında kalan bölge incelenmelidir. İnceleme yapıldığında yine de kesin ve niceleyici bir şekilde belirlenemeyen, kompleks bir özellik olduğu görülür (Çizelge 2.2 ve Şekil 2.31). Uluslararası Kaynak Enstitüsünün (IIW International Institute of Welding) IX no'lu komisyondaki açıklamasına göre ise, bağlantı yapılması istenen malzemenin, uygun bağlantı yöntemine göre kaynağı yapıldığı takdirde, bağlantı yerel bölgesi ile genel yapıya etkisi gereken özellikleri sağladığında malzemenin kaynaklanma kabiliyeti vardır (Anık 1991, Ünal 2008).

Birleşimi istenen esas malzeme olan çelik malzemede karbon oranının %0,22'den az olması kaynaklanabilir olarak nitelendirilmektedir. Bu oran %0,3 ve üzerindeyse kaynak birleşiminden sonra ani soğuma meydana gelebilir ve çelik malzeme daha gevrek bir şekle dönüşebilir. Karbon oranı %0,1'den az olduğunda ise malzemede çok miktarda gaz emilimi oluşabileceğinden dolayı, kaynak işlemi boşluklu yapıda kaynaklamayla sonuçlanabilir (Erdil 2014).

Çizelge 2.2. Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler (Anık 1991)





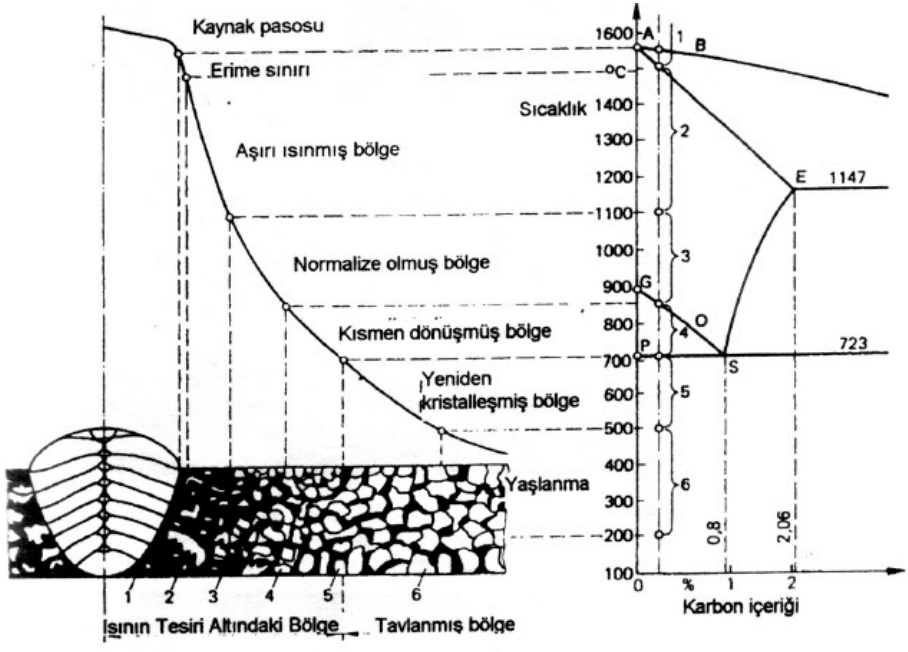
Şekil 2.31. Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler (Ünal 2008)

Kaynak kabiliyetinin olumsuz etkilenmemesi için, hava sıcaklığının -18°C in altında olmaması ve kaynak yüzeyinin kuru olması gerekmektedir. Ayrıca kaynak yapılacak yüzeyler, kaynak işlemi esnasında, (yağmur, kar gibi) olumsuz hava koşullarına maruz kalmamalıdır. Kaynak ağzında çatlak, yırtık, gözenek gibi kaynak dayanımını olumsuz etkileyecek pürüzler olmamalıdır. Birleştirilmek istenen metallerde kaynak bölgesinde pas, kir, cüruf, nem olması kaynak kalitesini olumsuz yönde etkiler (Oerlikon 2000). Kaynak kalitesini etkileyen faktörlerden yüzey durumunun bu etkisi, bu tez çalışmasının konusu olarak araştırılmıştır.

Yüzey durumunu incelemek için Sa2,5 standardı incelenmiştir. Bu standart, boya ve kaplama öncesi metal yüzeylerin temizlik değerini gösterir. Yüzey temizlik derecesine göre Sa1, Sa2, Sa2,5 ve Sa3 şeklinde sınıflandırılmıştır. Genel olarak bütün şartnamelerde yüzey temizliğinde Sa2,5 standardı tavsiye edilmektedir. Yüzey temizliğinde herhangi bir ölçüm aleti olmayıp TS ISO 8501-1 'teki resimlerindeki görsellerle kıyaslamadan ibarettir (Taş 2008).

2.5.1. Isının tesiri altında kalan bölge (ITAB)

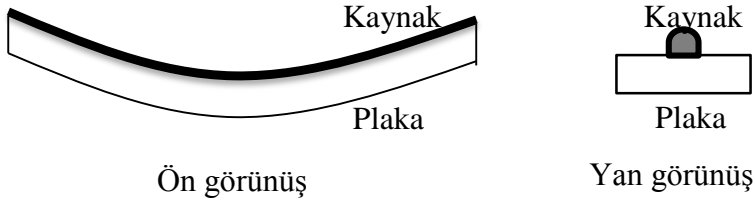
Eritme kaynağı yapılmış bir birleşim elemanında, ilave metal ve ana metalin kaynak yapıldığı yerde, kaynak ısısının neden olduğu bir "Isının tesiri altında kalan bölge - ITAB" meydana gelir (Ünal 2008). ITAB Şekil 2.32'de gösterilmiştir. ITAB, kaynaklı birleşim yapılan alanda, kaynak ara yüzeyi ile esas kaynak materyali arasında kalan bölgelerde kaynak metalinin içyapısındaki ısıdan kaynaklanan değişim olarak tanımlanabilir.



Şekil 2.32. Ergitme kaynağında kaynak bölgesinin yapısı (Ünal 2008)

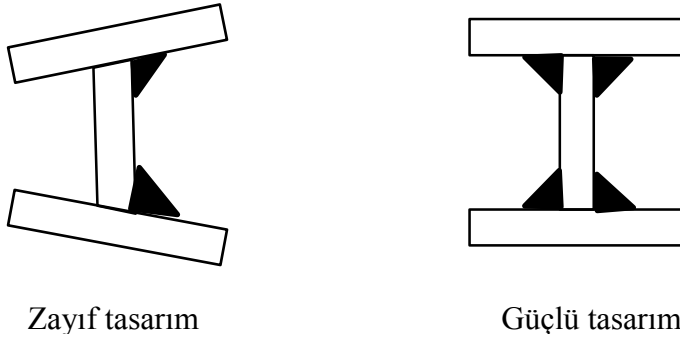
2.5.2. Artık gerilmeler ve distorsiyon

Kaynak kalitesini etkileyen faktörlerden birisi de bölgesel ısıdan ve soğumadan kaynaklanan büzülmelemdir. Düz bir metal plaka üzerine tek bir sıra halinde uygulanan sürekli bir kaynak uygulandığında Şekil 2.33'teki gibi distorsiyona uğrar.



Şekil 2.33. Distorsiyon (Salmon 1996)

Simetrik olmayan kaynak yapılmış bağlantı elemanlarında da distorsiyonlar görülmektedir (Şekil 2.34).



Şekil 2.34. Simetrik olmayan tasarımda distorsiyon (Salmon 1996)

Büzülmeyi minimuma indirebilmek adına AWS'de yayınlanmış olan minimum ön tavlama ve geçiş ısıları bulunmaktadır. Distorsiyonu en aza indirmenin yolları aşağıdaki gibidir (Salmon 1996);

- Mümkün olduğu kadar az miktarda paso kullanılmalıdır.
- Kaynaklama işleminde simetri kullanılmalıdır.
- Sürekli kaynaktan önce kaynak hattı boyunca puntolama yapılmalıdır.
- Kaynak dikişleri aralıklı yapılmalıdır.
- Hız, kaynak metali gibi kaynak koşulları önceden iyi seçilmelidir.
- Metali gerdirmek adına, seri şekilde çekiçleme ile darbe yapılabilir.

2.5.3. Kaynak hataları

Kaynak uygulamaları esnasında muhtemelen oluşabilecek hatalar bulunmaktadır. Bunların en önemlileri olarak kaynakta porozite, düzgün erimemiş kaynak pasoları, kaynakta çatlak, kaynakta kalıntı gibi hatalar görülmektedir (Salmon 1996).

2.5.3.1. Kaynakta çatlak

Kaynakta çatlaklar, kaynak metalinde, kaynak hattı boyunca iç basınçtan kaynaklanan, hem uzunlamasına hem de enine oluşan kırıklardır. Kaynak çatlakları, bazen kaynak metalinden esas metale doğru genişleyebilir, bazen de esas metale yakın olarak kaynak çevresinde oluşabilir. Çatlaklar, kaynak hatalarındaki en zarar verici etkiye sahiptir ve düzeltilmez (Salmon 1996).

2.5.3.2. Kaynakta porozite

Kaynak işlemindeki soğuma esnasında, küçük miktarlardaki gazların hapsolmesiyle oluşmuş boşluklardır. Bu hata, genellikle aşırı yüksek akım miktarından ya da çok uzun ark boyunluğundan kaynaklanmaktadır (Salmon 1996).

2.5.3.3. Kalıntı içirme

Kaynak işlemi esnasındaki erimiş elektrotun kaplamasından, Al_2O_3 gibi metal oksitler ve çeşitli karışımlardan oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucunda curüf oluşur. Erimiş kaynak metalinden daha düşük yoğunluğa sahip olduğu için, yüzeye yapışırlar. Ancak kaynak bağlantısında çok hızlı soğuma olduğunda bu kalıntılar kaynak metalinin içine hapsolür. Bu da yine kaynak bağlantısında istenmeyen durumlardan biridir (Salmon 1996).

2.5.3.4. Kaynakta yetersiz erime

Yetersiz erime, esas metalden itibaren kaynak yapılacak olan alana, erimiş kaynağın tamamen doldurulmaması ve kaynağın uç kısımlarında boşluk olmasıdır. Bu hata, göz ile kolaylıkla fark edilebilir ve ilave kaynak ile çözülebilir (Salmon 1996).

2.6. Kaynak Muayene Metotları (Kaynak Deneyleri)

Yapılardaki ve köprülerdeki kaynak üretiminin günümüze kadar gelişerek gelmesindeki en büyük etken kaynak işlerinde yapılmış olan incelemeler ve gözlemlerdir. Ancak her kaynak işinde sıkı ve detaylı gözlem ve incelemeler oldukça zor olduğundan, inceleme yöntemlerinin haricinde aşağıdaki hususlar bu konu bir rehber olabilir:

- Kaynak prosedürlerini iyi belirlemek
- Eğitimli eleman kullanmak
- Halihazırda kalifiye bir kontrolör bulundurmak
- Gerekliğinde özel muayene yöntemleri kullanmak

Muayene yöntemleri olarak; gözle muayene, tahribatsız muayene ve tahribatlı muayene yöntemleri kullanılmaktadır.

2.6.1. Gözle muayene

Muayene yöntemleri arasında en çok kullanılan yöntemdir. Kaynak kontrolörü, kaynak bağlantısını ebat, çatlak, porozite, yetersiz erime gibi hatalar açısından inceler ancak kalıntı içirme gibi iç hataları inceleyemez. Bu sebeple ilave testlerin gereksinimini de belirler.

2.6.2. Tahribatsız muayene

Ultrasonik test:

Bu muayene yönteminde yüksek frekanslı ses dalgaları kontrol edilecek alana gönderilir. Dalgalar bir engele çarptığında geri yansır ve sinyal verir. Alınan sinyale göre çarptığı yerlerin konumu da belirlenebilmektedir. Böylece süreksizlikler (çatlaklar, kalıntılar), ses iletimindeki kayıplarla tespit edilir. Yine bu sinyale göre engel teşkil eden kısmın içindeki çatlak durumu ve kalıntı içermesi belirlenebilmektedir.

Radyografik test:

Bu muayene yönteminde yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar (x ışını ve gama ışını gibi) kullanılarak kontrol edilecek alan gönderilir. Gönderilen ışın, kontrol edilen alanın arkasındaki film ile tutularak elde edilen görüntüden, kaynakta bulunan iç hataların görüntüsü bulunabilmektedir.

Sıvı penetrant ve florasan penetrant testleri:

Bu muayene yönteminde kaynak kontrolü yapılacak alana renkli bir penetrant sıvı nüfuz ettirilir. Bu renkli sıvı sayesinde kaynak hataları belirlenebilmektedir. Eğer görüntüde süreklilik varsa kaynakta çatlak olduğu, yuvarlaklık varsa da porozite olduğunu ifade eder. Ancak bu yöntemde, kaynaktaki hataların yüzeye açılması gerekir. Yüzeye açılmayan hatalar bu yöntemle tespit edilemez.

Manyetik parçacık testi:

Bu yöntemde kontrol edilecek bölgede kaçak bir manyetik akım oluşturulur. Akımın geçtiği yere ferromanyetik toz parçalar bırakıldığında manyetik alan, kaynak hatalarının olduğu yerlerde bozulur. Büyük parçalarda kullanımı zordur. Ancak avantaj olarak bu yöntemde kaynak hatalarının yüzeye açılması gerekmemektedir (Vural 2011).

2.6.3. Tahribatlı muayene

Kaynak yapılmış malzemenin ve kaynağın, muayene esnasında kalıcı olarak şekil değiştirip hasar gördüğü muayene yöntemlerine tahribatlı muayene yöntemleri denir. Çekme testi, basınç testi, eğme testi ve kırma testi tahribatlı muayene yöntemlerinden başlıcalarıdır (Vural 2011).

2.7. Kaynak Yapım Kuralları

Çelik elemanlarda kullanılan kaynak imalatları çoğunlukla çekme ve kesme kuvvetine maruz kalmakta ve elemanlar arasındaki kuvvet aktarımı birleşim elemanlarının dayanımından doğrudan etkilenmektedir.

Çelik elemanlarda kullanılan kaynaklı bağlantılarda kaynak dikişinde ve dikiş ile ana malzeme arasındaki geçiş bölgesinde meydana gelebilecek iç ve dış hatalar, yapının mekanik özelliklerini ve özellikle dinamik yüklemeye yorulma dayanımı düşürmektedir. Birleşim elemanlarında, çatlak ve boşluk gibi iç hatalar mikro yapı bozuklukları meydana getirir. Ayrıca kaynak dikişinde meydana gelen pürüzler ve çukurlar gerilme yığılmaları oluşturarak iç gerilmeleri ortaya çıkarır. Yüzey durumunda, malzemelerin üzeri korozyondan korunma, yüzey pürüzlülüğünü düşürme ve estetik amaçlı (yapının dış görünümünü güzelleştirme) amacı ile yapılan kaplamalar sebebiyle eleman yüzeyinde iç gerilmeler meydana getirir. Bu etkenler, kaynak dayanımını düşürebilir.

Kaynak uygulaması çoğunlukla atölyelerde yapılmaktadır. Kaynak kalitesinin dayanıma doğrudan etkisi olduğu için kaynak uygulamasının kontrollü yapılması ve uygulamanın muayene edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada köşe kaynak uygulanmıştır. Ancak hangi kaynak yöntemi seçilirse seçilsin olması gereken şartlar altında çalışmadığı durumlarda istenmeyen, hatalı kaynaklar elde edilir. Bu nedenle, kaynak yapılan alanın sağlıklı ve uygun olması son derece önemlidir (Oerlikon 2000).

Çelik bir birleşimin atölyedeki imal koşulları incelendiğinde aşağıdaki aşamalardan geçmektedir;

Kaynak Yapım Kuralları;

- Malzeme eğer 16 mm'den daha kalınsa kaynaklanan elemanların ilk pasolarında bazik tipte elektrot kullanılır.
- Yapılan kaynakta 400 mm'den fazla uzunluk hatalı ise o kaynak yenilenir.
- Kaynak dikişinde çatlak olmamalıdır.
- Kaynak dikişi, sürekli ve kesintisiz olmalıdır.
- Kaynak kontrolünde, kaynak muayene yöntemleri kullanılmalıdır.
- Kaynakların tamamı ilk olarak göz muayenesinden geçirilmelidir.
- Atölyede üretilen kaynaklı malzemenin en az yüzde onluk bir kısmı kontrolörce belirlenen bir yapı laboratuvarında ultrasonik testten geçirilmelidir.
- Şantiyede üretilen kaynaklı malzemenin tamamı kontrolörce belirlenen bir yapı laboratuvarında ultrasonik testten geçirilmelidir.
- Kaynaklı malzemenin ölçülerinde $\pm 1\text{mm}$ 'ye kadar tolerans kabul edilebilmektedir.

Tüm bu koşulların sağlanmasıyla yapılan kaynak işlem bittiğinde hataları varsa görebilmek amacıyla muayenesi yapılır. Kaynak işlemindeki hataları engellemek için kaynak yapılacak olan esas metalin kimyasal bileşimi, yüzey temizliği, metalin boyutları, kaynak çeşidi standartlara uygun olmalıdır.

Kaynak muayenesi yapıldıktan sonra kalan kaynak fazlalıklarını temizlemek ve düzgün bir yüzey alanı edinmek için taşlama işlemi yapılır. Taşlamanın uygunluğu için göz ile muayene yeterlidir. Bu işlem bittiğinde malzemelerin boyama işlemi için yüzeyleri temizlenir ve en son olarak da boyanırlar.

Çelik malzemelere yukarıda bahsedilen kaynak işlemi ve boyama işlemi yapılmadan önce kumlama yapılması gerekmez. Malzemenin yüzeyinin paslı ve oksitlenmiş alanlardan, mevcutsa da boya, gres yağı, yapıştırıcı malzemeler gibi malzemenin yüzeyinde var olan tüm yabancı maddelerden arındırılması için kumlama yapılır.

- Kumlama işleminin uygunluğu, Sa2,5 Standardına göre sağlanır.
- Sa2,5 Standardına göre yüzeye büyütme olmaksızın bakıldığında, yüzeyin yaklaşık %95'inin gözle görülebilir her türlü yağ, toz, paslanma ve oksitlenmeden ve diğer yabancı maddelerden tamamen temizlenmiş bir görünümde bulunmalıdır. Diğer %5'lik kısımlar sadece hafif renk farklılıkları, hafif gölgeler ve imalattan kaynaklanan oksitlenme kalıntıları, kumlanmış pürüzlü yüzeyin diplerinde kalmış olan pas ve boya kalıntıları ile kısıtlı kalmalıdır.

• Kumlamalı yüzeyin kontrolü ve değerlendirilmesi için herhangi bir ölçüm aleti yoktur. Yalnızca TS EN ISO 8501-1 standardında bulunan görsel resimlere bakılarak kontrol edilebilir.

• Kumlama işlemi manuel olarak değil, özel olarak bilyeli kumlama makinelerinde yapılmalıdır.

• Kumlama işleminden sonra maksimum 2 saat bekleme süresi içinde astar boya ile yüzey koruması yapılmalıdır ve kumlanmış yüzeyler nemden, her türlü yağdan ve kirden uzak tutulmalıdır (MEB 2012).

Fakat bazı durumlarda atölyede üretilen çelik elemanların şantiye ortamında montaj aşamasında yerlerine yerleştirmeleri güçleşmekte ve bu durumda şantiyede çözüm yoluna gidilmektedir. Bu çözümler sırasında çelik elemanlar oksijen kaynağı ile kesilip hemen orada kontrolsüz bir şekilde birbirlerine kaynaklanmaktadır. Atölyede titizlikle yapılan işlemin şantiye ortamında üstün körü yapılması elemanların ve dolayısıyla birleşimlerin yük taşıma kapasitelerini doğrudan etkilemektedir. Şantiye ortamında yapılan kaynaklar bazen herhangi bir muayeneye bile tabi tutulmamaktadırlar.

Şantiye ortamında yapılan kaynak uygulamalarında, yukarıda bahsi geçen ön işlemlerin ve hassasiyetin gösterilmediği, muayenelerin de yapılmadığı inşaat piyasalarınca bilinmektedir.

Bu çalışmada şantiye ortamında yapılan kaynağın atölye ortamında yapılan kaynaktan yük taşıma kapasitesi bakımından ne kadar farklı olduğu araştırılmıştır.

Bu çalışmada dikkate alınacak çelik elemanların kaynak öncesi yüzey durumları aşağıdaki durumları içermektedir:

1. Yüzeyin orijinal durumu
2. Yüzeyin antipaslı durumu
3. Yüzeyin boyalı durumu
4. Yüzeyin yağla kaplı durumu
5. Yüzeyin kumlama yapılmış durumu

Çalışmada kullanılan yüzey durumlarının detaylı anlatımı tezin ilerleyen kısımlarında bulunan Bölüm 3.2’de açıklanmıştır.

2.8. Literatür Araştırması

(Sevinç 2015) tarafından yapılan bir çalışmada; alüminyum alaşımlı levhalar kullanılmıştır. Kaynak işleminden önce yüzeyler oksit ve yağdan kimyasal temizleme yöntemiyle arındırılmıştır. Kaynak sonrası temizlik paslanmaz tel fırça ile mekanik olarak yapılmıştır. Bir grup levhaya otomatik kaynak makinesi ve diğer gruba da el ile MIG kaynağı yapılmıştır. Tüm levhalara V tipi kaynak ağzına, alın birleştirme şeklinde uygulanmıştır. Levhalara tahribatlı testlerden çekme, eğme ve sertlik testleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, çekme testinde; 5083 alaşımlı alüminyum levhanın 7039 alaşımlı levhadan daha yüksek dayanımlı olduğu belirlenmiştir. Eğilme ve sertlik testlerinde de 5083 alaşımlı alüminyum levhanın 7039 alaşımlı levhadan daha düşük dayanımlı olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada ise deney malzemesi olarak alüminyum levhalar yerine St 37 çelik levha kullanılmıştır. Kaynak öncesi basit temizleme yöntemiyle malzeme yüzeyi arındırılmış, el ile standart elektrik ark kaynağı uygulanmıştır. Uygulamadan sonra benzer bir muayene yöntemi olan tahribatlı deneylerden çekme testi yapılarak kaynak yüzeyinin kaynak dayanımına etkisi değerlendirilmiştir.

(Şık 2004) yaptığı çalışmada; St37-2 çelik levhalar kaynak öncesi yüzey durumunu etkileyecek herhangi bir hazırlıktan geçirilmemiştir. Kaynak sonrası ise AWS ve ANSI esas alınarak gözle muayene edilmiştir. Levhalara 80Ar+18CO₂+2O₂, 88Ar+10CO₂+2O₂ ve 93Ar+5CO₂+2O₂ şeklinde üç çeşit gaz karışımıyla MIG/MAG kaynağı yapılmıştır. Kaynak işleminden sonra tahribatlı muayene yöntemi olarak eğmeli yorulma deneyi yapılmıştır. Deneyin sonucunda 3 farklı gaz karışımı ile yapılan kaynak birleştirmesinde, yorulma dayanımının 88Ar+ 10CO₂+2O₂ gaz karışımında en yüksek çıktığı belirlenmiştir.

Bir diğer çalışmada; gemi inşaatı alanında tercih gören malzemelerden, alüminyum ve çeliğin kaynaklandığındaki farklılıkları incelenmiştir. Hem alüminyum malzemede, hem de çelik malzemede kaynak öncesi yüzey hazırlamanın önemi üzerinde özellikle durulmuştur. Çalışmada, yüzey temizliğinin kaynaktan hemen önce yapılması gerektiği belirtilmiştir. Kaynaklama boyunca ortam şartları (ısı, nem, atmosferdeki parçacıklar v.b.) göz önüne alındığında, temizlik hususu aynı özenle belirli aralıklarla tekrarlanması gerektiği ifade edilmiştir. Bu yüzey temizliğinin; mekanik temizleme, çözücü ile temizleme, kimyasal aşındırma ile temizleme olmak üzere 3 çeşit metodu olduğu anlatılmıştır. Fırçalama, eğeleme, taşlama, zımparalama işlemleri mekanik temizleme olup, eğer kaynak yapılacak yüzeyde yağ, gres gibi kirleticiler var ise mekanik temizleme ile çözücü ile temizleme metodunun birlikte kullanılması tavsiye edilmiştir (Bayındır 2015).

Bu çalışmada benzer şekilde St 37 çelik levha kullanılmıştır. Kaynak öncesi detaylı temizleme yöntemiyle boyalı yüzeyden zımpara ile temizlik yapılarak yüzey arındırılmıştır. Yüzeyde yağ, gres gibi kirleticiler bulunmadığından çözücü ile temizleme gereği duyulmamıştır. MIG/MAG kaynağı yerine standart elektrik ark kaynağı ile kaynak yapılmıştır. Kıyaslama olarak kaynak elektrodu baz alınmamış ve yüzey durumu baz alınmıştır. Kaynak işleminden sonra tahribatlı muayene yöntemlerinden çekme testi yapılarak hangi yüzey durumunda dayanımın en yüksek olduğu değerlendirilmiştir.

(Bayındır 2015) tarafından yapılan çalışmada; astar boyanın yüzeydeki öneminden bahsedilmiştir. Özellikle anti korozyon olan boyaların, epoksi bazlı veya poliüretan bazlı olduğu belirtilmiştir. Çelik yüzeylerde boya yapılırken başlıca iki yöntem önerilmiştir; yüzeye doğrudan uygulama yapılması veya 60-80 mikronluk kuru film tabakası için spreyleme uygulanması belirtilmiştir. Çalışmada son kat boyanın ise epoksi bazlı boya ile yapılabileceği ve bu boyanın ortalama 17°C ile 30°C sıcaklıklar arasında yapılması gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada boyamanın amacının, su veya hava yalıtımı sağlamak ve dış görünüşü iyileştirmek olduğu belirtilmektedir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada, yukarıda anlatılan çalışmaya benzer şekilde çelik yüzeye, korozyonu önleme amaçlı, epoksi bazlı antipas boya kullanılmıştır. Antipas boya yüzeye doğrudan el ile uygulanmıştır. Boya uygulandıktan sonra üreticinin talimatları doğrultusunda kuruması beklenmiştir. Kuruma işleminden sonra üzerine son kat epoksi bazlı boya, boya üreticisinin talimatlarına uyacak şekilde yaklaşık 24 °C sıcaklıkta yapılmıştır. Çalışmamızda boyamanın amacı ise, şantiye ortamına boyalı halde gelen veya şantiye ortamında boyanmış olan çelik elemanların kontrolsüz olarak boya üzerine kaynak yapılması durumundaki çekme dayanım değerinin etkilenmesini incelemektir.

(Kıyak 2008) çalışmalarında; çelik levhaları, su bazlı korozyon önleyici kullanılan ve epoksi bazlı korozyon önleyici kullanılan olmak üzere 2 deney grubuna ayırmıştır. Levhaların yüzeyleri çeşitli boyalar ile kaplanmıştır. Boyanan levhaların kaplama kalitesini ölçebilmek için 0,1M NaCl içeren korozif ortama daldırılarak elektrokimyasal korozyon testleri yapılmıştır. Testler, Voltalab 40 potansiyostat-galvanostat sisteminde yapılmıştır. Deneyin amacı, aşınmaya karşı korozyon durumunu görebilmektir. Sonuçlar incelendiğinde ise, epoksi bazlı boya ile yapılan tüm kaplamaların, su bazlı boya kaplamalarına kıyasla korozyona karşı oldukça iyi dirençli olduğu belirlenmiştir. Su bazlı metal boyaların, çelik yüzeyleri korozyondan yeterince koruyamadığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, çelik levhalar üzerinde yukarıdaki çalışmaya benzer şekilde korozyon önleyici kullanılmıştır. Yukarıdaki çalışmanın sonuçları da göz önünde bulundurularak, su bazlı yerine epoksi bazlı boya kullanımı tercih edilmiştir. Levha yüzeyleri epoksi bazlı boya ile kaplanarak metal yüzeyin yalıtımı iyi şekilde sağlanmıştır. Deneyimizin amacı korozif etkiyi ölçmek değil, şantiye ortamında boyanmış olan veya şantiyeye boyalı halde gelmiş olan çelik elemanların kontrolsüz olarak boya üzerine kaynak yapılması durumundaki çekme dayanım değerinin etkilenmesini incelemektir.

(Koçanoğulları 2015) tarafından yapılan bir çalışmada; sıcak daldırma yöntemi ile elde edilen alüminyum kaplı (galvanize kaplı) çeliklerin, yüksek korozyon dayanımına sahip olduğu belirtilmiştir. Bu yöntemin, malzemenin dış görünüşünü de olumlu yönde etkilemesi nedeniyle sektörde tercih gördüğü anlatılmıştır. Ancak belirtilen diğer önemli husus da bu yöntemin bazı dezavantajlarının olmasıdır. Bunlardan bazılarının; sıvı alüminyumun metaller ile kolayca reaksiyona girmesi nedeniyle, daldırılan parçaların korozyona uğraması, sıcak daldırmadaki yüksek sıcaklığın malzemenin ömrünü kısaltması, sıcak daldırma sırasında çeliğin oksitlenmesi şeklinde anlatılmıştır. Bu gibi dezavantajları elimine edebilmek için koruyucu metal kaplama kullanılması, koruyucu gazlar kullanılması ve koruyucu flakslar (alkali ve toprak alkali metallerin klorür veya florürleri vb.) kullanılması şeklinde bazı yöntemler önerilmiştir. Bu şekilde koruyucu

önlemler alınarak kimyasal bileşimindeki karbon oranlarına göre dört farklı demir esaslı metal parçalar 2 gruba ayrılmıştır. Birinci grupta yüzeyler farklı sıcaklık ve sürelerde galvanize kaplama yapılmıştır. İkinci grupta yüzeyler sırası ile 240, 400, 600, 800 ve 1200 zımpara kullanılarak parlatılmıştır. Bu çalışmada kaplama öncesi yüzey hazırlama işlemlerinin kaplama özellikleri üzerinde doğrudan etkisi olduğu belirtilmiş olup bu işlemlere dikkat edilmediği koşullarda kaplama üzerinde pullanma ve çatlama ile birlikte kopmalar olduğu belirtilmiştir.

Çalışmamızda yukarıdaki çalışmadan farklı olarak 2 grup yerine 5 grup kullanılmıştır. Gruplardan birinde benzer şekilde metalin yüzeyi 300 no.lu zımpara ile parlatılmıştır. Yukarıdaki çalışmada gruplar arasındaki korozyon durumu zaman-kütle olarak ölçülmüştür. Bizim çalışmamızda ise gruplar arasındaki yüzey durumunun kaynak kalitesine etkisi ve çekme dayanım değerleri, köşe kaynak yapılan metal levhalar üzerinde tahribatlı testlerden olan çekme testi yapılarak incelenmiştir. Yapılan her iki çalışmada da oldukça ortak nokta olmakla birlikte özellikle yüzey hazırlama işlemlerinin metaller üzerinde doğrudan etkisi olduğu belirlenmiştir.

Yapılan diğer bir çalışmada; kırsal ve rutubetli bir ortamda, çelik taşıyıcı sisteme sahip, bir tesis inşa edilmek istenmiştir. Bu tesiste kullanılan çelik sac levhalar, yüzeyleri boyalı ve yüzeyleri sıcak daldırma galvanizle kaplı olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. İlk olarak maliyet açısından boya daha ekonomik hesaplanmıştır. Ancak yapının ömrünün ortalama 100 yılı geçtiği belirtilmiştir. Yapının bu ömrü de göz önünde bulundurulduğunda, boya uygulamasının getirdiği bakım masrafları da boya maliyetine eklenmiştir. Bu eklemelerin sonucunda çalışmada sıcak galvanize kaplama daha ekonomik bulunmuştur (Kaftan 2006).

(Kaftan 2006) tarafından yapılan çalışmada; metal yüzeylerde kum püskürtme ile temizleme (kumlama) yönteminin kullanılarak, pas, kir, gibi istenmeyen maddelerin giderilip boya için uygun olan 25-75 µm. arasında bir pürüzlülük oluşturduğu belirtilmiştir. Çeşitli yöntemlerle yapılan kumlamanın günümüzde en çok tercih edilen yönteminin makine ile kumlama işlemi olduğu belirtilmiştir. Çalışmadaki çelik elemanların kumlanması esnasında, hatasız istenen yüzey durumu için gösterilen özeni, makinenin çok yavaş çalıştırılması, 7 m. uzunluğundaki metal profilin 9 dakikada makineden işlenerek çıkması ile anlatılmıştır. Kumlama işleminin kaynaktan sonra ve boyadan önce yapıldığı belirtilmiştir.

Bu çalışmada ise benzer şekilde metal yüzeye 25-75 µm. arasında makine ile kumlama yapılmıştır. Ancak yukarıdaki çalışmada özellikle üzerinde durulan durum olan kumlamanın kaynaktan sonra ve boyadan önce yapılmasının ancak atölye ortamında mümkün olduğu görülmüştür. Çalışmamızda şantiye ortamındaki yapılan kaynak ve atölye ortamındaki kaynak dayanımı kıyaslanmış olduğundan, metal levhalarımız kaynaktan önce kumlama işlemine tabi tutulmuştur.

Yapılan diğer bir çalışmada; Co-Cr metal alaşımının iki farklı teknikte lehimlenerek tahribatlı muayene yöntemlerinden çekme testi yapılarak dayanımı ölçülmüştür. 18 adet yekpare olarak dökülen metal alaşım numune 3 gruba ayrılmıştır. 1. gruptaki numuneler tek parça halinde bırakılmıştır. 2.ve 3. Gruptaki numuneler tam ortalarından ikiye bölünmüştür. Numunelerin bölünmüş kısımlarına 50//m SiO₂ ile

kumlama yapılmıştır ve temizlenmiştir. Eşit 2 parçaya bölünmüş olan metal numunelere ortasından 0,5 mm çapında lehim yapılmıştır. 2. grupta lehim çeşidi olarak gaz/oksijen kaynağı uygulanmıştır. 3. grupta lehim çeşidi olarak lazer kaynağı uygulanmıştır. Tüm gruplara instron test makinesi ile çekme testi uygulanmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında en yüksek çekme dayanımı kaynak işlemi yapılmamış olan 1.grupta bulunmuştur. Lazer kaynağı yapılmış olan 3. gruptaki numuneler, gaz kaynağı yapılmış olan 2. gruptaki numunelerden daha yüksek çekme dayanımı göstermiştir, ancak aralarında istatistiksel olarak fark bulunamamıştır (Yazıcıoğlu 2001).

Bu çalışmada ise, materyal olarak St 37 çeliğinden yapılmış levhalar kullanılmıştır. Levhalar tek bindirmeli ve çift bindirmeli olarak 2 gruba ayrılmıştır. Her bir gruba 5 farklı yüzey durumunda standart elektrik ark kaynağı ile köşe kaynağı yapılmıştır. Bu 5 farklı yüzey grubundan biri de yukarıda benzer şekilde yapıldığı gibi kumlanmış yüzeydir. Deney numuneleri kumlama yöntemiyle yaklaşık 25-75 µm. arasında bir pürüzlülüğe getirilmiştir. Numunelere, çekme deneyi yapılarak deney elemanlarının kapasitesi belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Giriş

Çelik birleşimi, atölyelerde imal edildiğinde, Bölüm 2.5’te anlatılan yöntemlerden biri ile kontrol edilir.

Atölye koşullarındaki üretimlerde yukarıdaki bölümde bahsedilen muayene koşullarının sağlanması oldukça rahat olmakla birlikte yapılması da zorunlu olarak kabul edildiğinden oldukça önem verilmektedir. Ancak, imalatın bazı koşullarda şantiyelerde yapılması gerekmektedir ve bu durumlarda, ne yukarıda sayılan muayene yöntemlerine ne de Bölüm 2.7’de anlatılan kaynak uygulama metotlarına gereken önem verilmemektedir. Bu çalışmada kaynak ile birleşimi yapılacak olan çelik plakaların yüzey durumlarının, kaynak dayanımına ne ölçüde etkisi olduğu konusu deneysel olarak araştırılmıştır.

3.2. Deney Elemanlarının Detayları

Bu çalışma, çelik yapılarda uygulanan birleşim çeşitlerinden en çok kullanılan yöntemlerden biri olan kaynak tekniğinde, kaynak kalitesini ve dayanımını etkileyen faktörler arasında, sürekli göz önünde olan ancak yeterli önem verilmeyen yüzey durumunun etkisini incelemektedir.

Çalışma kapsamında iki ve üç parçadan oluşan çelik plakalar için, laboratuvar ortamında beş farklı şekilde çelik yüzeyi oluşturulmuştur.

Deney elemanları aşağıdaki yüzey durumları göz önüne alınarak üretilmiştir:

1.Yüzeyin orijinal durumu: Çelik plakaların üretim bandından geldiği haline hiçbir işlem yapılmadan direkt kaynak uygulaması yapılmıştır.

2.Yüzeyin anti paslı durumu: Çelik eleman ön ve arka yüzeyi kaynağın yapılacağı bölgenin her iki kenarına doğru 5 cm genişliğindeki alan toz kir ve yağdan kuru bezle el ile silinerek arındırılmıştır. Üzerine 1 kat antikoroziy epoksi astar boya, kaynak yapılacak kısımdan itibaren 5 cm genişliğe kadar boya fırçası ile yaklaşık 60 mikron kalınlığında uygulanmıştır.

3.Yüzeyin boyalı durumu: Çelik plakaların ön ve arka yüzeyleri, kaynak yapılacak kısımdan itibaren 5 cm genişliğindeki alan kuru bezle el ile silinmiştir. Bu 5 cm genişliğindeki bölgeye 1 kat (yaklaşık 50 mikron kalınlığında) antikoroziy epoksi astar boya ve üzerine de 2 kat (yaklaşık 100 mikron kalınlığında) solvent içerikli epoksi boya, boya fırçası ile toplamda yaklaşık 150 mikron kalınlığında uygulanmıştır.

4.Yüzeyin yağlanmış durumu: Çelik plakaların ön ve arka yüzeylerine kaynak yapılacak kısımdan itibaren 5 cm genişliğindeki yüzeyine makina yağı ile yağlanmıştır.

5.Yüzeyin kumlama yapılmış durumu: Çelik plakaların ön ve arka olmak üzere tüm yüzeyine ISO 8501-1 Sa2,5 Standardı kalitesinde kumlama makinası ile kumlama uygulanmıştır.

Bu hususlar, Antalya ili ve yakın çevresinde yapılan piyasa araştırması sonucunda çelik yapılarda en çok kullanılan yüzey malzemelerine istinaden belirlenmiştir.

Deneysel çalışma kapsamında tek bindirmeli ve çift bindirmeli kaynak detayları kullanılmıştır. Tek bindirmelide iki plaka birbirine kaynaklanmıştır. Çift bindirmede ise yine iki plaka üçüncü bir ek plaka ile birbirine kaynaklanmıştır. Kaynaklama işlemi yapılmadan önce yukarıda belirtilen beş farklı yüzey durumu deney elemanları için hazırlanmıştır. Bu plakalar Antalya ilinde profesyonel çelik imalatı yapan iki firmaya gönderilmiştir. Bu firmalar tez kapsamında “A” ve “B” olarak adlandırılmıştır.

Plakalar, kaynak üretimi yapan firma tarafından köşe kaynak ile birleştirildikten sonra, laboratuvarında aksel yük altında çekme testine tabi tutulmuştur. Daha sonra yalnızca tek bindirmeli bağlantı elemanlarından oluşan bir gruba, deneyden sonra ikinci kez aynı metotla kaynak uygulaması yapılmış ve tekrar çekme testi uygulanmıştır. Bu durumda kaynak yırtılması gözlenen herhangi bir birleşime tekrar kaynak yapılması durumunda kaynak kalitesinin nasıl değiştiği incelenmiştir.

Her bir gruptaki deney numunelerinin adetleri Çizelge 3.1’de, adlandırması Çizelge 3.2’de verilmiştir. Deney numunelerinin adlandırmasının açıklaması Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi her bir yüzey durumu için aynı firmadaki kaynak yapan işçiye iki numune kaynatılmıştır.

Çizelge 3.1. Deney numunelerinin adetleri

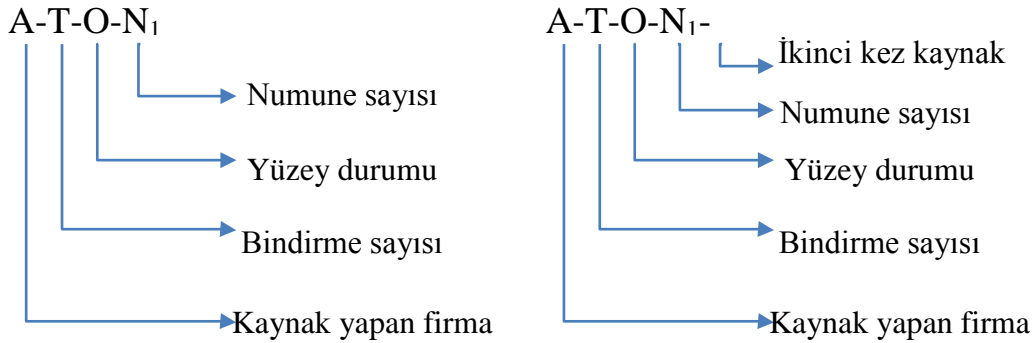
Yüzey Durumu	Firma Adı	Tek Bindirmeli bağlantı	Çift Bindirmeli bağlantı	İkinci kez kaynak yapılmış malzeme
Orijinal	A	2	2	1
	B	2	2	1
Antipaslı	A	2	2	1
	B	2	2	1
Boyalı	A	2	2	1
	B	2	2	1
Yağlı	A	2	2	1
	B	2	2	1
Kumlamalı	A	2	2	1
	B	2	2	1
Toplam	-	20	20	10

Deney numunelerinin kısaltmalarının açıklamaları aşağıdaki gibidir;

- A: A firması
- B: B firması
- T: Tek bindirmeli bağlantı
- Ç: Çift bindirmeli bağlantı
- O: Orijinal yüzey
- A: Antipaslı yüzey
- B: Boyalı yüzey
- Y: Yağlı yüzey
- K: Kumlamalı yüzey
- N₁: Birinci numune
- N₂: İkinci numune
- İ: İkinci kez kaynak yapılması

Çizelge 3.2. Deney numunelerinin adlandırılması

Yüzey Durumu	A firması, Tek Bindirmeli bağlantı, 1.numune ve 2. numune	A firması, Çift Bindirmeli bağlantı, 1.numune ve 2. numune	B firması, Tek Bindirmeli bağlantı, 1.numune ve 2. numune	B firması, Çift Bindirmeli bağlantı, 1.numune ve 2.numune	A firması, Tek bindirme, İkinci kez kaynak yapılmış numune	B firması, Tek bindirme, İkinci kez kaynak yapılmış numune
Orijinal	A-T-O-N ₁ ve A-T-O-N ₂	A-Ç-O-N ₁ ve A-Ç-O-N ₂	B-T-O-N ₁ ve B-T-O-N ₂	B-Ç-O-N ₁ ve B-Ç-O-N ₂	A-T-O-N ₁ -İ	B-T-O-N ₂ -İ
Antipaslı	A-T-A-N ₁ ve A-T-A-N ₂	A-Ç-A-N ₁ ve A-Ç-A-N ₂	B-T-A-N ₁ ve B-T-A-N ₂	B-Ç-A-N ₁ ve B-Ç-A-N ₂	A-T-A-N ₂ -İ	B-T-A-N ₂ -İ
Boyalı	A-T-B-N ₁ ve A-T-B-N ₂	A-Ç-B-N ₁ ve A-Ç-B-N ₂	B-T-B-N ₁ ve B-T-B-N ₂	B-Ç-B-N ₁ ve B-Ç-B-N ₂	A-T-B-N ₁ -İ	B-T-B-N ₂ -İ
Yağlı	A-T-Y-N ₁ ve A-T-Y-N ₂	A-Ç-Y-N ₁ ve A-Ç-Y-N ₂	B-T-Y-N ₁ ve B-T-Y-N ₂	B-Ç-Y-N ₁ ve B-Ç-Y-N ₂	A-T-Y-N ₁ -İ	B-T-Y-N ₂ -İ
Kumlmalı	A-T-K-N ₁ ve A-T-K-N ₂	A-Ç-K-N ₁ ve A-Ç-K-N ₂	B-T-K-N ₁ ve B-T-K-N ₂	B-Ç-K-N ₁ ve B-Ç-K-N ₂	A-T-K-N ₁ -İ	B-T-K-N ₂ -İ

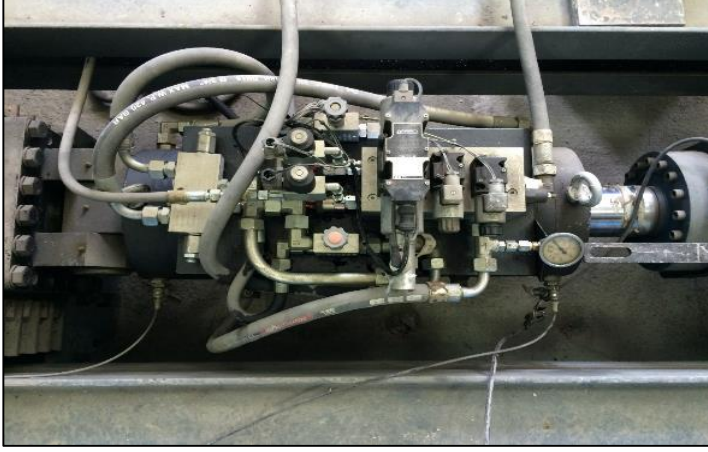


Şekil 3.1. Deney numunelerinin adlandırılmasının açıklanması

3.3. Deney Elemanlarının Tasarımı

St37 kalitesindeki çelik plakalar, öncelikle sabit plakalar ve değişken plakalar olarak iki şekilde tasarlanmıştır. Bu şekilde yapılmasındaki amaç, üniversitemizin yapı laboratuvarında mevcut olan Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te görülen yükleme sisteminin kullanılacak olmasıdır. Eksenel istemleri uygulayabilecek 1000 kN kapasiteye sahip deplasman kontrollü pistondan oluşan bu yükleme sistemi, 350x3790 mm en ve açıklığa sahip olduğu için deney düzeneğine uyum sağlama ve optimum malzeme kullanmak amacıyla, yükleme sisteminde sabit bir kısım oluşturulmuştur. Sabit kısma ek olarak, değişken kısımlar takılıp çıkartılarak, deneyler değişken kısım üzerinden devam ettirilmiştir. Sabit parçaların çizimleri Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'te, değişken parçaların çizimleri Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'te görülmektedir.

Deney elemanlarından, değişken bağlantı plakalarının geometrisi incelendiğinde (Şekil 3.9 ve Şekil 3.10), eni 300 mm olan dikdörtgen bir geometri yerine, eni 300 mm'den 250 mm'ye doğru küçülerek meydana gelen geometri tercih edilmiştir. Bu durumda, kaynak bağlantısı yapılacak olan deney elemanlarının yüzey alanında üniform yük dağılımının oluşturulması hedeflenmiştir.



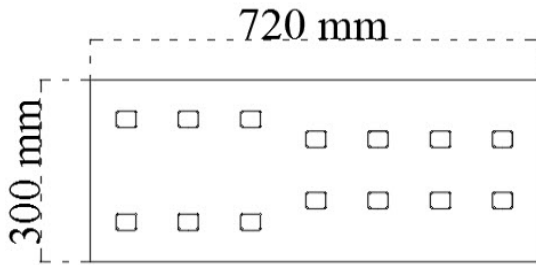
Şekil 3.2. Yükleme sistemi (deplasman kontrollü piston)



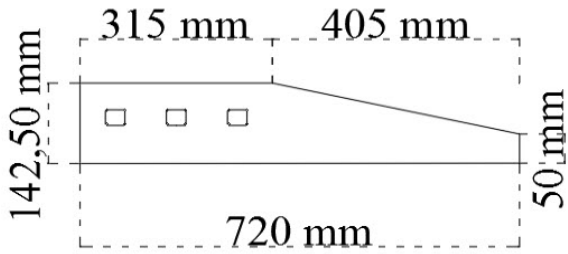
Şekil 3.3. Yükleme sistemi ve deney düzeneği (pistonun karşı tarafından görünüşü)



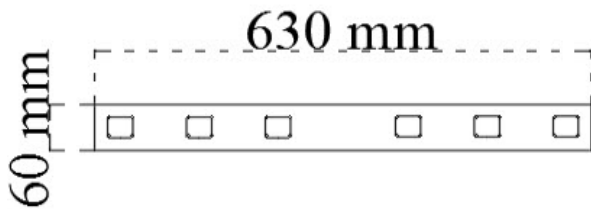
Şekil 3.4. Yükleme sistemi ve deney düzeneği (piston tarafından görünüş)



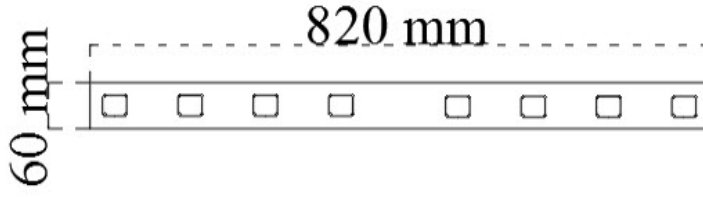
Şekil 3.5. Sabit plakalar (yatay plakalar)



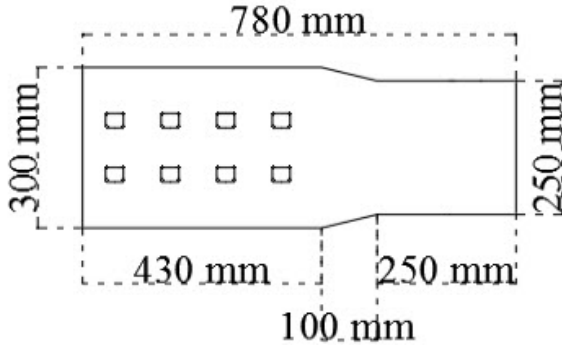
Şekil 3.6. Sabit plakalar (dikey plakalar)



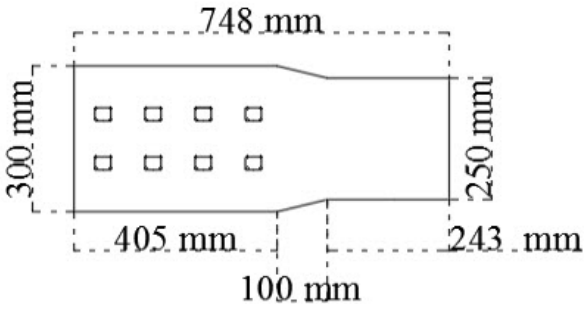
Şekil 3.7. Sabit plakalar (sabit kısım için bağlantı plakaları)



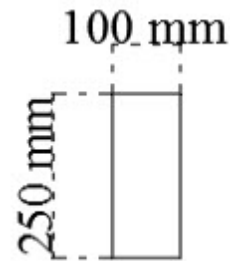
Şekil 3.8. Sabit plakalar (değişken kısım için bağlantı plakaları)



Şekil 3.9. Değişken plakalar (tek bindirmeli bağlantı plakaları)

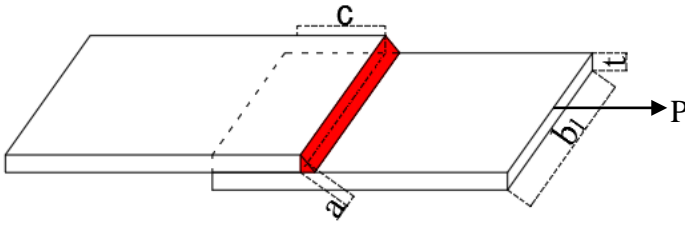


Şekil 3.10. Değişken plakalar (çift bindirmeli bağlantı plakaları)



Şekil 3.11. Değişken plakalar (çift bindirmeli bağlantı ara plakaları)

Kaynaklı birleşimin çelik malzeme yerine kaynaktan kopması aşağıdaki hesaplamalara göre sağlanmış olan kaynaklı birleşimlerin Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te boyutları görülmektedir.



Şekil 3.12. Tek bindirmeli kaynak birleşiminde kullanılan ölçüler

Kaynak boyu;

$$b_1 = 250 \text{ mm}$$

Kaynak kalınlığı;

$$a_{\min} = 3 \text{ mm} \leq 0,7 t_{\min} \text{ (TS 3357)} \quad (3.1)$$

$$3 \text{ mm} \leq a \leq 0,7 \times 10 \text{ mm}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

Kaynak toplam uzunluğu;

$$100a \geq \Sigma l \geq 15a \text{ (İMO 2005, TS 3357)} \quad (3.2)$$

$$\Sigma l = t = 10 \text{ mm}$$

Bindirme boyu;

$$25 \text{ mm} \leq c \leq 5t_{\min} \text{ (İMO 2005)} \quad (3.3)$$

$$c = 50 \text{ mm}$$

Kaynak hesap boyu;

$$l = (b_1 \times t) - 2a \text{ (TS 3357)} \quad (3.4)$$

$$l = (250 \times 10) - 2 \times 5 = 240 \text{ mm}$$

Kaynak alanı;

$$F_k = \Sigma(a \times l) \quad (3.5)$$

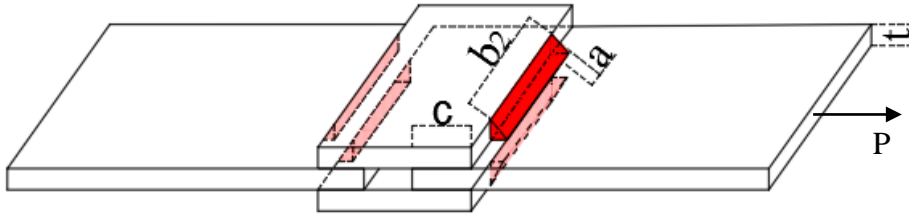
$$F_k = 5 \times 240 = 1200 \text{ mm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_k \\ \tau_k \end{array} \right] = \frac{P}{F_k} \leq \frac{\sigma_{kem}}{\tau_{kem}} \quad (3.6)$$

$$\text{St37 için } \sigma_{kem} = 1100 \text{ kg/cm}^2 = 0,10787315 \text{ kN/mm}^2$$

Kaynak kapasitesi;

$$P \leq F_k \times \sigma_{kem} \leq 1200 \times 0,10787315 \leq 129,45 \text{ kN bulunur.}$$



Şekil 3.13. Çift bindirmeli kaynak birleşiminde kullanılan ölçüler

Kaynak boyu $b_2 = 150 \text{ mm}$

Kaynak hesap boyu Denklem (3.4)'ten;

$$l = (150 \times 10) - 2 \times 5 = 140 \text{ mm}$$

Kaynak alanı Denklem (3.5)'ten;

$$F_k = 2 \times 5 \times 140 = 1400 \text{ mm}^2$$

Kaynak kapasitesi Denklem (3.6)'dan;

$$P \leq F_k \times \sigma_{kem} \leq 1400 \times 0,10787315 \leq 151,02 \text{ kN}.$$

Kullanılan elektrot çubuğunun akma dayanımı 460 N/mm^2 ve çekme dayanımı 530 N/mm^2 'dir. İMO-01.R/2005, Tablo2.2'ye göre;

$$\sigma_{em} = \text{İlave metalin çekme mukavemeti} \times 0,30 \quad (3.7)$$

Tek bindirmeli bağlantı için;

$$P_k \leq F_k \times \sigma_{em} \times 0,30 \leq 1200 \times 0,53 \times 0,30 \leq 190,8 \text{ kN bulunur.}$$

Çift bindirmeli bağlantı için;

$$P_k \leq F_k \times \sigma_{em} \times 0,30 \leq 1400 \times 0,53 \times 0,30 \leq 222,6 \text{ kN bulunur.}$$

Tek bindirmeli bağlantı için;

$$P_k \leq F_k \times \sigma_{kem} \leq 1200 \times 0,53 \leq 636 \text{ kN bulunur.}$$

Çift bindirmeli bağlantı için;

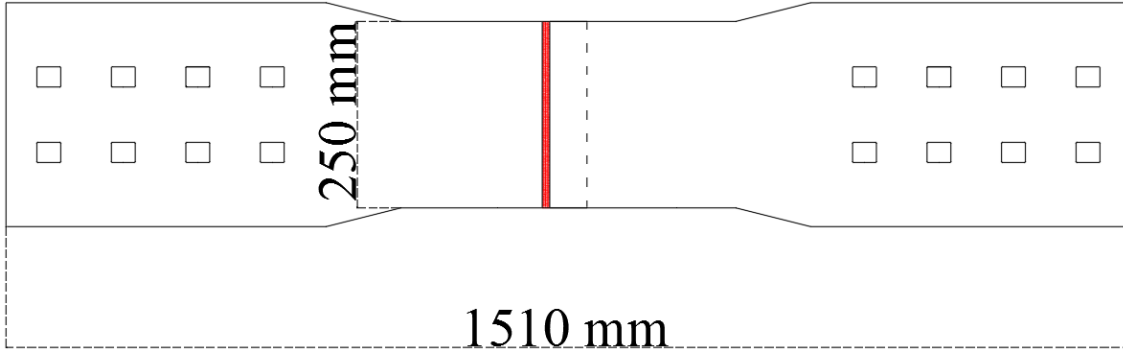
$$P_k \leq F_k \times \sigma_{kem} \leq 1400 \times 0,53 \leq 742 \text{ kN bulunur.}$$

Kullanılan St37 çelik plakaların TS 648'e göre akma dayanımı 235 N/mm^2 ve çekme dayanımı $363-491 \text{ N/mm}^2$ 'dir.

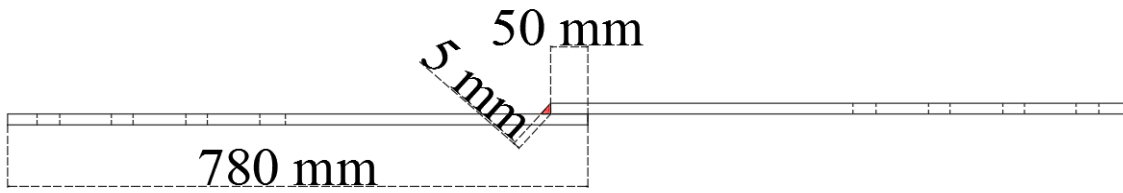
$$P \leq F \times \sigma_{em} \leq 2400 \times 0,363 \leq 871,2 \text{ kN bulunur.}$$

Yukarıdaki hesaplamalardan görüleceği üzere, tasarlanan kaynak boyutları ve kapasitesi, TS 648'e göre güvenli tarafta kalmaktadır. Yapılan tasarıma göre kaynak birleşimlerinden beklenen kapasite ortalama 600 kN ile 700 kN arasında olmalıdır.

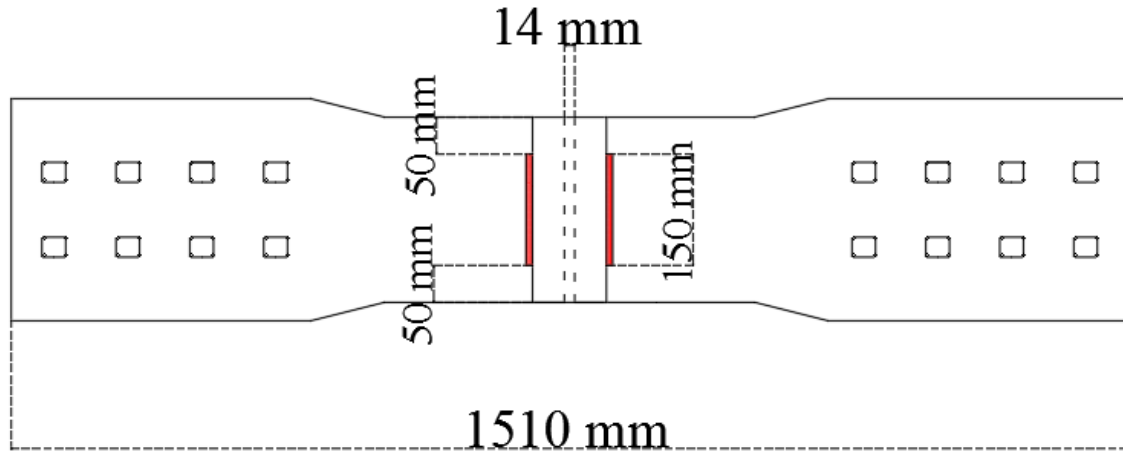
Kaynaklı birleşimler Şekil 3.14, Şekil 3.15, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'da taralı alanda gösterilmiştir.



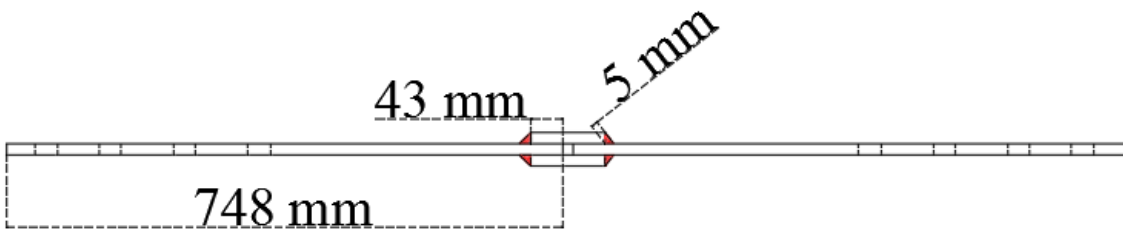
Şekil 3.14. Tek bindirmeli bağlantıda kaynak boyutları(üst görünüş)



Şekil 3.15. Tek bindirmeli bağlantıda kaynak boyutları(yan görünüş)



Şekil 3.16. Çift bindirmeli bağlantıda kaynak boyutları(üst görünüş)



Şekil 3.17. Çift bindirmeli bağlantıda kaynak boyutları(yan görünüş)

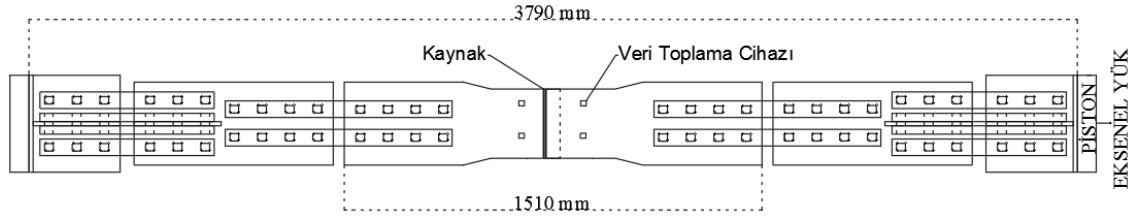
Tek bindirmeli bağlantı elemanlarının her birine kaynak kalınlığı 5 mm, kaynak boyu 250 mm olacak şekilde bir adet köşe kaynağı olacak şekilde tasarlanmıştır. Tek bindirmeli bağlantılı bir elemenda toplam kaynak uzunluğu 250 mm'dir. Çift bindirmeli bağlantı elemanlarının her birine kaynak kalınlığı 5 mm, kaynak boyu 150 mm olacak şekilde dört adet köşe kaynağı tasarlanmıştır. Çift bindirmeli bağlantılı bir elemenda toplam kaynak uzunluğu 600 mm'dir.

Ayrıca, yukarıdaki belirtilen kaynak malzemeleri ve kaynak boyutları kullanılarak, tasarımı yapılan plakalardan deneme amaçlı iki adet tek bindirmeli bağlantı ve iki adet de çift bindirmeli bağlantılı deney düzeneği oluşturulmuş ve yükleme sisteminde ön deneme testleri yapılmıştır. Ön deneme testlerinde malzemelerin kaynaktan hasar gördüğü gözlenmiştir. Bu ön testler, deneye ön hazırlık aşaması amacı ile yapılmış olup, tasarımı yapılan deney elemanlarının kaynak kopmasının kesinleştirilmesi amacıyla yapılmıştır.

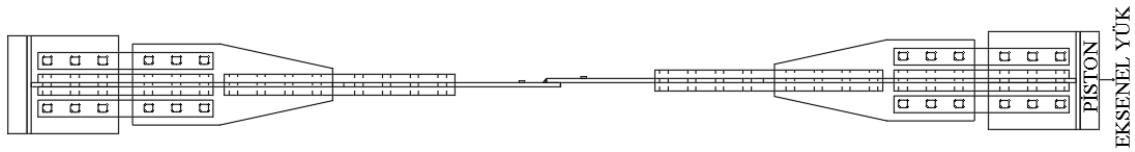
3.4. Deney Elemanlarının Üretimi ve Deney Öncesi Hazırlıklar

Plakalar, Antalya ili içerisinde çelik konstrüksiyon işi yapan kurumsal iki firmada kaynatılmıştır. Plakaların tamamının yapısal olarak aynı özellikte olması amacıyla tek bir firmadan temin edilmiştir.

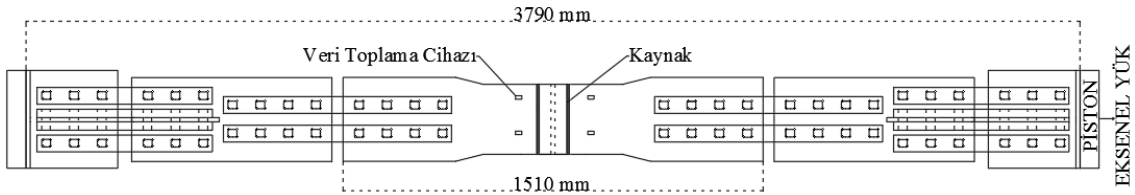
Üretimi yapılan plakaların çizimleri Şekil 3.18, Şekil 3.19, Şekil 3.20 ve Şekil 3.21'teki gibidir.



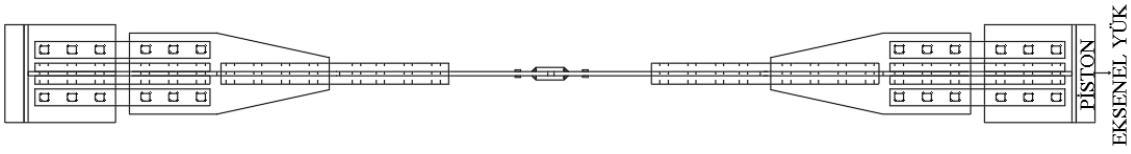
Şekil 3.18. Tek bindirmeli bağlantıda kaynak düzeneği üst görünüş



Şekil 3.19. Tek Bindirmeli kaynak düzeneği yan görünüş



Şekil 3.20. Çift bindirmeli kaynak düzeneği üst görünüş



Şekil 3.21. Çift bindirmeli kaynak düzeneği yan görünüş

Üretilmiş plakalardan sabit plakalar, yükleme sistemine sabit olarak yerleştirilmek amacıyla, bağlantı birleşimleri yapılarak hazırlanmıştır (Şekil 3.22 ve Şekil 3.23).



Şekil 3.22. Sabit plakaların birleşimi (bağlantı elemanlarının montajından önce)



Şekil 3.23. Sabit plakaların birleşimi (bağlantı elemanlarının montajından sonra)

Bağlantı detayları tamamlanarak hazırlanmış olan sabit kısımlar, yükleme sistemine yerleştirilmiştir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Sabit plakaların montajı

DeneySEL çalışmada esasen incelenecek olan değişken kısımlar ise Bölüm 3.2’de deney elemanlarının detaylarının anlatıldığı şekilde gruplara ayrılmış ve yüzey işlemleri yapılmıştır.

Beş farklı yüzey durumu oluşturulan değişken plakalara, Antalya ili içerisinde çelik konstrüksiyon işi yapan iki ayrı kurumsal firmada kaynak işlemi yapılmıştır. Kaynaklı birleşimde Şekil 3.25 ve Şekil 3.26’te görülen bazik örtülü elektrot kullanılmıştır. Seçilen elektrot tipi, şantiye uygulamalarında sıklıkla kullanılan tipik östenitik paslanmaz çelik esastır. Kaynak işçiliği işlemi esnasında kullanılan kaynak elektrotu tek bir paketten oluşmaktadır. Dolayısı ile kaynak kalitesinin ilk aşaması olan elektrot bütün kaynaklarda aynıdır. Bütün kaynak birleşimleri A ve B firmalarında çalışan işçiler tarafından yapılmıştır. Dolayısı ile A ve B firmalarında yapılan her kaynak işçiliği kendi içinde değişiklik göstermemektedir.



Şekil 3.25. Kullanılan elektrot paketi



Şekil 3.26. Kullanılan elektrot çubuğu

Çelik plakalar, Şekil 3.27'deki akım üretici ile 180 A akım uygulanarak elektrik ark kaynağı yöntemi ile birleştirilmiştir.



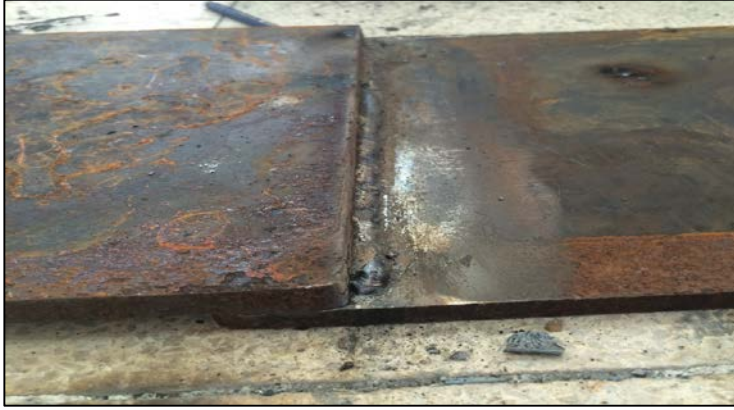
Şekil 3.27. Elektrik ark kaynağı üretici

Sonuç olarak, A firması ve B firması olarak adlandırılan bu firmalarda yapılan kaynak işleminin değişken bir parametre göstermemesi amacıyla, yukarıda gösterilen aynı çubuk elektrot, aynı kaynak makinası ve aynı akım şiddeti kullanılmıştır. Kaynak kalınlığı 5 mm olacak şekilde, her kaynak tek paso yapılmıştır. İşçiliğin mümkün mertebede aynı seviyede kalması hedeflenerek; A firmasında yapılan kaynak işlemi tek bir A firması çalışanı tarafından, B firmasında yapılan kaynak işlemi tek bir B firması çalışanı tarafından yapılmıştır.

Tek bindirmeli bağlantılı deney elemanlarının bir kaynak yüzeyine standart elektrik ark kaynağı ile köşe kaynaklı birleşim uygulanmıştır. Kaynak boyutları ve detayları Bölüm 3.2'de deney elemanlarının tasarımının anlatıldığı şekilde ve özelliklerde, A firması ve B firmasında yapılmıştır. Birleşimi yapılan elemanlar Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'de görülmektedir.



Şekil 3.28. Tek bindirmeli bağlantı üst görünüş



Şekil 3.29. Tek bindirmeli bağlantı yan görünüş

Çift bindirmeli bağlantılı deney elemanlarının dört kaynak yüzeyine standart elektrik ark kaynağı ile köşe kaynaklı birleşim uygulanmıştır. Kaynak boyutları ve detayları Bölüm 3.2’de deney elemanlarının tasarımının anlatıldığı şekilde ve özelliklerde, A firması ve B firmasında yapılmıştır. Birleşimi yapılan elemanlar Şekil 3.30 ve Şekil 3.31’de görülmektedir.



Şekil 3.30. Çift bindirmeli bağlantı üst görünüş



Şekil 3.31. Çift bindirmeli bağlantı yan görünüş

Kaynaklı birleşimleri tamamlanan deney elemanlarına, Şekil 3.32’de gösterilen yapıştırıcı ile Şekil 3.33’de gösterilen gerinim ölçerler yapıştırılmıştır. Her bir plakanın üst yüzeyine kaynak bitiminden 5 cm uzaklığa iki adet olmak üzere bir test elemanında toplam dört adet gerinim ölçer bulunmaktadır. Tek bindirmeli bağlantılı deney düzeneğinde gerinim ölçerlerin yapıştırılmış hali Şekil 3.34’te görülmektedir. Tek bindirmeli bağlantılı deney düzeneğinde gerinim ölçerlerin yapıştırılmış hali Şekil 3.35’te görülmektedir. Gerinim ölçerler, çelik plakalar üzerindeki birim şekil değiştirmeleri inceleyebilmek adına kullanılmıştır.



Şekil 3.32. Kullanılan gerinim ölçer yapıştırıcısı



Şekil 3.33. Kullanılan gerinim ölçerler



Şekil 3.34. Tek bindirmeli bağlantıda gerinim ölçerler



Şekil 3.35. Çift bindirmeli bağlantıda gerinim ölçerler

Deney öncesi tüm hazırlıkları tamamlanan tek bindirmeli bağlantılı deney numuneleri, Şekil 3.36'de görüldüğü gibi yükleme sistemine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.36. Yükleme sistemine yerleştirilmiş tek bindirmeli elemanların testten önceki son durumu



Şekil 3.37. Yükleme sistemine yerleştirilmiş çift bindirmeli elemanların testten önceki son durumu

3.5. Deneysel Elemanların Test Edilmesi

Hazırlıkları tamamlanan deneysel numunelerinin test edilmesine A firmasının kaynak yapmış olduğu numunelerden başlanmıştır. Test metodu olarak, kaynak muayene yöntemlerinden olan tahribatlı yöntemlerden çekme testi uygulanmıştır. Uygulanmış olan aksiyel yük, deneysel elemanlarına tek taraftan uygulanmıştır. Yükün değeri, piston üzerine yerleştirilen yük hücresi ile ölçülmüştür.

Öncelikle A firmasının yapmış olduğu tek bindirmeli bağlantılı elemanlar, yük taşıma sistemine yerleştirilmiştir ve tahribatlı test yapılmıştır. A firması tarafından yapılan tek bindirmeli birleşimli bağlantı elemanları Şekil 3.38'de görülmektedir. Bu numuneler arasında A-T-B-N₁ ve A-T-B-N₂ numunelerinin kaynak yapısında porozite olduğu görülmektedir. Poroziteli kaynaklı birleşimde kaynak kalınlığı dışarıdan ölçüldüğünde istenilen kalınlıkta olmasına rağmen, kaynak iç yapısında boşluklar bulunduğu için, kaynaklı birleşimlerde arzu edilmeyen bir durumdur.

A firmasının yapmış olduğu tek bindirmeli bağlantılı test yapılmış ve tahribata uğramış olan deney elemanlarından orijinal, antipaslı, boyalı, yağlı ve kumlmalı yüzeylerden birer adet olmak üzere toplamda beş adet elemana yerinde yeniden kaynak yapılmıştır. Yeniden yapılan kaynak, ilk kaynak bağlantısı ile aynı özelliklerdedir. İlk kaynak bağlantısı temizlenmeden hasar görmüş kaynak birleşiminin üzerine uygulanmıştır. Bu işlem için kaynak yüzey temizliği yapılmamıştır. Kopan kaynak, tekrar kaynak ile birleştirilmiştir. İkinci kez kaynak uygulaması yapılan grup elemanlarına yeniden aynı koşullarda çekme testi ile tahribatlı muayene yapılmıştır.

Ardından A firmasının yapmış olduğu çift bindirmeli bağlantılı elemanlar, yükleme sistemine yerleştirilmiştir ve test yapılmıştır. A firması tarafından yapılan çift bindirmeli birleşimli bağlantı elemanları Şekil 3.39'de görülmektedir.

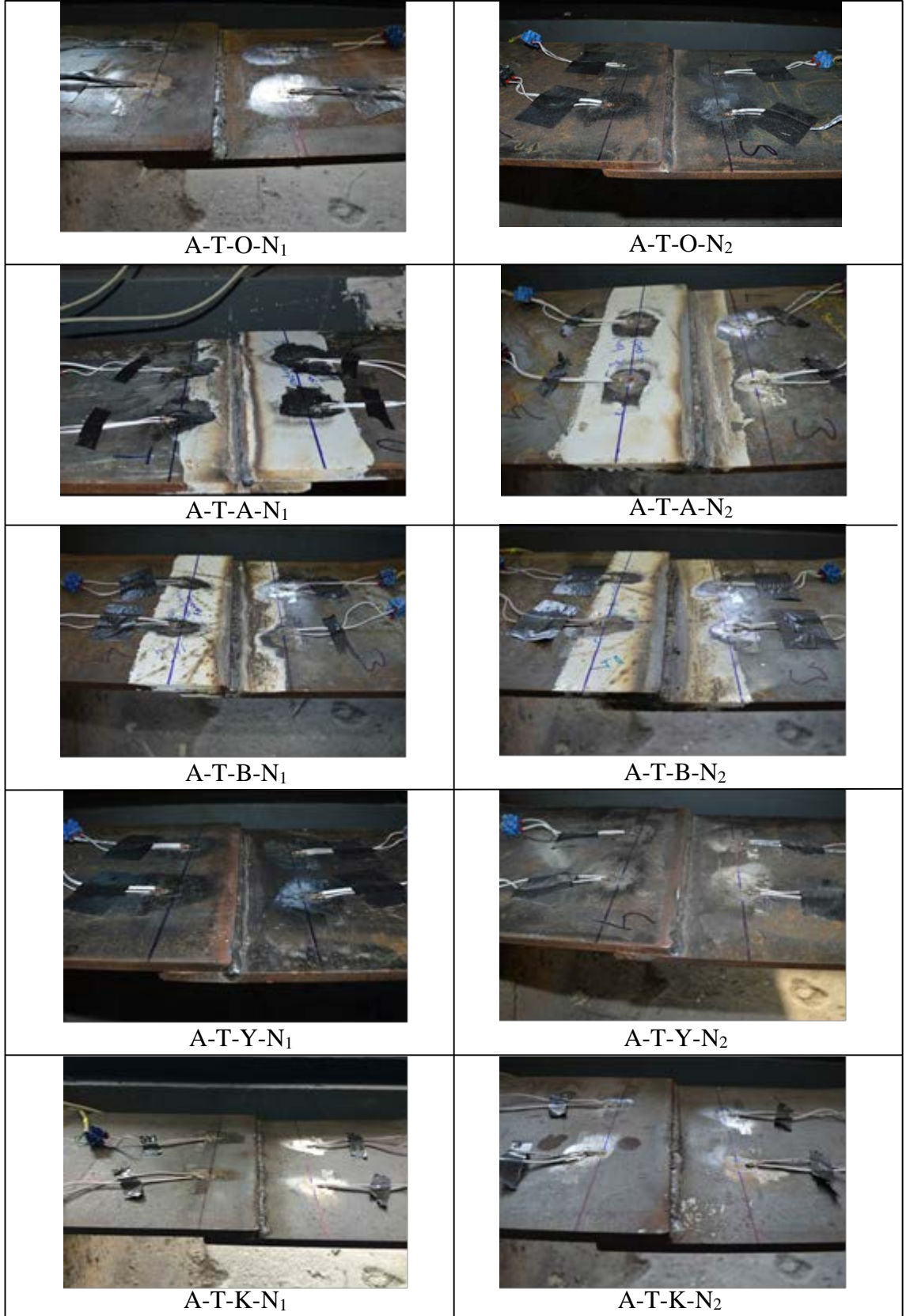
Sonra B firmasının yapmış olduğu tek bindirmeli bağlantılı elemanlar, yükleme sistemine yerleştirilmiştir ve test yapılmıştır. B firması tarafından yapılan tek bindirmeli birleşimli bağlantı elemanları Şekil 3.40'da görülmektedir.

B firmasının yapmış olduğu tek bindirmeli bağlantılı test yapılmış ve tahribata uğramış, kaynak kopması olan deney elemanlarından orijinal, antipaslı, boyalı, yağlı ve kumlmalı yüzeylerden birer adet olmak üzere toplamda beş adet elemana yerinde yeniden kaynak yapılmıştır. Yeniden yapılan kaynak, ilk kaynak bağlantısı ile aynı özelliklerdedir. İlk kaynak bağlantısı temizlenmeden hasar görmüş kaynak birleşiminin üzerine uygulanmıştır. Bu işlem için kaynak yüzey temizliği yapılmamıştır. Kopan kaynak, tekrar kaynak ile birleştirilmiştir. İkinci kez kaynak uygulaması yapılan grup elemanlarına yeniden aynı koşullarda çekme testi ile tahribatlı muayene yapılmıştır.

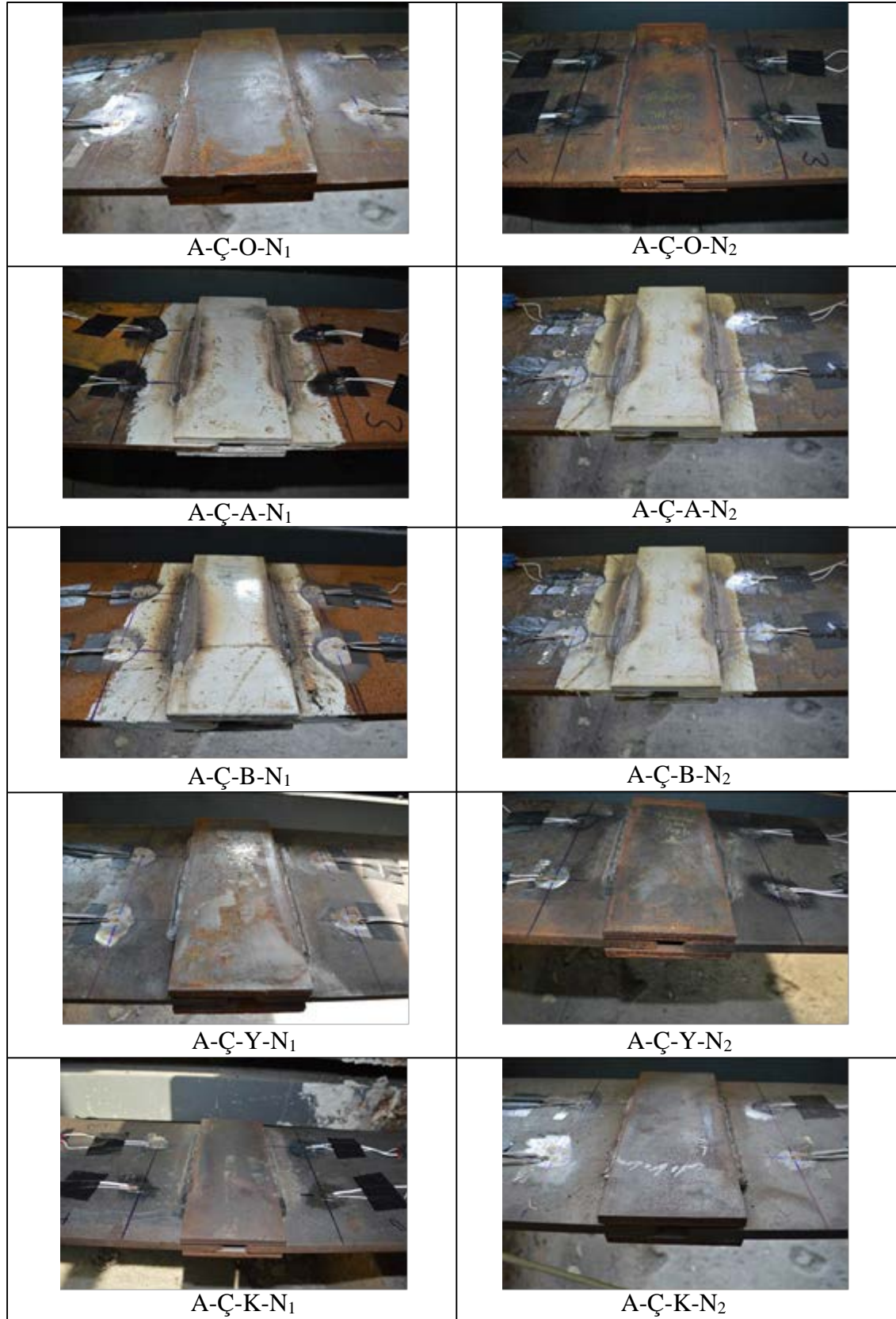
Ardından B firmasının yapmış olduğu çift bindirmeli bağlantılı elemanlar, yükleme sistemine yerleştirilmiştir ve test yapılmıştır. B firması tarafından yapılan tek bindirmeli birleşimli bağlantı elemanları Şekil 3.41'ta görülmektedir.

Şekil 3.42 ise deney sonunda kopan kaynakların tekrar kaynatılması ile elde edilen deney elemanlarını göstermektedir.

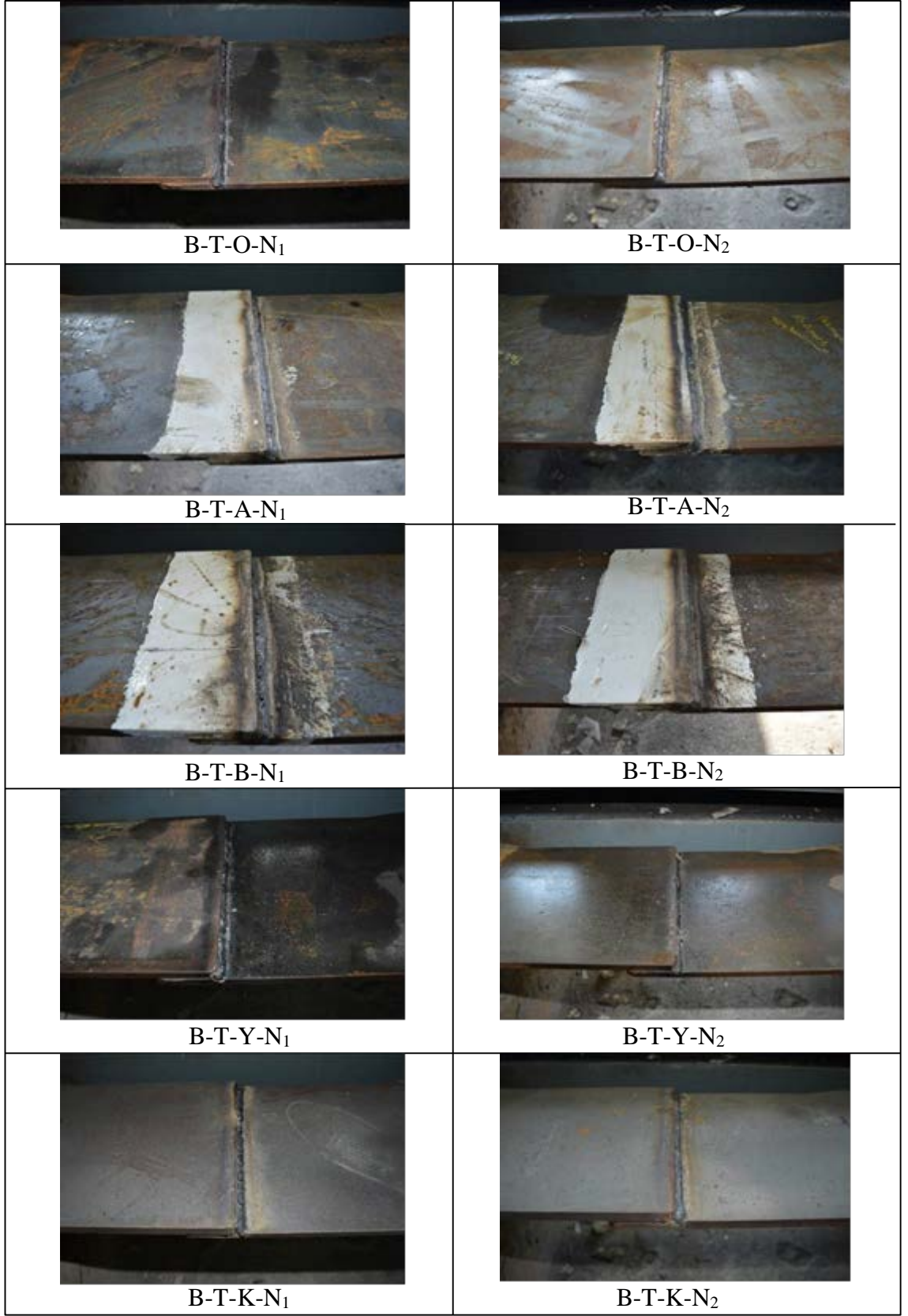
Yapılan tüm deneylerde davranışı daha iyi inceleyebilmek adına görüntü ve video kaydı yapılmıştır. Eksenel yük değerleri ile birim şekil değiştirme değerleri 20 kanallı veri toplama sistemi ile kaydedilmiştir.



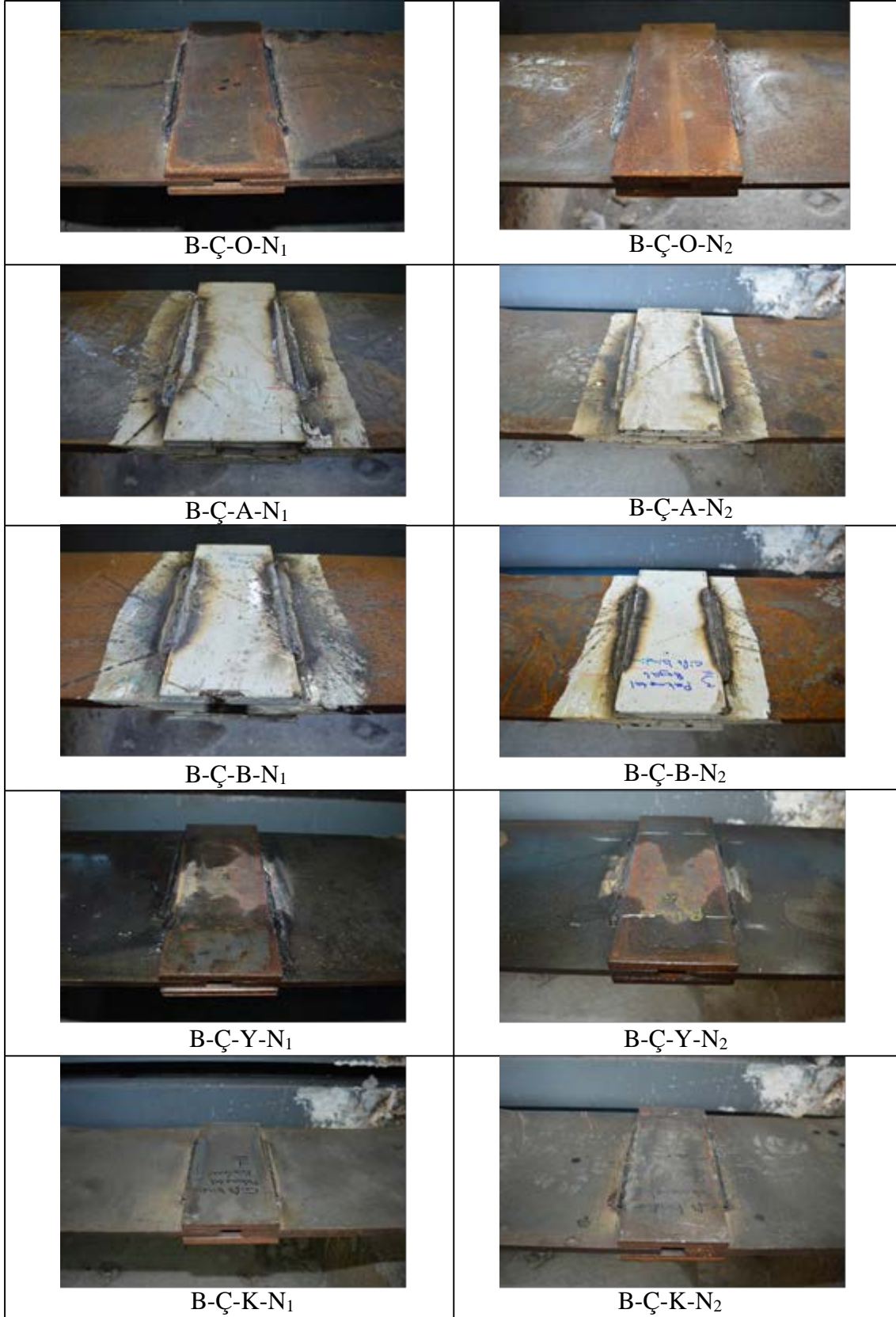
Şekil 3.38. A firması tarafından yapılan tek bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney öncesi fotoğraflar



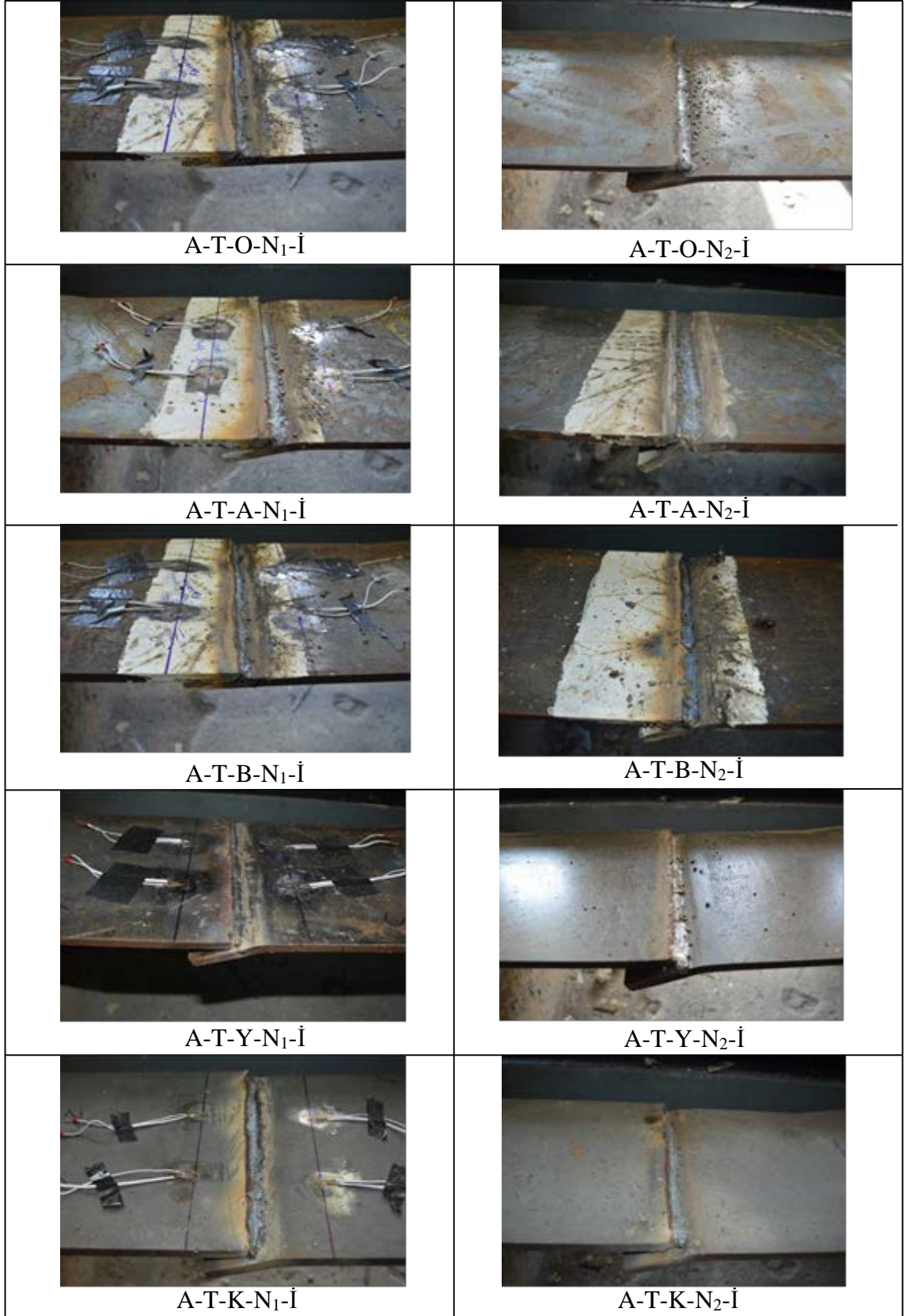
Şekil 3.39. A firması tarafından yapılan çift bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney öncesi fotoğraflar



Şekil 3.40. B firması tarafından yapılan tek bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney öncesi fotoğraflar



Şekil 3.41. B firması tarafından yapılan çift bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney öncesi fotoğraflar



Şekil 3.42. İkinci kez kaynak yapılmış olan malzeme grubunun kaynak birleşimini gösteren deney öncesi fotoğraflar

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

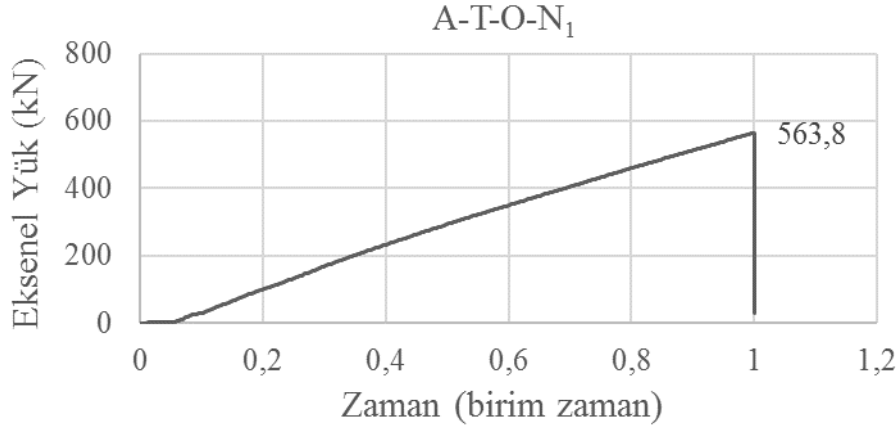
4.1. Giriş

Tek bindirmeli ve çift bindirmeli bağlantılı köşe kaynakla birleştirilmiş çelik levha numunelere tahribatlı muayene yöntemlerinden çekme testi uygulanmıştır. Çelik numunelerin yüzeylerine, deney öncesi hazırlık aşamasında, yüzey gerilmelerini inceleyebilmek adına yapılandırılmış olan gerinim ölçerlerden anlamlı sonuçlar elde edilmediği için tez çalışmasında değerlendirmeye alınmamıştır.

Yükleme sistemi üzerinde bulunan yük hücresi ile deney elemanlarının eksenel yük kapasiteleri ölçülmüştür. Ölçülen bu eksenel yük dayanımları, her bir numune için Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği şeklinde düzenlenmiştir.

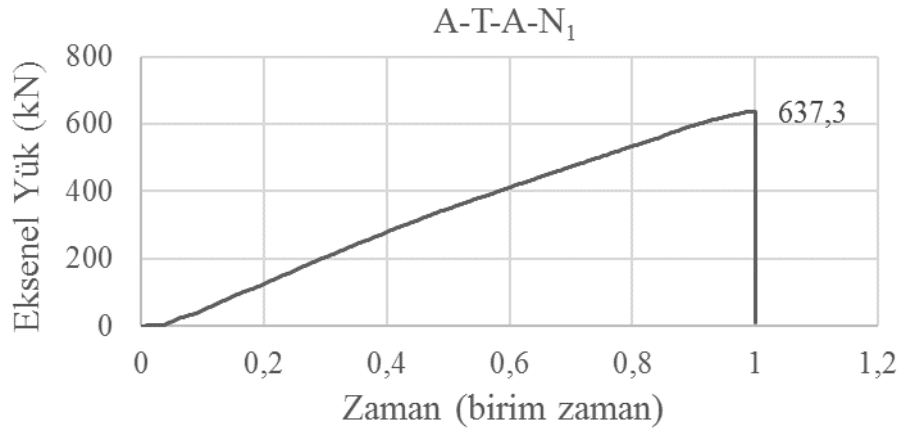
4.2. Deney Verileri ve Grafiklerinin İncelenmesi

A-T-O-N₁ numunesinin Şekil 4.1’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 563,8 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Numuneye herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmamıştır. Numuneden beklenen kapasite minimum 600 kN’dur. Bu kaynaklı birleşim, beklenen değere göre %6 oranında güvensiz tarafta kalmaktadır.

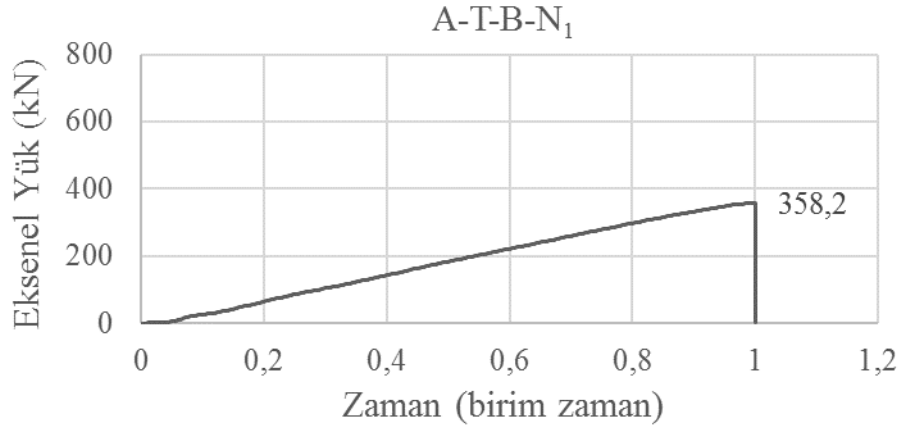


Şekil 4.1. A-T-O-N₁ deney sonucu grafiği

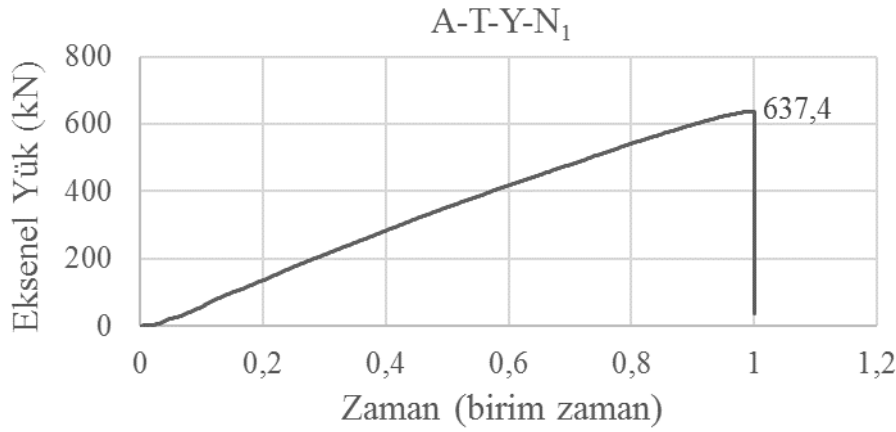
A-T-A-N₁ numunesinin Şekil 4.2’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 637,3 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikorozif epoksi astar boya vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.

Şekil 4.2. A-T-A-N₁ deney sonucu grafiği

A-T-B-N₁ numunesinin Şekil 4.3'te görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 358,2 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikorozif epoksi astar boya ve solvent içerikli epoksi boya vardır. Numuneden beklenen kapasite minimum 600 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim, beklenen değere göre oldukça düşük olan %40 oranında güvensiz tarafta kalmaktadır.

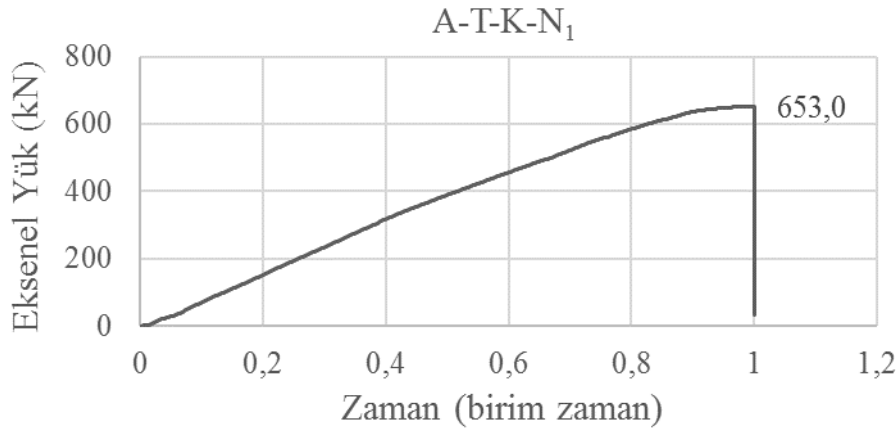
Şekil 4.3. A-T-B-N₁ deney sonucu grafiği

A-T-Y-N₁ numunesinin Şekil 4.4'te görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 637,4 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde makina yağı vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



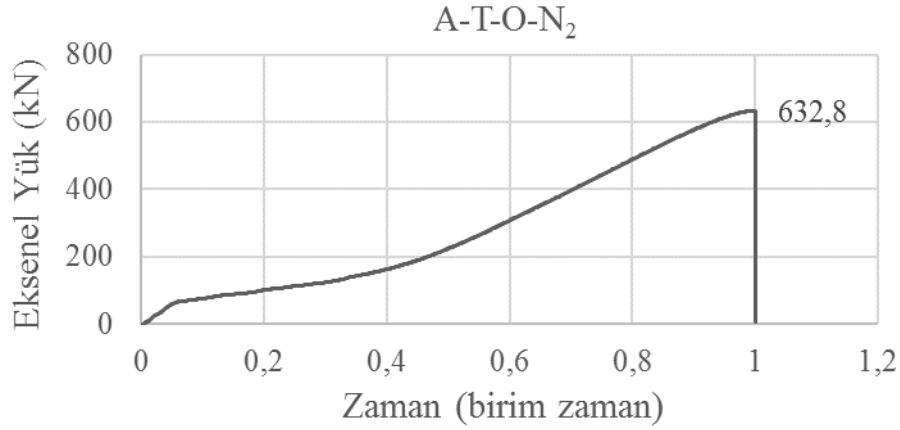
Şekil 4.4. A-T-Y-N₁ deney sonucu grafiği

A-T-K-N₁ numunesinin Şekil 4.5'te görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 653 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi olarak Sa2,5 standartında kumlama işlemi yapılmıştır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



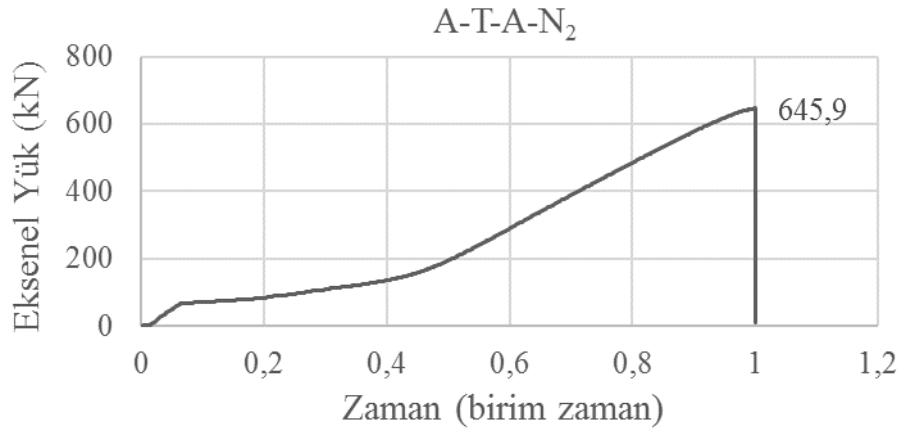
Şekil 4.5. A-T-K-N₁ deney sonucu grafiği

A-T-O-N₂ numunesinin Şekil 4.6'da görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 632,8 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Numuneye herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmamıştır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



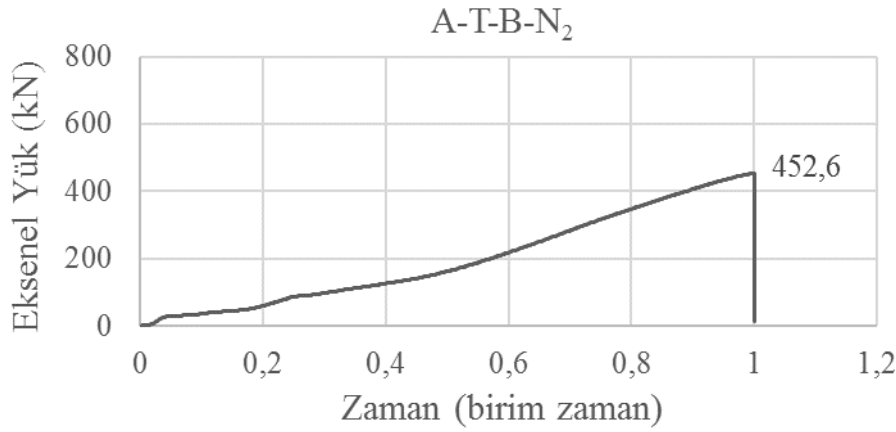
Şekil 4.6. A-T-O-N₂ deney sonucu grafiği

A-T-A-N₂ numunesinin Şekil 4.7’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 645,9 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikoroziif epoksi astar boya vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



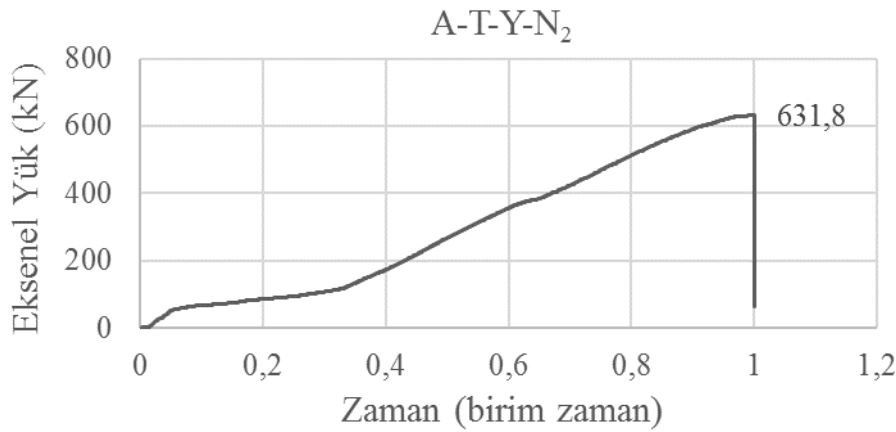
Şekil 4.7. A-T-A-N₂ deney sonucu grafiği

A-T-B-N₂ numunesinin Şekil 4.8’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 452,6 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikoroziif epoksi astar boya ve solvent içerikli epoksi boya vardır. Numuneden beklenen kapasite minimum 600 kN’dur. Bu kaynaklı birleşim, beklenen değere göre oldukça düşük olan %25 oranında güvensiz tarafta kalmaktadır.



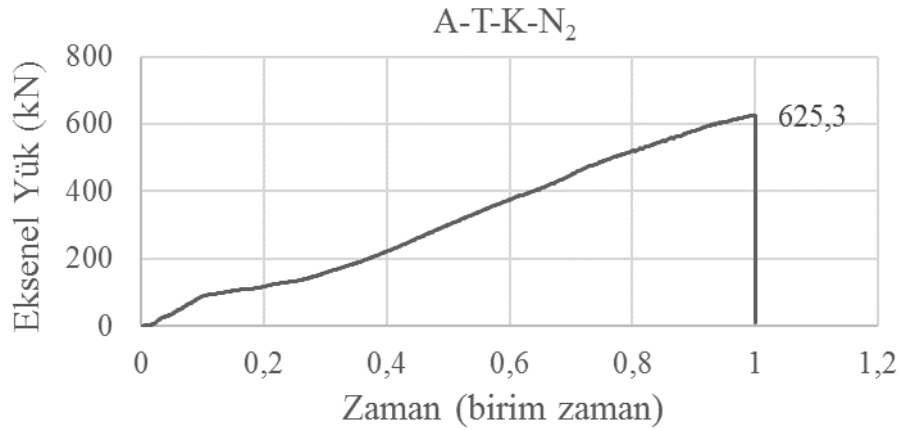
Şekil 4.8. A-T-B-N₂ deney sonucu grafiği

A-T-Y-N₂ numunesinin Şekil 4.9'da görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 631,4 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde makina yağı vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



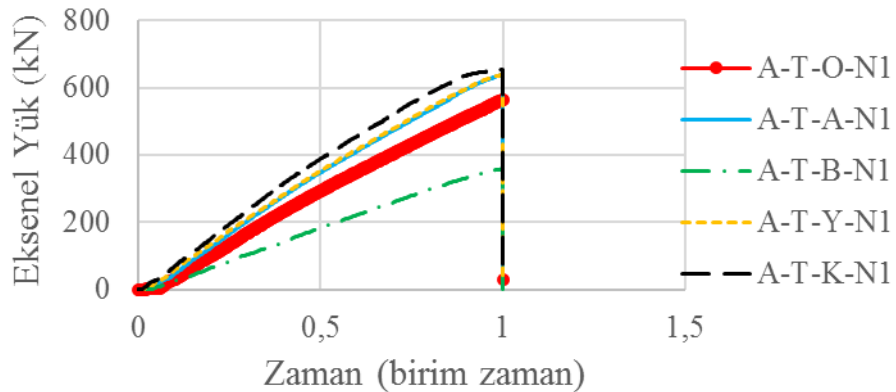
Şekil 4.9. A-T-Y-N₂ deney sonucu grafiği

A-T-K-N₁ numunesinin Şekil 4.10'da görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 625,3 kN eksenel yük dayanımına olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi olarak Sa2,5 standartında kumlama işlemi yapılmıştır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.

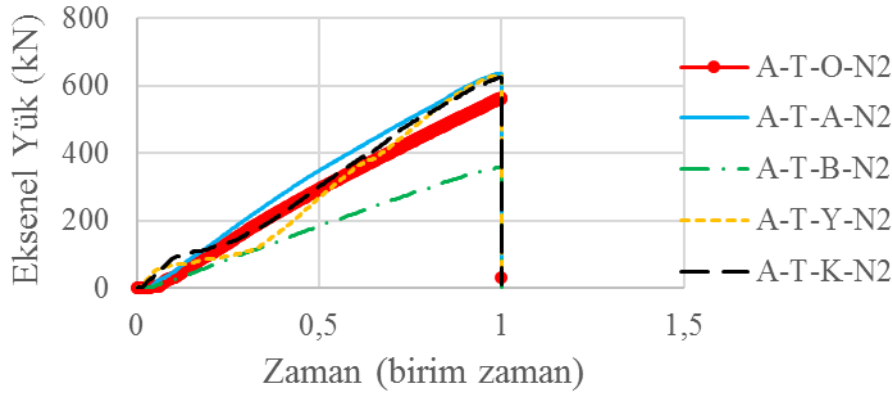


Şekil 4.10. A-T-K-N₂ deney sonucu grafiği

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de A firmasının yapmış olduğu tek bindirmeli bağlantılı birleşimlerden birinci numunelerin ve ikinci numunelerin kıyaslanmış grafikleri görülmektedir. Şekil 4.11 incelendiğinde en yüksek dayanımın kumlama yapılmış olan numunede, en düşük dayanımın ise yüzeyi boyalı olan numunede olduğu görülmektedir. Şekil 4.12 incelendiğinde ise en yüksek dayanımın yüzeyi antikorozyon astar boya yapılmış olan numunede, en düşük dayanımın ise yüzeyi solvent içerikli epoksi boyalı olan numunede olduğu görülmektedir. Birinci numunelerden oluşan deney grubunda en yüksek dayanıma sahip olan kumlama yapılmış yüzeye sahip numune, ikinci numunelerden oluşan deney grubunda daha başarısız olmuştur. Ancak kapasiteler birbirine çok yakın olduğundan bu tür dağılım oluşması, kaynak işleri sırasında meydana gelen sınırlı seviyede değişimlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Kaynak kabiliyetini etkileyen birçok parametre bulunması (Bkz. Çizelge 2.2) ve tez çalışması kapsamında bu faktörlerden yalnızca yüzey durumunun incelenmesi nedeniyle, her iki numune grubunda farklı sonuçlar gözlemlenmektedir. Birinci numunelerden oluşan deney grubunda en düşük dayanıma sahip olan boyalı yüzeye sahip numune, ikinci numunelerden oluşan deney grubunda da benzer şekilde en düşük dayanıma sahiptir.

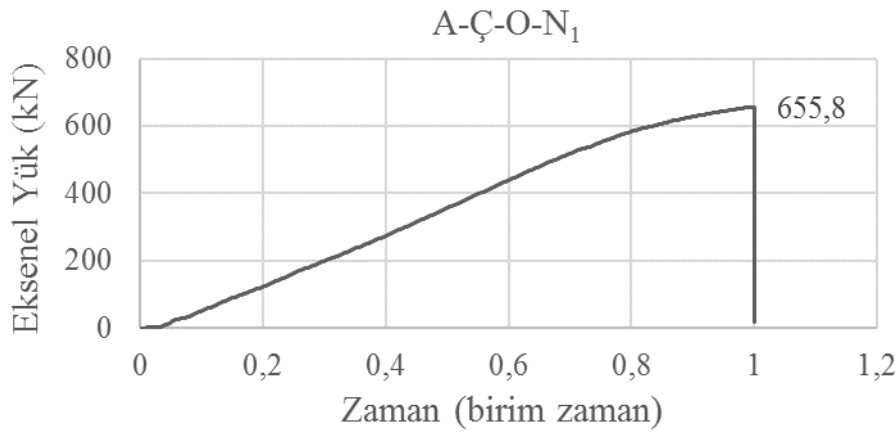


Şekil 4.11. A firması tek bindirmeli bağlantı deneyleri birinci numunelerin sonuç grafiği



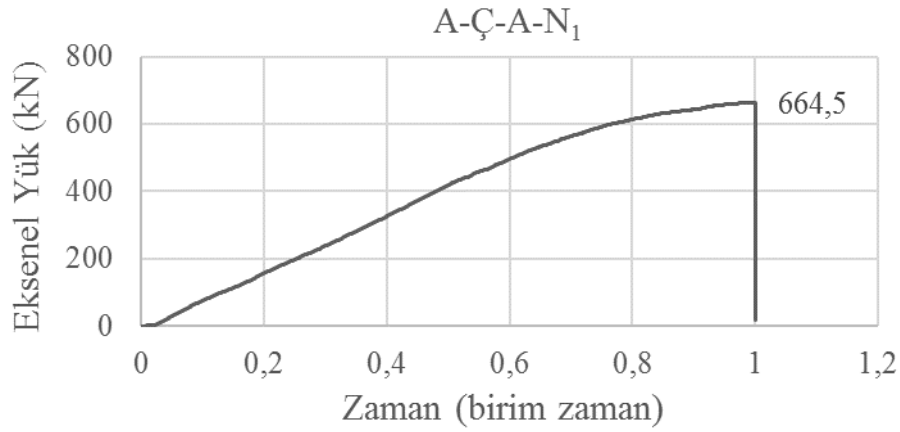
Şekil 4.12. A firması tek bindirmeli bağlantı deneyleri ikinci numunelerin sonuç grafiği

A-Ç-O-N₁ numunesinin Şekil 4.13’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 655,8 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Numuneye herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmamıştır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



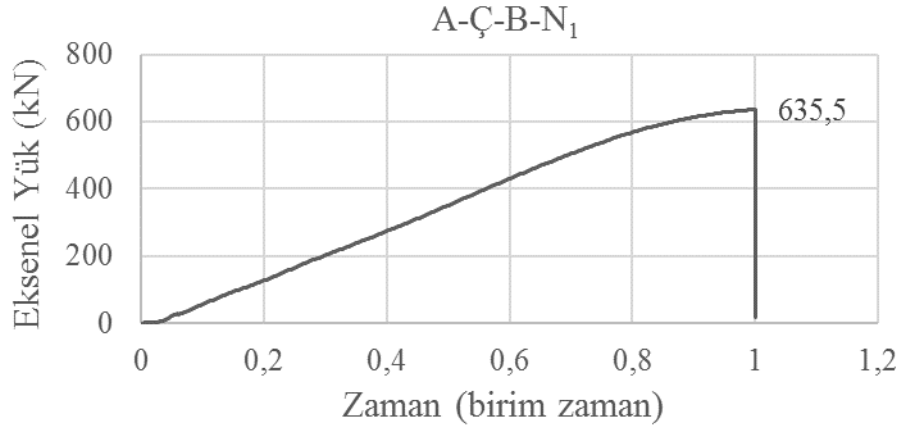
Şekil 4.13. A-Ç-O-N₁ deney sonucu grafiği

A-Ç-A-N₁ numunesinin Şekil 4.14’te görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 664,5 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikorozif epoksi astar boya vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



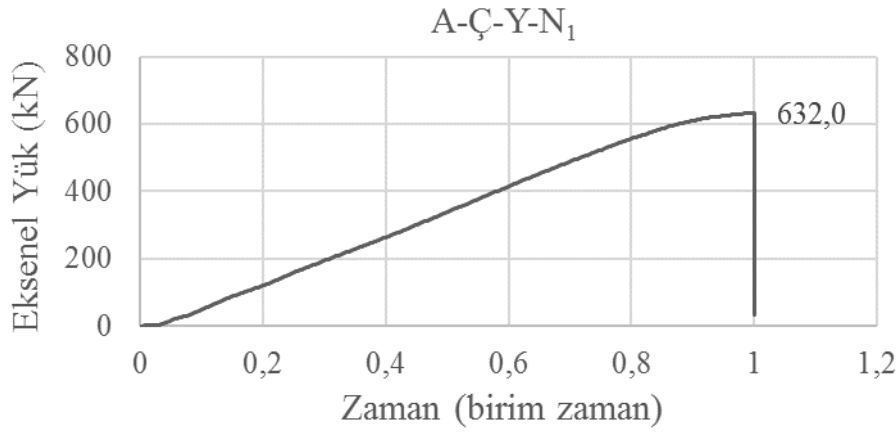
Şekil 4.14. A-Ç-A-N₁ deney sonucu grafiği

A-Ç-B-N₁ numunesinin Şekil 4.15'te görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 635,5 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikorozif epoksi astar boya ve solvent içerikli epoksi boya vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



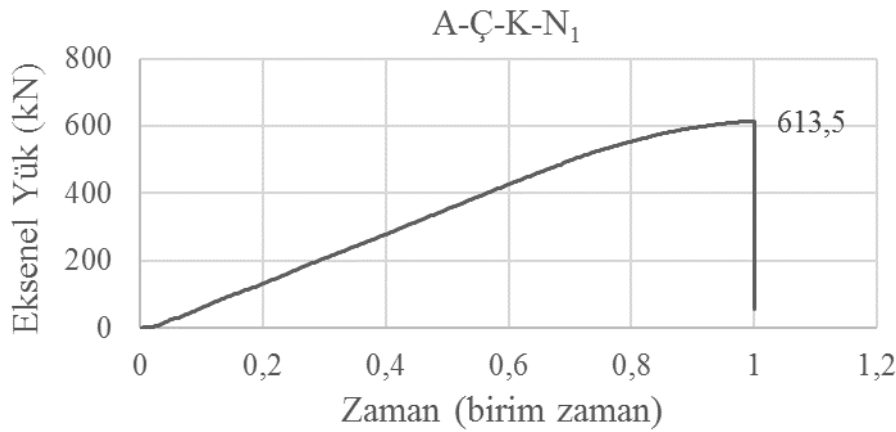
Şekil 4.15. A-Ç-B-N₁ deney sonucu grafiği

A-Ç-Y-N₁ numunesinin Şekil 4.16'da görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 632 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde makina yağı vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



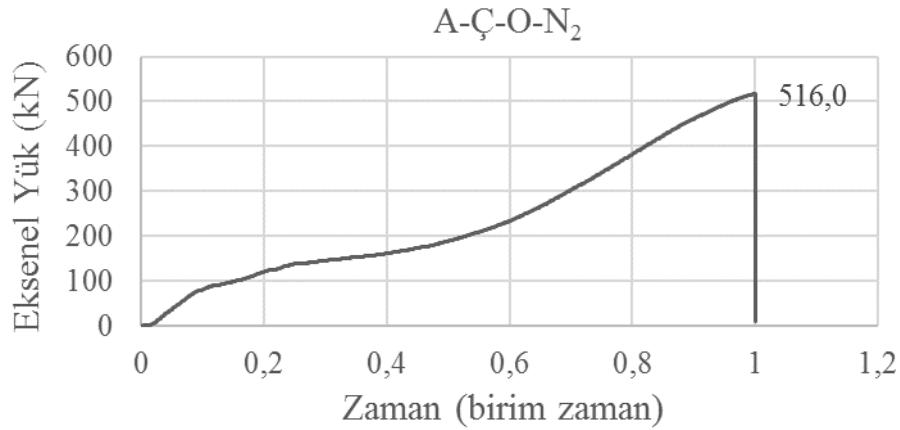
Şekil 4.16. A-Ç-Y-N₁ deney sonucu grafiği

A-Ç-K-N₁ numunesinin Şekil 4.17’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 613,5 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi olarak Sa2,5 standartında kumlama işlemi yapılmıştır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



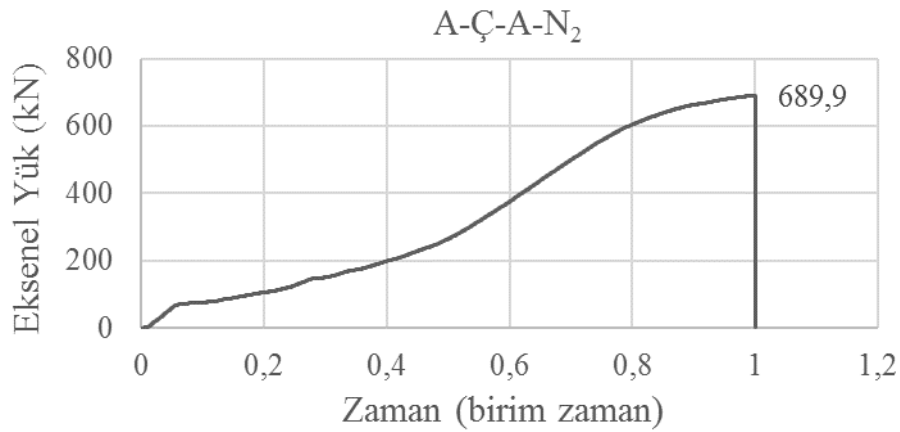
Şekil 4.17. A-Ç-K-N₁ deney sonucu grafiği

A-Ç-O-N₂ numunesinin Şekil 4.18’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 516 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Numuneye herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmamış olan bu numuneden beklenen kapasite minimum 600 kN’dur. Bu kaynaklı birleşim, beklenen değere göre oldukça düşük olan %14 oranında güvensiz tarafta kalmaktadır.



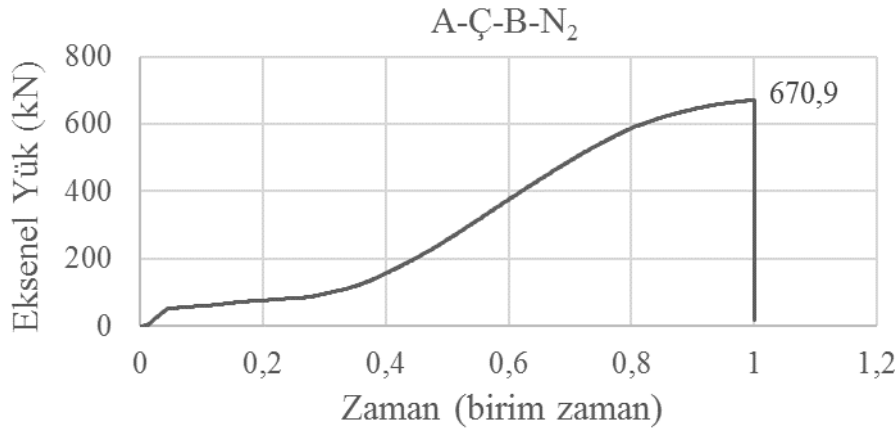
Şekil 4.18. A-Ç-O-N₂ deney sonucu grafiği

A-Ç-A-N₂ numunesinin Şekil 4.19'da görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 689,9 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikoroziif epoksi astar boya vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



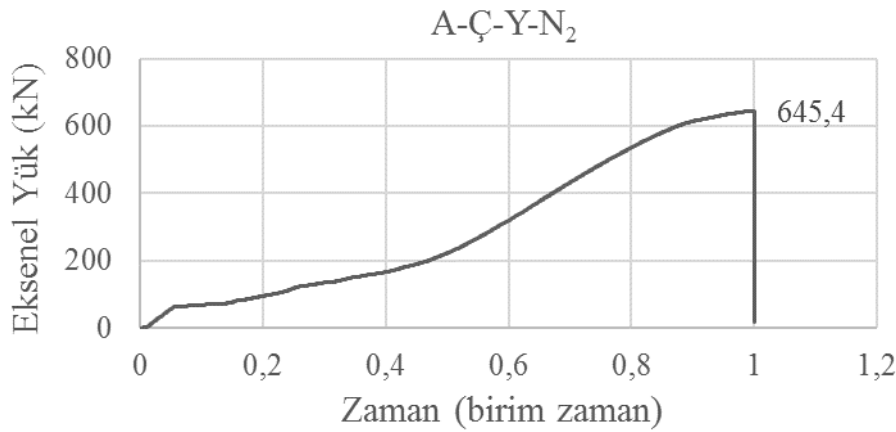
Şekil 4.19. A-Ç-A-N₁ deney sonucu grafiği

A-Ç-B-N₂ numunesinin Şekil 4.20'de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 670,9 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikoroziif epoksi astar boya ve solvent içerikli epoksi boya vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



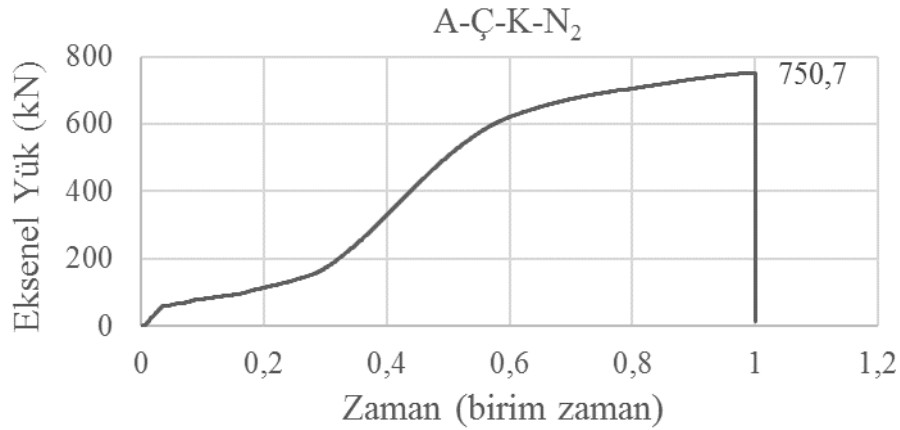
Şekil 4.20. A-Ç-B-N₂ deney sonucu grafiği

A-Ç-Y-N₂ numunesinin Şekil 4.21’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 645,4 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde makina yağı vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



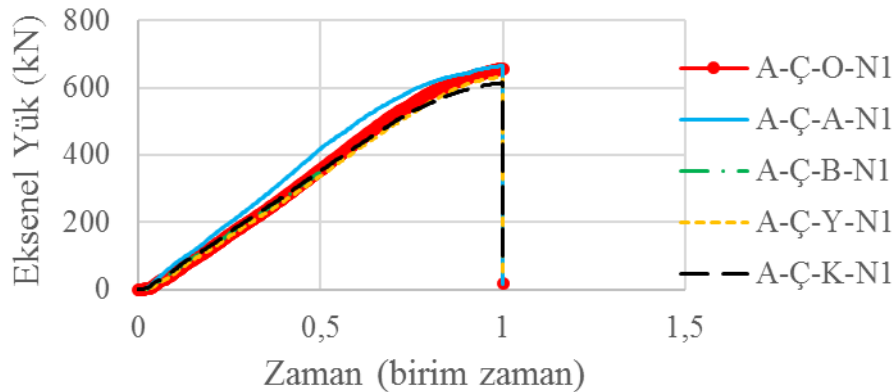
Şekil 4.21. A-Ç-Y-N₂ deney sonucu grafiği

A-Ç-K-N₂ numunesinin Şekil 4.22’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 750 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi olarak Sa2,5 standartında kumlama işlemi yapılmıştır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu numuneden beklenen kapasite ortalama 600 kN – 700 kN’dur. Bu kaynaklı birleşim %7 oranında beklenenden yüksek dayanım göstermiştir.

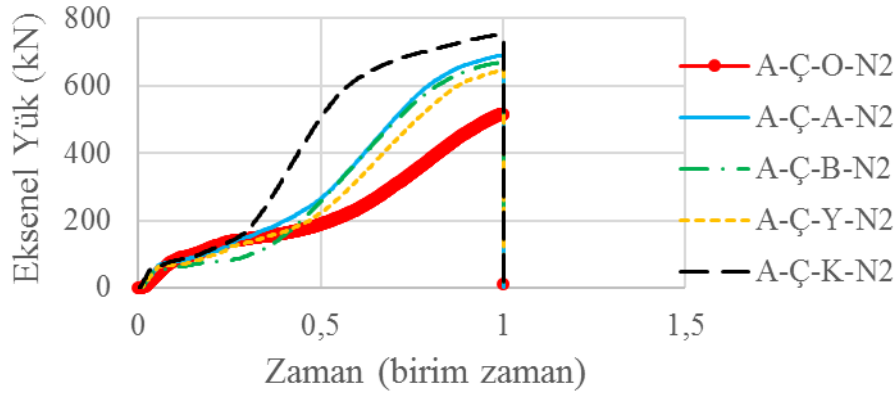


Şekil 4.22. A-Ç-K-N₂ deney sonucu grafiği

Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de A firmasının yapmış olduğu çift bindirmeli bağlantılı birleşimlerden birinci numunelerin ve ikinci numunelerin kıyaslanmış grafikleri görülmektedir. Şekil 4.23 incelendiğinde en yüksek dayanımın antikorozyf astar boya yapılmış olan numunede, en düşük dayanımın ise yüzeyi kumlama yapılmış olan numunede olduğu görülmektedir. Ancak Şekil 4.23'te görüldüğü gibi kaynak kapasiteleri bütün deney elemanları için hemen hemen aynıdır. Dolayısı ile A firması tarafından yapılan çift bindirmeli birinci deney numunelerinin arasında yüzey durumundan kaynaklı herhangi bir fark ortaya çıkmamıştır. Şekil 4.24 incelendiğinde ise en yüksek dayanımın yüzeyi kumlama yapılmış olan numunede, en düşük dayanımının yüzeyine hiçbir işlem yapılmamış olan numunede olduğu görülmektedir. İkinci numunelerden oluşan deney grubunda kumlanmış yüzeye sahip olan numune en başarılı numune olmuştur. Kaynak kabiliyetini etkileyen birçok parametre bulunması (Bkz. Çizelge 2.2) ve tez çalışması kapsamında bu faktörlerden yalnızca yüzey durumunun incelenmesi nedeniyle, her iki numune grubunda farklı sonuçlar gözlemlenmektedir. Özellikle ikinci numuneler arasındaki kapasite farkları yüzey durumunun önemini ortaya çıkarmaktadır.

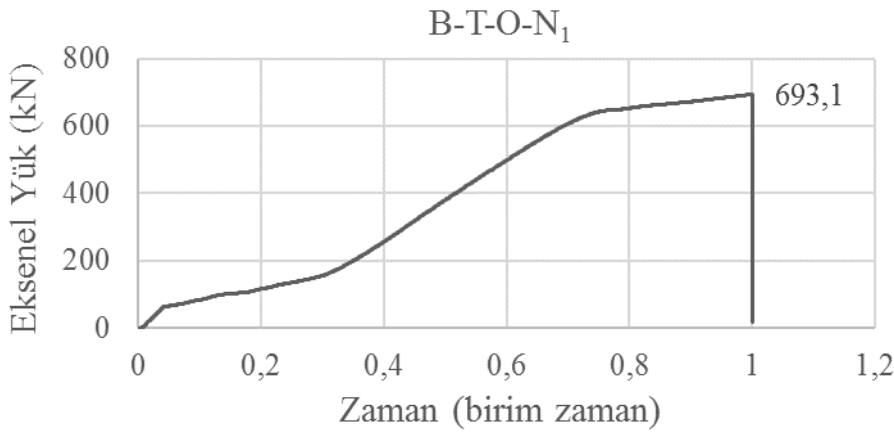


Şekil 4.23. A firması çift bindirmeli bağlantı deneyleri birinci numunelerin sonuç grafiği



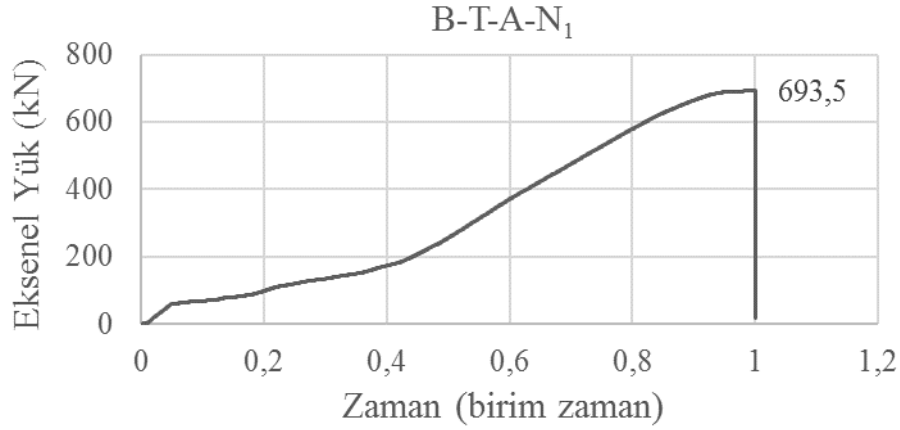
Şekil 4.24. A firması çift bindirmeli bağlantı deneyleri ikinci numunelerin sonuç grafiği

B-T-O-N₁ numunesinin Şekil 4.25'te görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 693,1 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Numuneye herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmamıştır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



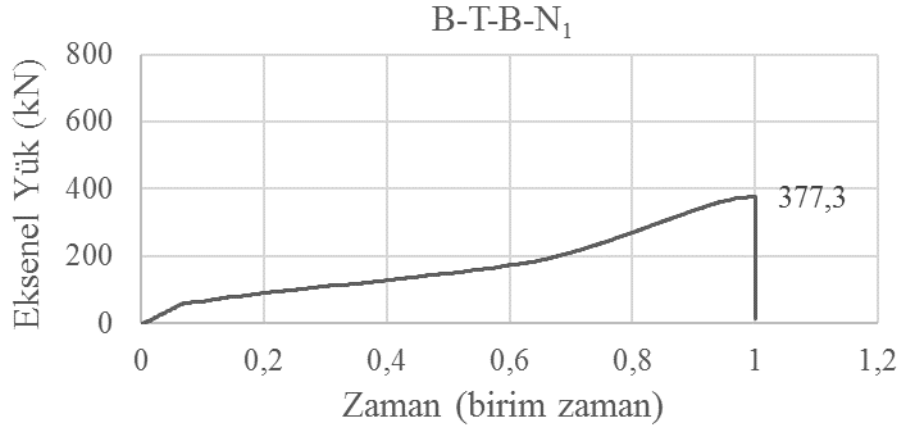
Şekil 4.25. B-T-O-N₁ deney sonucu grafiği

B-T-A-N₁ numunesinin Şekil 4.26'da görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 693,5 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikorozyon epoksi astar boya vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



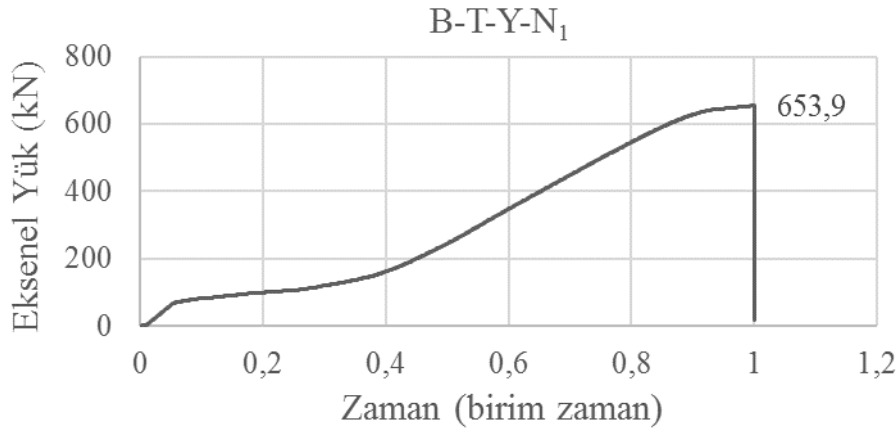
Şekil 4.26. B-T-A-N₁ deney sonucu grafiği

B-T-B-N₁ numunesinin Şekil 4.27’de görülen Aksenal Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 377,3 kN aksenal yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikorozif epoksi astar boya ve solvent içerikli epoksi boya vardır. Numuneden beklenen kapasite minimum 600 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim, beklenen değere göre oldukça düşük olan %37 oranında güvensiz tarafta kalmaktadır.



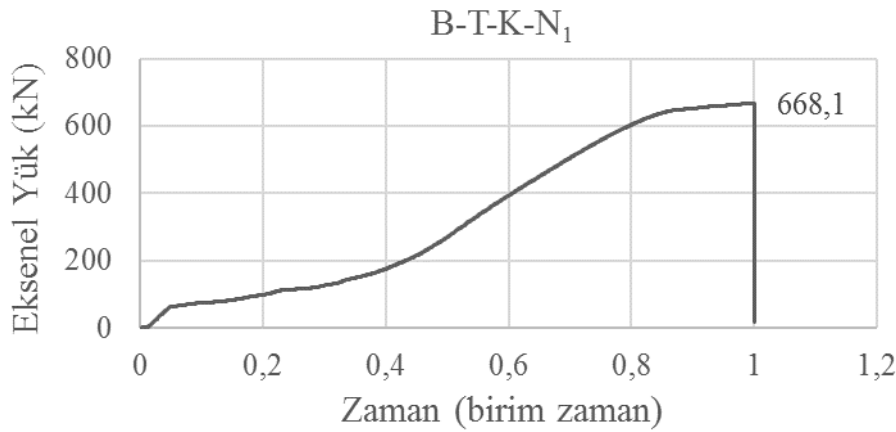
Şekil 4.27. B-T-B-N₁ deney sonucu grafiği

B-T-Y-N₁ numunesinin Şekil 4.33’te görülen Aksenal Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 653,9 kN aksenal yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde makina yağı vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



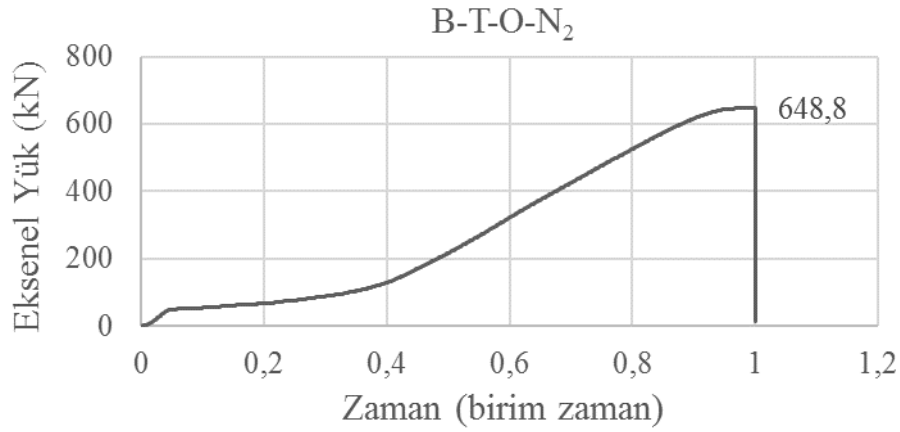
Şekil 4.28. B-T-Y-N₁ deney sonucu grafiği

B-T-K-N₁ numunesinin Şekil 4.29’da görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 668,1 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi olarak Sa2,5 standartında kumlama işlemi yapılmıştır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



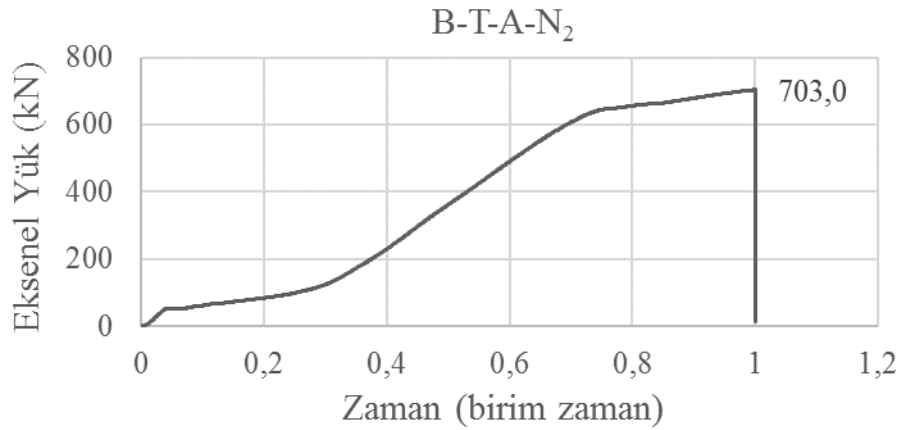
Şekil 4.29. B-T-K-N₁ deney sonucu grafiği

B-T-O-N₂ numunesinin Şekil 4.30’da görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 648,8 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Numuneye herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmamıştır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



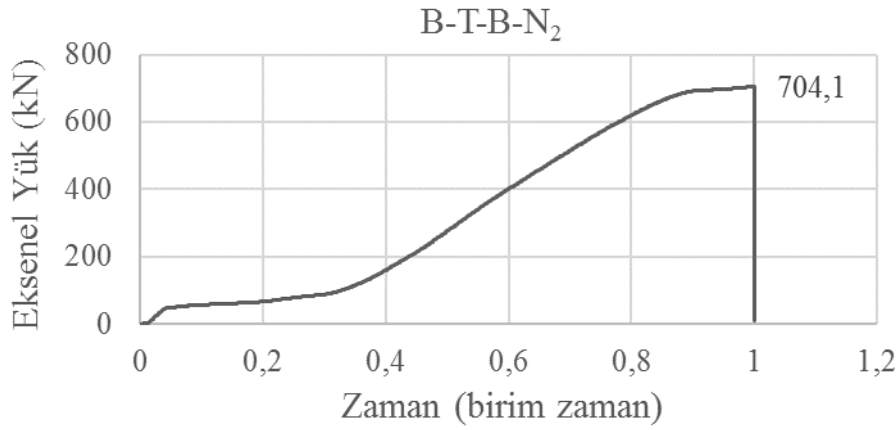
Şekil 4.30. B-T-O-N₂ deney sonucu grafiği

B-T-A-N₂ numunesinin Şekil 4.31’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 703 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikoroziif epoksi astar boya vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu numuneden beklenen kapasite ortalama 600 kN – 700 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim %0,4 oranında beklenenden yüksek dayanım göstermiştir.



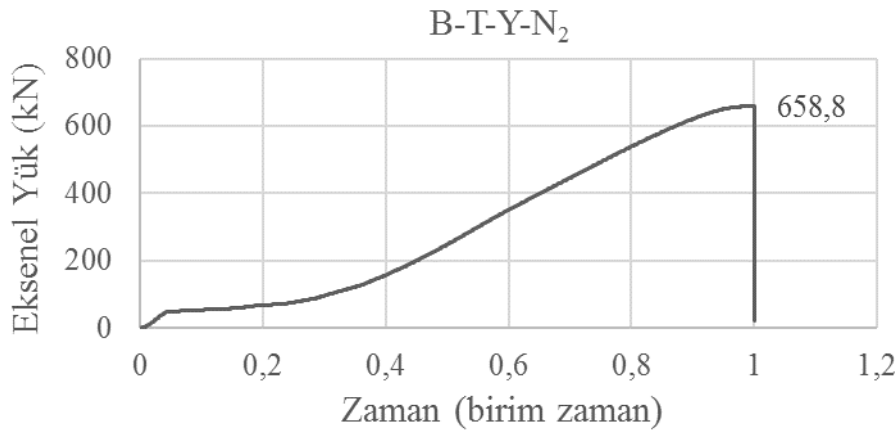
Şekil 4.31. B-T-A-N₂ deney sonucu grafiği

B-T-B-N₂ numunesinin Şekil 4.32’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 704 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikoroziif epoksi astar boya ve solvent içerikli epoksi boya vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu numuneden beklenen kapasite ortalama 600 kN – 700 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim %0,6 oranında beklenenden yüksek dayanım göstermiştir.



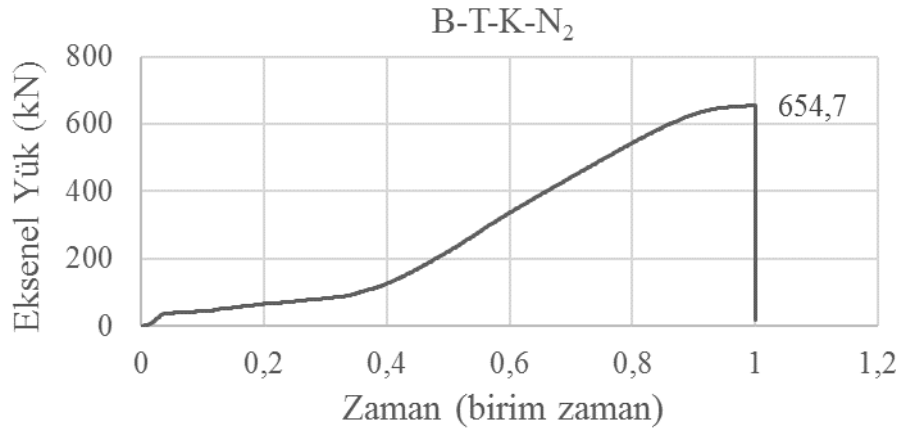
Şekil 4.32. B-T-B-N₂ deney sonucu grafiği

B-T-Y-N₂ numunesinin Şekil 4.33'te görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 658,8 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde makina yağı vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



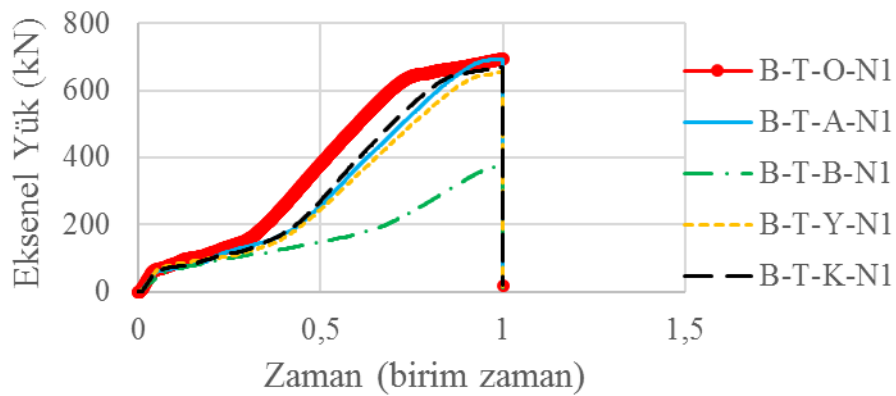
Şekil 4.33. B-T-Y-N₂ deney sonucu grafiği

B-T-K-N₂ numunesinin Şekil 4.34'te görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 654,7 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi olarak Sa2,5 standartında kumlama işlemi yapılmıştır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.

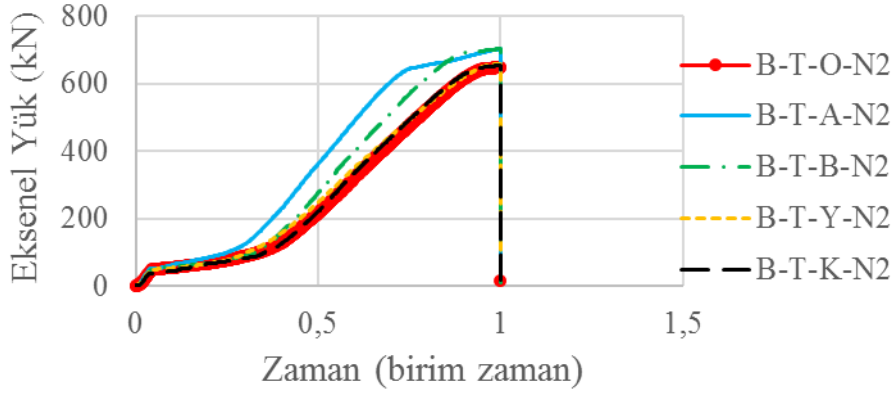


Şekil 4.34. B-T-K-N₂ deney sonucu grafiği

Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’da B firmasının yapmış olduğu tek bindirmeli bağlantılı birleşimlerden birinci numunelerin ve ikinci numunelerin kıyaslanmış grafikleri görülmektedir. Şekil 4.35 incelendiğinde en yüksek dayanımın antikorozyf astar boya yapılmış olan numunede, en düşük dayanımın ise yüzeyi solvent içerikli epoksi boya yapılmış olan numunede olduğu görülmektedir. Ancak bu şekilden de görüldüğü gibi yüzeyi boyalı olan deney numunesinin kaynak kapasitesi diğer deney elemanlarına göre çok daha düşüktür. Diğer deney numuneleri hemen hemen aynı kapasiteye sahipken, boyalı yüzeye sahip numunenin kapasitesindeki bu düşüş yüzey durumunun önemini açıkça göstermektedir. Şekil 4.36 incelendiğinde ise en yüksek dayanımın yüzeyi solvent içerikli epoksi boya yapılmış olan numunede, en düşük dayanımın yüzeyine hiçbir işlem yapılmamış olan numunede olduğu görülmektedir. Ancak bu şekilden de görüleceği üzere bütün kaynak kapasiteleri hemen hemen aynıdır. İkinci grup deney elemanlarında ise birinci grup deney elemanlarından farklı olarak yüzey durumunun kaynak kapasitesine etkisi sınırlı kalmıştır.

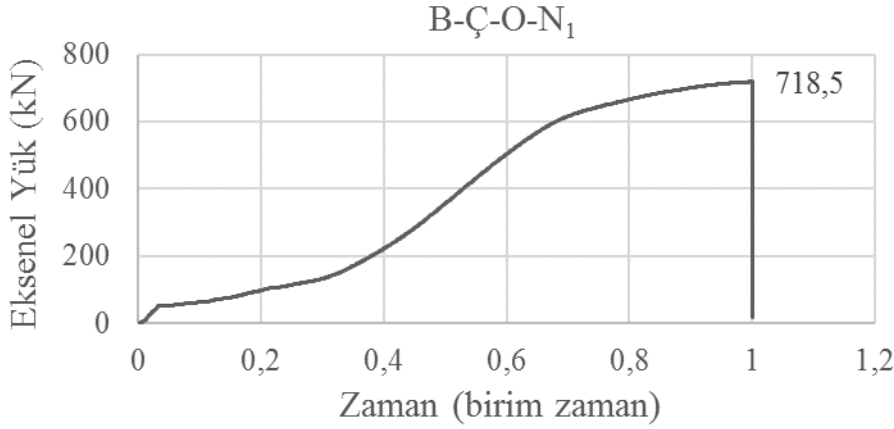


Şekil 4.35. B firması tek bindirmeli bağlantı deneyleri birinci numunelerin sonuç grafiği



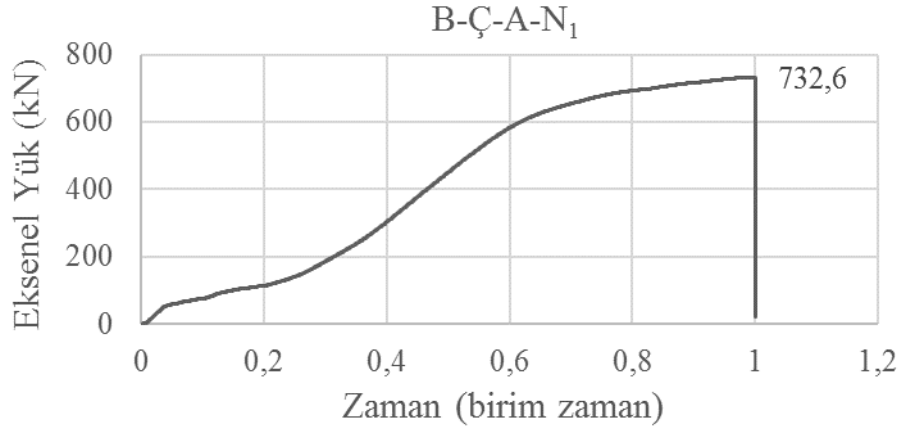
Şekil 4.36. B firması tek bindirmeli bağlantı deneyleri ikinci numunelerin sonuç grafiği

B-Ç-O-N₁ numunesinin Şekil 4.37’te görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 718,5 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Numuneye herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmamıştır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu numuneden beklenen kapasite ortalama 600 kN – 700 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim %3 oranında beklenenden yüksek dayanım göstermiştir.



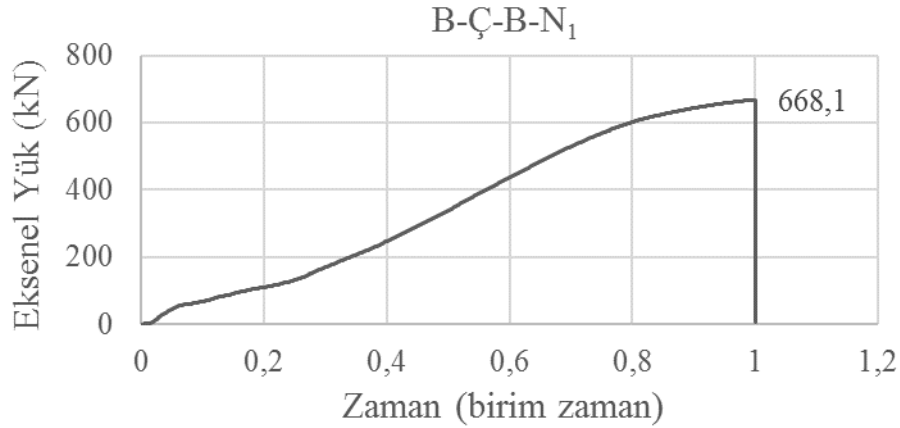
Şekil 4.37. B-Ç-O-N₁ deney sonucu grafiği

B-Ç-A-N₁ numunesinin Şekil 4.38’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 732,6 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikorozyon epoksi astar boyası vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu numuneden beklenen kapasite ortalama 600 kN – 700 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim %5 oranında beklenenden yüksek dayanım göstermiştir.



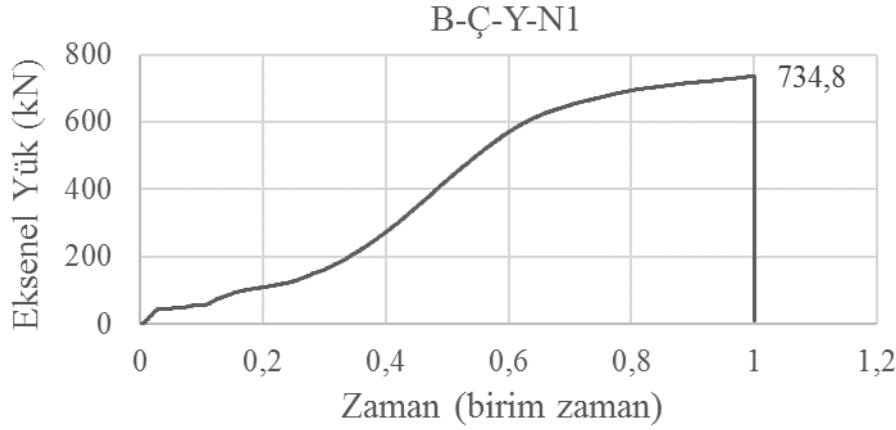
Şekil 4.38. B-Ç-A-N₁ deney sonucu grafiği

B-Ç-B-N₁ numunesinin Şekil 4.39’de görülen Aksenal Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 668,1 kN aksenal yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikorozif epoksi astar boya ve solvent içerikli epoksi boya vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



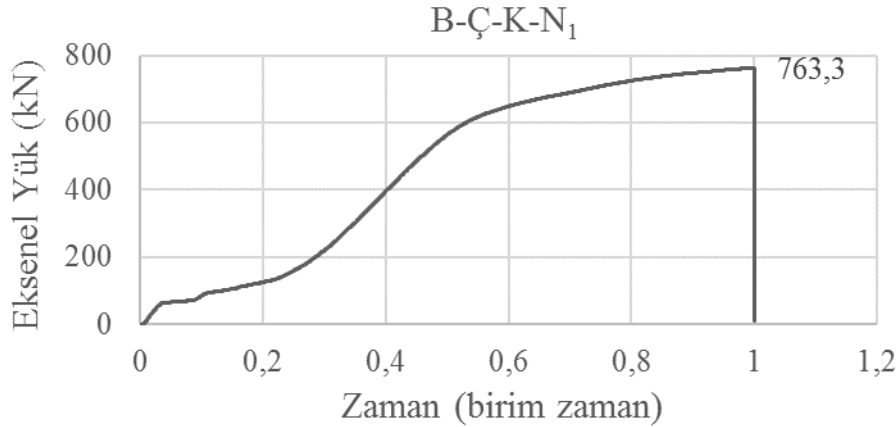
Şekil 4.39. B-Ç-B-N₁ deney sonucu grafiği

B-Ç-Y-N₁ numunesinin Şekil 4.40’ta görülen Aksenal Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 734,8 kN aksenal yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde makina yağı vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu numuneden beklenen kapasite ortalama 600 kN – 700 kN’dur. Bu kaynaklı birleşim %5 oranında beklenenden yüksek dayanım göstermiştir.



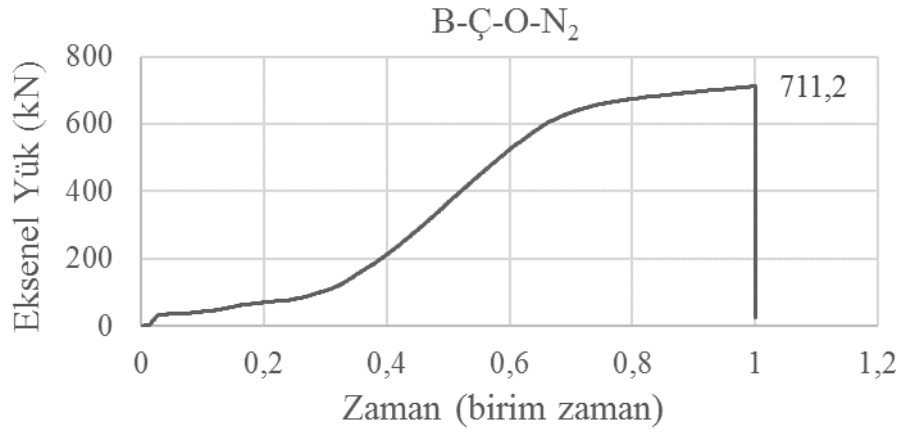
Şekil 4.40. B-Ç-Y-N₁ deney sonucu grafiği

B-Ç-K-N₁ numunesinin Şekil 4.41’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 763,3 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi olarak Sa2,5 standartında kumlama işlemi yapılmıştır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu numuneden beklenen kapasite ortalama 600 kN – 700 kN’dur. Bu kaynaklı birleşim %9 oranında beklenenden yüksek dayanım göstermiştir.



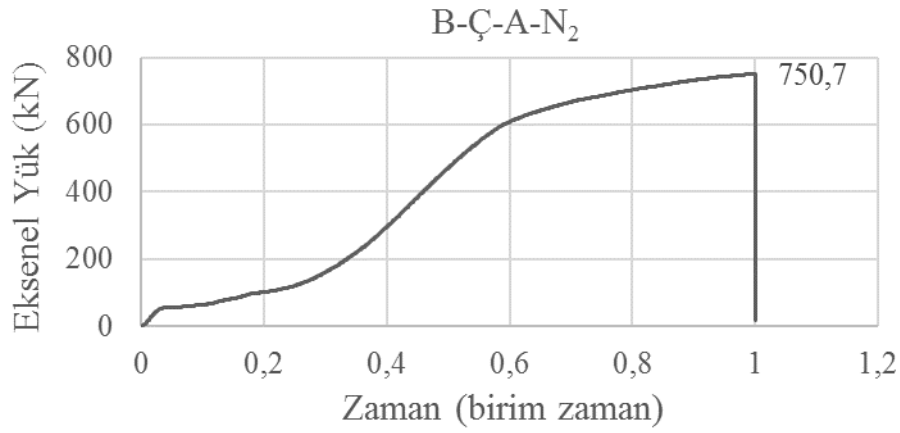
Şekil 4.41. B-Ç-K-N₁ deney sonucu grafiği

B-Ç-O-N₂ numunesinin Şekil 4.42’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 711,2 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Numuneye herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmamıştır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu numuneden beklenen kapasite ortalama 600 kN – 700 kN’dur. Bu kaynaklı birleşim %2 oranında beklenenden yüksek dayanım göstermiştir.



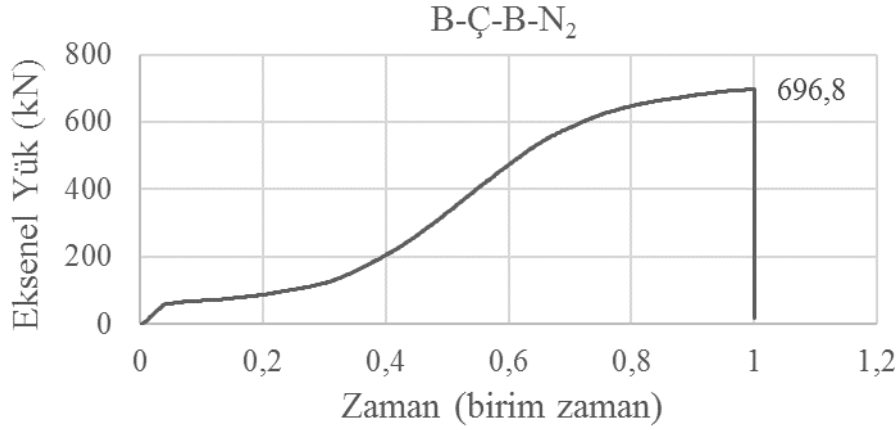
Şekil 4.42. B-Ç-O-N₂ deney sonucu grafiği

B-Ç-A-N₂ numunesinin Şekil 4.43'te görülen Akseneel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 750,7 kN akseneel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikorozif epoksi astar boya vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu numuneden beklenen kapasite ortalama 600 kN – 700 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim %7 oranında beklenenden yüksek dayanım göstermiştir.

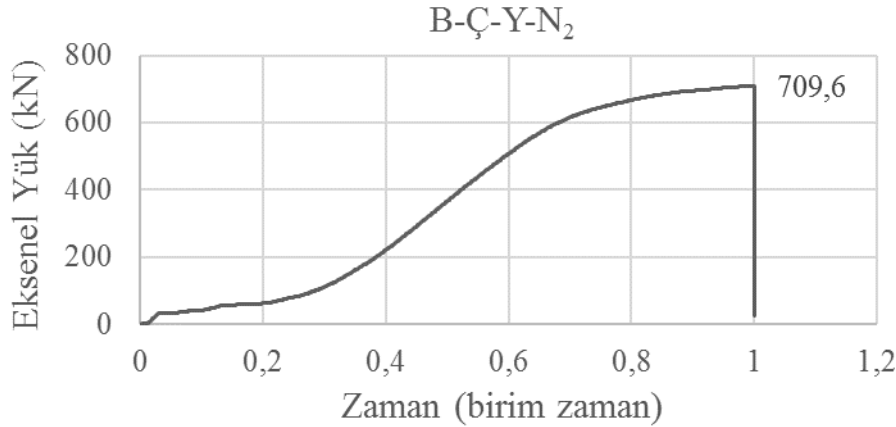


Şekil 4.43. B-Ç-A-N₂ deney sonucu grafiği

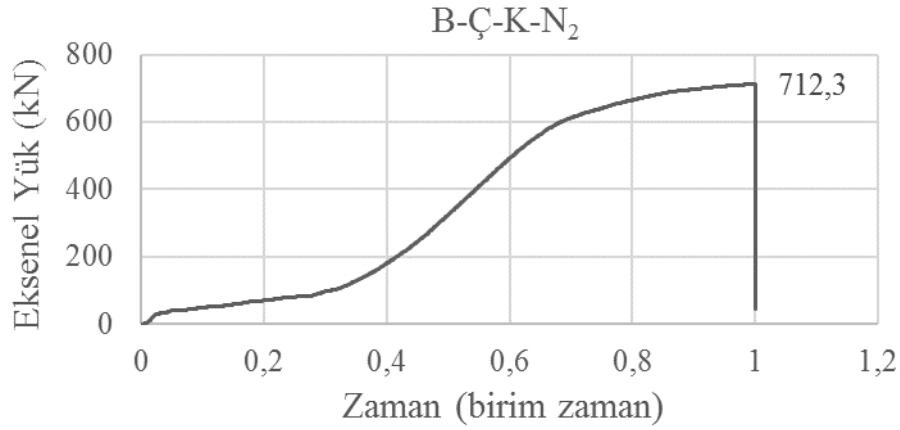
B-Ç-B-N₂ numunesinin Şekil 4.44'te görülen Akseneel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 696,8 kN akseneel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde antikorozif epoksi astar boya ve solvent içerikli epoksi boya vardır. Numuneden beklenen kapasite minimum 600 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.

Şekil 4.44. B-Ç-B-N₂ deney sonucu grafiği

B-Ç-Y-N₂ numunesinin Şekil 4.45'te görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 709,6 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi yapılmayan numunenin yüzeyinde makina yağı vardır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu numuneden beklenen kapasite ortalama 600 kN – 700 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim %1 oranında beklenenden yüksek dayanım göstermiştir.

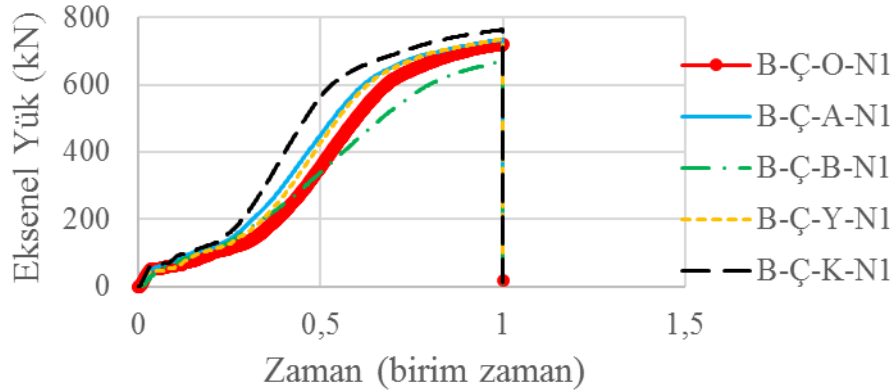
Şekil 4.45. B-Ç-Y-N₂ deney sonucu grafiği

B-Ç-K-N₂ numunesinin Şekil 4.46'da görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 712,3 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Yüzey hazırlığı işlemi olarak Sa2,5 standartında kumlama işlemi yapılmıştır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır. Bu numuneden beklenen kapasite ortalama 600 kN – 700 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim %2 oranında beklenenden yüksek dayanım göstermiştir.

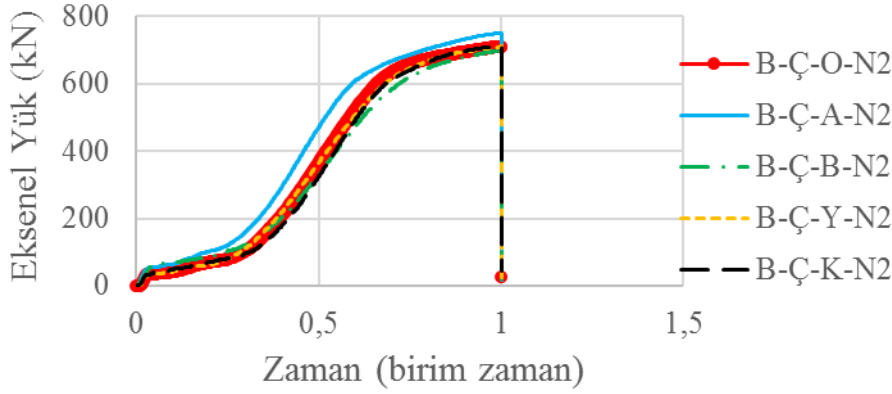


Şekil 4.46. B-Ç-K-N₂ deney sonucu grafiği

Şekil 4.47 ve Şekil 4.48'de B firmasının yapmış olduğu çift bindirmeli bağlantılı birleşimlerden birinci numunelerin ve ikinci numunelerin kıyaslanmış grafikleri görülmektedir. Şekil 4.47 incelendiğinde en yüksek dayanımın antikoroziyif astar boya yapılmış olan numunede, en düşük dayanımın ise yüzeyi solvent içerikli epoksi boya yapılmış olan numunede olduğu görülmektedir. Şekil 4.48 incelendiğinde ise Şekil 4.47 ile benzer şekilde en yüksek dayanımın yüzeyine antikoroziyif astar boya yapılmış numunede, en düşük dayanımın ise yüzeyine solvent içerikli epoksi boya yapılmış olan numunede olduğu görülmektedir. Her iki numune grubunda benzer sonuçlar gözlenmiştir ve yüzeyi boyalı olan numunelerin güvenli tarafta kalmalarına rağmen, grup içinde en düşük dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Ancak kapasite arasındaki fark yüzey durumunun etkisinin sınırlı seviyede kaldığını göstermektedir.

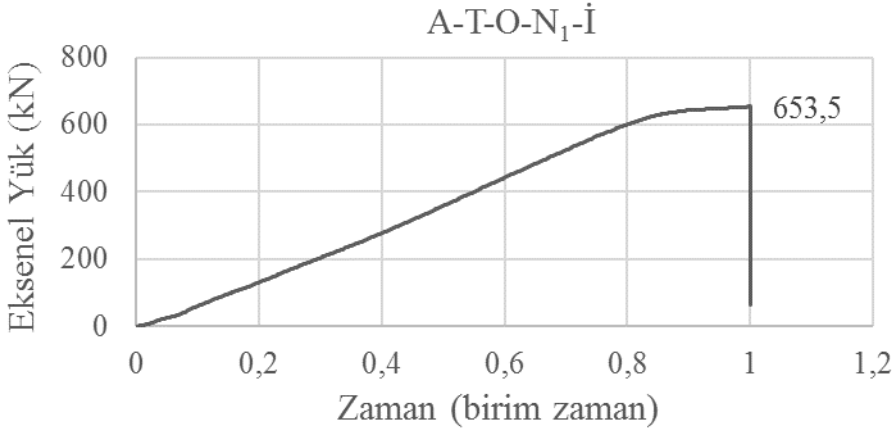


Şekil 4.47. B firması çift bindirmeli bağlantı deneyleri birinci numunelerin sonuç grafiği



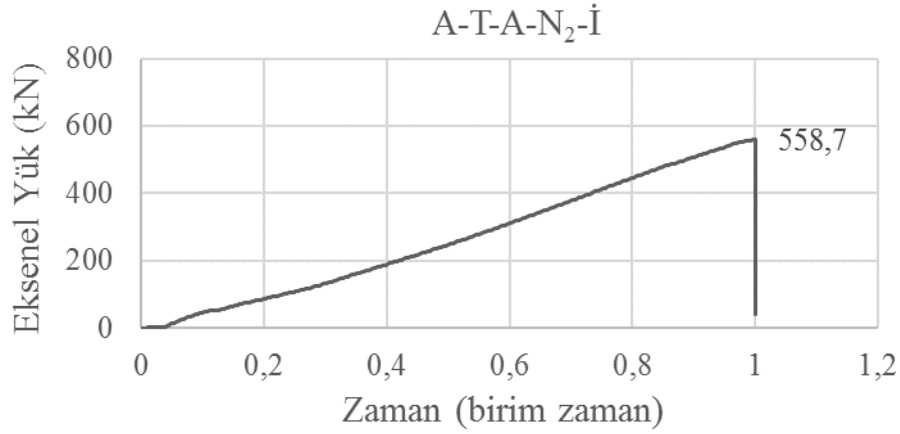
Şekil 4.48. B firması çift bindirmeli bağlantı deneyleri ikinci numunelerin sonuç grafiği

A-T-O-N₁-İ numunesinin Şekil 4.49'da görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 653,5 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Bu numune, A-T-O-N₁ numunesine uygulanan eksenel yük sonucunda hasar görmüş kaynaklı birleşimin üzerine herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmadan yerinde ikinci kez kaynaklanarak yapılmıştır. İlk kaynak ile aynı özelliklerde yapılan kaynak birleşimine uygulanan eksenel yük dayanımı incelendiğinde, bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.

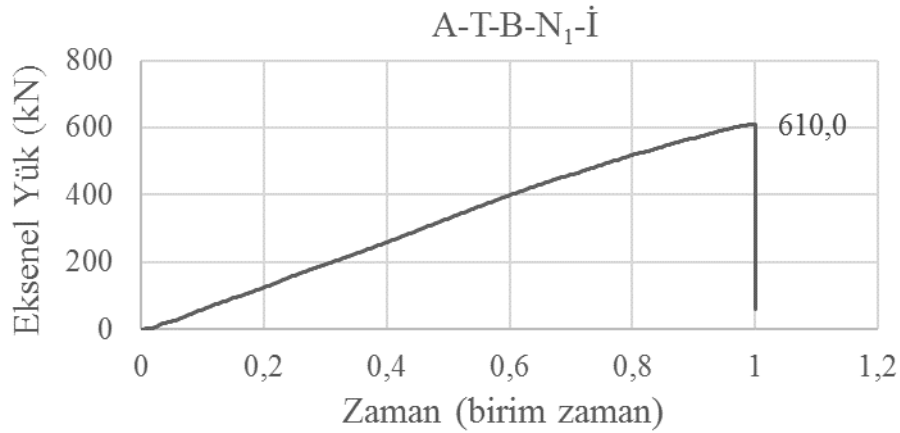


Şekil 4.49. A-T-O-N₁-İ deney sonucu grafiği

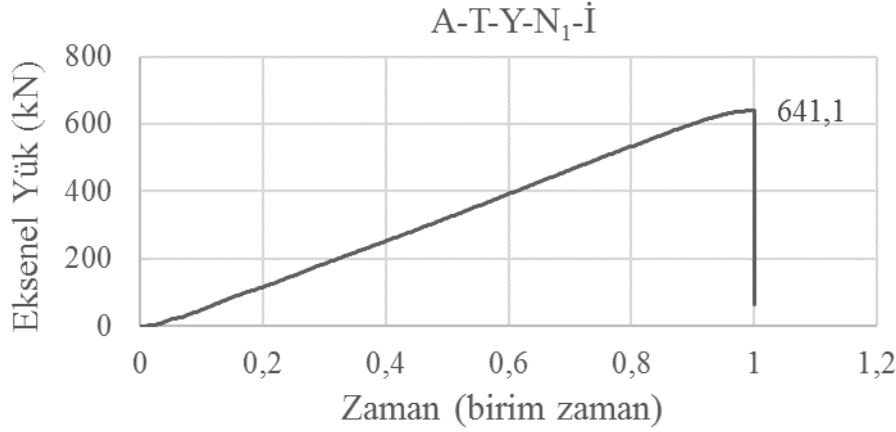
A-T-A-N₂-İ numunesinin Şekil 4.50'de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 558,7 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Bu numune, A-T-A-N₂ numunesine uygulanan eksenel yük sonucunda hasar görmüş kaynaklı birleşimin üzerine herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmadan yerinde ikinci kez kaynaklanarak yapılmıştır. İlk kaynak ile aynı özelliklerde yapılan kaynak birleşimine uygulanan eksenel yük dayanımı incelenmiştir. Numuneden beklenen kapasite minimum 600 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim, beklenen değere göre %7 oranında güvensiz tarafta kalmaktadır.

Şekil 4.50. A-T-A-N₂-İ deney sonucu grafiği

A-T-B-N₁-İ numunesinin Şekil 4.51’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 610 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Bu numune, A-T-B-N₁ numunesine uygulanan eksenel yük sonucunda hasar görmüş kaynaklı birleşimin üzerine herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmadan yerinde ikinci kez kaynaklanarak yapılmıştır. İlk kaynak ile aynı özelliklerde yapılan kaynak birleşimine uygulanan eksenel yük dayanımı incelendiğinde, bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.

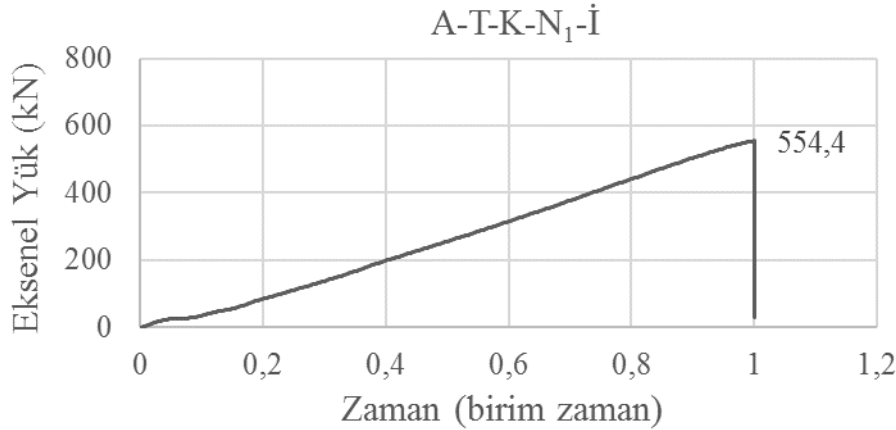
Şekil 4.51. A-T-B-N₁-İ deney sonucu grafiği

A-T-Y-N₁-İ numunesinin Şekil 4.52’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 641,1 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Bu numune, A-T-Y-N₁ numunesine uygulanan eksenel yük sonucunda hasar görmüş kaynaklı birleşimin üzerine herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmadan yerinde ikinci kez kaynaklanarak yapılmıştır. İlk kaynak ile aynı özelliklerde yapılan kaynak birleşimine uygulanan eksenel yük dayanımı incelendiğinde, bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



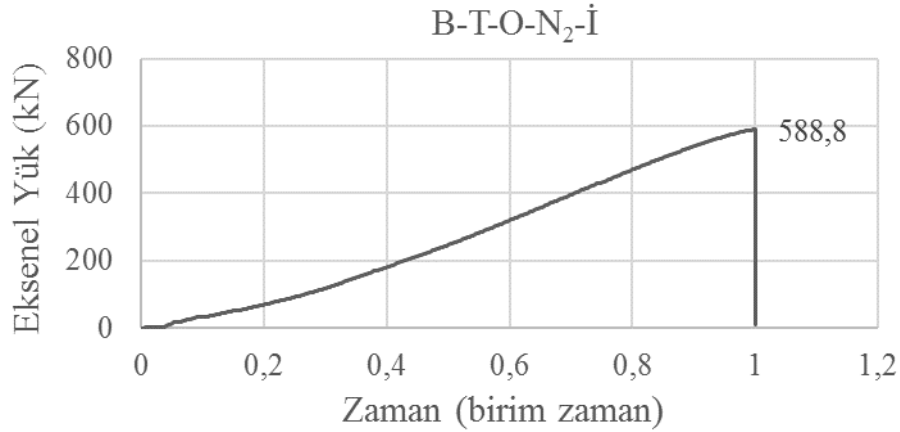
Şekil 4.52. A-T-Y-N₁-İ deney sonucu grafiği

A-T-K-N₁-İ numunesinin Şekil 4.53'te görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 554,4 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Bu numune, A-T-K-N₁ numunesine uygulanan eksenel yük sonucunda hasar görmüş kaynaklı birleşimin üzerine herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmadan yerinde ikinci kez kaynaklanarak yapılmıştır. İlk kaynak ile aynı özelliklerde yapılan kaynak birleşimine uygulanan eksenel yük dayanımı incelenmiştir. Numuneden beklenen kapasite minimum 600 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim, beklenen değere göre %8 oranında güvensiz tarafta kalmaktadır.



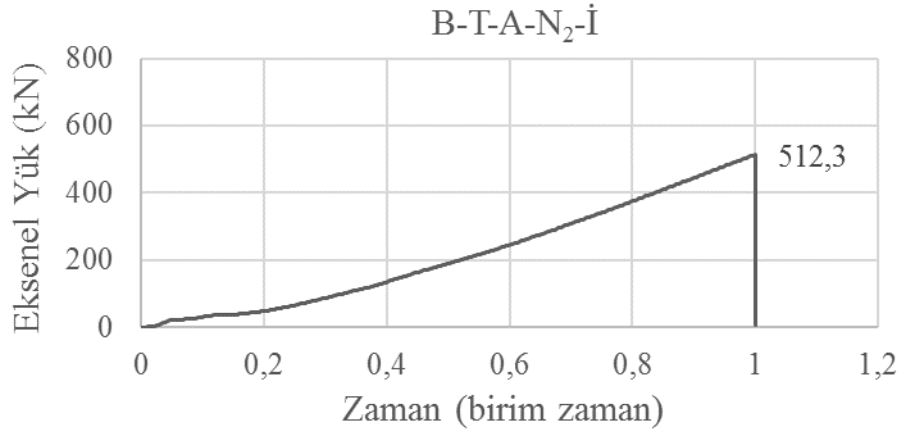
Şekil 4.53. A-T-K-N₁-İ deney sonucu grafiği

B-T-O-N₂-İ numunesinin Şekil 4.54'te görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 588,8 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Bu numune, B-T-O-N₂ numunesine uygulanan eksenel yük sonucunda hasar görmüş kaynaklı birleşimin üzerine herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmadan yerinde ikinci kez kaynaklanarak yapılmıştır. İlk kaynak ile aynı özelliklerde yapılan kaynak birleşimine uygulanan eksenel yük dayanımı incelenmiştir. Numuneden beklenen kapasite minimum 600 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim, beklenen değere göre %2 oranında güvensiz tarafta kalmaktadır.



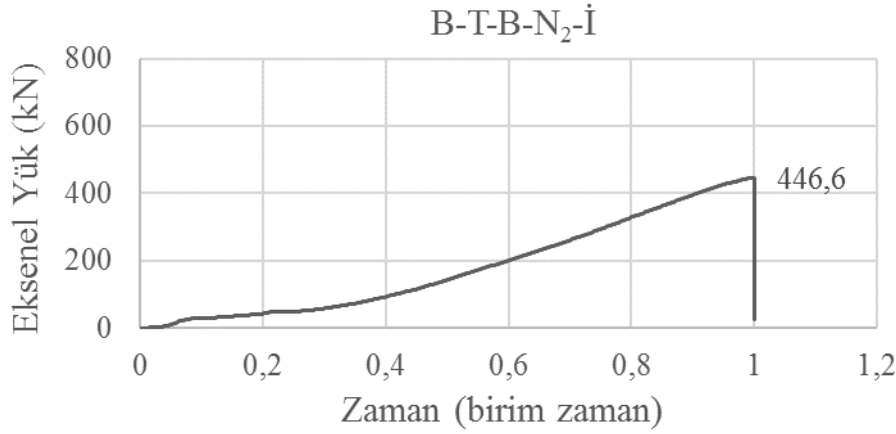
Şekil 4.54. B-T-O-N₂-İ deney sonucu grafiği

B-T-A-N₂-İ numunesinin Şekil 4.55'te görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 512,3 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Bu numune, B-T-A-N₂ numunesine uygulanan eksenel yük sonucunda hasar görmüş kaynaklı birleşimin üzerine herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmadan yerinde ikinci kez kaynaklanarak yapılmıştır. İlk kaynak ile aynı özelliklerde yapılan kaynak birleşimine uygulanan eksenel yük dayanımı incelenmiştir. Numuneden beklenen kapasite minimum 600 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim, beklenen değere göre %15 oranında güvensiz tarafta kalmaktadır.



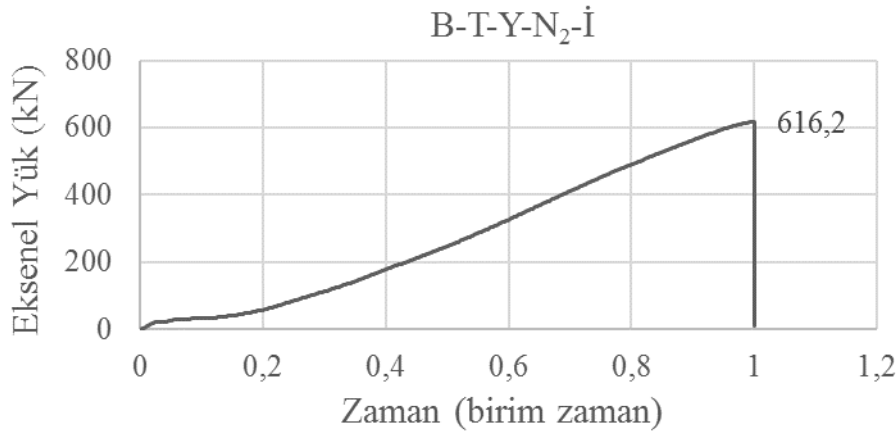
Şekil 4.55. B-T-A-N₂-İ deney sonucu grafiği

B-T-B-N₂-İ numunesinin Şekil 4.56'da görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği'nde, 446,6 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Bu numune, B-T-B-N₂ numunesine uygulanan eksenel yük sonucunda hasar görmüş kaynaklı birleşimin üzerine herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmadan yerinde ikinci kez kaynaklanarak yapılmıştır. İlk kaynak ile aynı özelliklerde yapılan kaynak birleşimine uygulanan eksenel yük dayanımı incelenmiştir. Numuneden beklenen kapasite minimum 600 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim, beklenen değere göre %26 oranında güvensiz tarafta kalmaktadır.



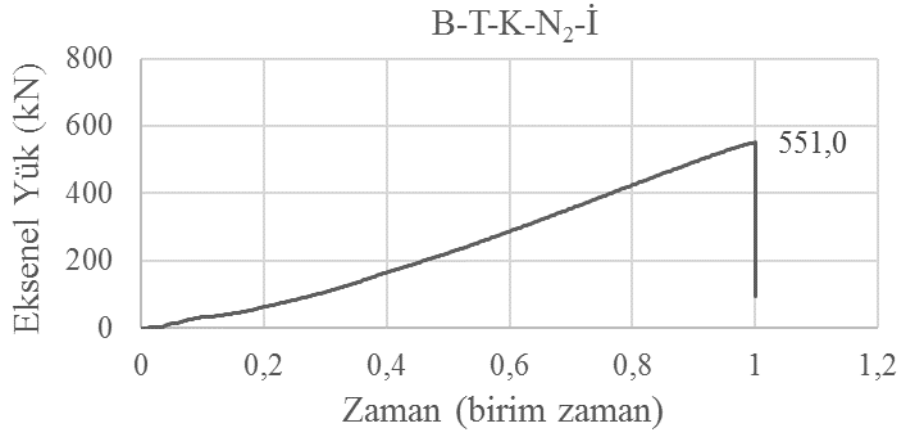
Şekil 4.56. B-T-B-N₂-İ deney sonucu grafiği

B-T-Y-N₂-İ numunesinin Şekil 4.57’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 641,1 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Bu numune, B-T-Y-N₂ numunesine uygulanan eksenel yük sonucunda hasar görmüş kaynaklı birleşimin üzerine herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmadan yerinde ikinci kez kaynaklanarak yapılmıştır. İlk kaynak ile aynı özelliklerde yapılan kaynak birleşimine uygulanan eksenel yük dayanımı incelendiğinde, bu kaynaklı birleşim, beklenen kapasitede ve güvenli tarafta kalmaktadır.



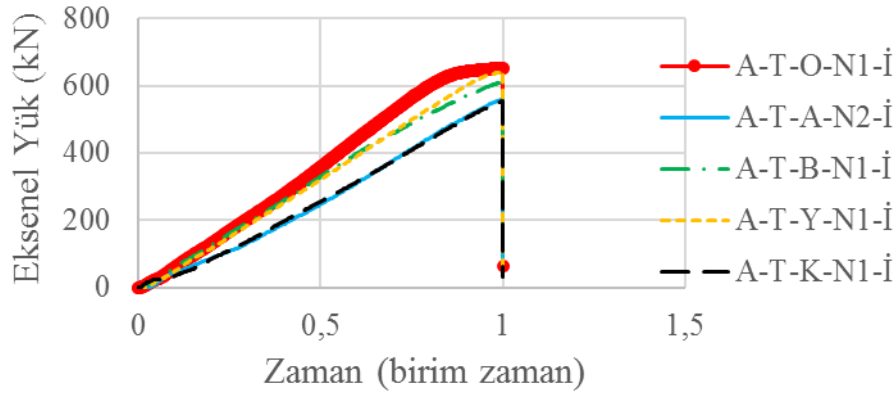
Şekil 4.57. B-T-Y-N₂-İ deney sonucu grafiği

B-T-K-N₂-İ numunesinin Şekil 4.58’de görülen Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği’nde, 551 kN eksenel yük dayanımına sahip olduğu görülmektedir. Bu numune, B-T-K-N₂ numunesine uygulanan eksenel yük sonucunda hasar görmüş kaynaklı birleşimin üzerine herhangi bir yüzey hazırlık işlemi yapılmadan yerinde ikinci kez kaynaklanarak yapılmıştır. İlk kaynak ile aynı özelliklerde yapılan kaynak birleşimine uygulanan eksenel yük dayanımı incelenmiştir. Numuneden beklenen kapasite minimum 600 kN'dur. Bu kaynaklı birleşim, beklenen değere göre %8 oranında güvensiz tarafta kalmaktadır.



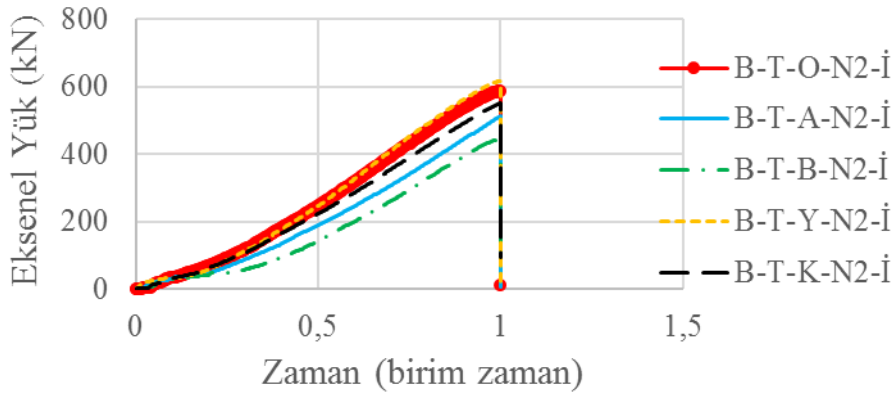
Şekil 4.58. B-T-K-N₂-İ deney sonucu grafiği

A firmasının yapmış olduğu tek bindirmeli bağlantılı birleşimlerden oluşan ve üzerinde çekme testi yapılarak hasar görmüş numunelerden her bir yüzey durumu etkisini içeren bir grup numune alınmıştır. Bu gruba, birinci kez yapılan kaynak koşulları ile aynı şekilde ve hiçbir yüzey temizliği ile eski kaynak temizliği yapılmadan, yerinde ikinci kez kaynaklama işlemi uygulanmıştır. Sonra bu numunelerin, birinci kez yapılan test ile aynı koşullarda, eksenel yük altındaki dayanımı ölçülmüştür. Bu numunelerin Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği Şekil 4.59'da görülmektedir. Grafikte en yüksek eksenel yük dayanımı A-T-Y-N₁-İ numunesinde, en düşük eksenel yük dayanımı A-T-K-N₁-İ numunesinde görülmektedir. Ayrıca A-T-A-N₂-İ ve A-T-K-N₁-İ numunelerinin kaynak dayanımları beklenen kaynak kapasitesinin altında kalmıştır.



Şekil 4.59. İkinci kez kaynak bağlantısı yapılan A firmasına ait numuneler sonuç grafiği

B firmasının yapmış olduğu tek bindirmeli bağlantılı birleşimlerden oluşan ve üzerinde çekme testi yapılarak hasar görmüş numunelerden her bir yüzey durumu etkisini içeren bir grup numune alınmıştır. Bu gruba, birinci kez yapılan kaynak koşulları ile aynı şekilde ve hiçbir yüzey temizliği ile eski kaynak temizliği yapılmadan, yerinde ikinci kez kaynaklama işlemi uygulanmıştır. Sonra bu numunelerin, birinci kez yapılan test ile aynı koşullarda, eksenel yük altındaki dayanımı ölçülmüştür. Bu numunelerin Eksenel Yük-Birim Zaman grafiği Şekil 4.60'ta görülmektedir. Grafikte en yüksek eksenel yük dayanımı B-T-Y-N₂-İ numunesinde, en düşük eksenel yük dayanımı A-T-B-N₂-İ numunesinde görülmektedir. Ayrıca B-T-O-N₂-İ, B-T-A-N₂-İ, B-T-B-N₂-İ ve A-T-K-N₁-İ numunelerinin kaynak dayanımları beklenen kaynak kapasitesinin altında kalmıştır.



Şekil 4.60. İkinci kez kaynak bağlantısı yapılan B firmasına ait numuneler sonuç grafiği

A firması tarafından yapılmış olan tek ve çift bindirmeli birleşimleri yapılmış deney numunelerinin deney sonuçları Çizelge 4.1’te tablo halinde gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde A-T-O-N₁, A-T-B-N₁, A-T-B-N₂ ve A-Ç-O-N₂ numunelerinin beklenen kaynak dayanımının altında olduğu görülmüştür. Bu dört adet numunenin ortak özelliğinin kaynak öncesi yüzey hazırlığı ve temizliğinin yapılmamış olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Kaynak öncesi hazırlık yapılmış olan A-T-K-N₁, A-T-K-N₂, A-Ç-K-N₁ ve A-Ç-K-N₂ numunelerinin ise dördünün de beklenen dayanımı sağladığı görülmüştür.

Çizelge 4.1. A firması deney sonuçları

Eleman Adı	Eksenel Yük (kN)
A-T-O-N ₁	563,8
A-T-A-N ₁	637,3
A-T-B-N ₁	358,2
A-T-Y-N ₁	637,4
A-T-K-N ₁	653,0
A-T-O-N ₂	632,8
A-T-A-N ₂	645,9
A-T-B-N ₂	452,6
A-T-Y-N ₂	631,8
A-T-K-N ₂	625,3
A-Ç-O-N ₁	655,8
A-Ç-A-N ₁	664,5
A-Ç-B-N ₁	635,5
A-Ç-Y-N ₁	632,0
A-Ç-K-N ₁	613,5
A-Ç-O-N ₂	516,0
A-Ç-A-N ₂	689,9
A-Ç-B-N ₂	670,9
A-Ç-Y-N ₂	645,4
A-Ç-K-N ₂	750,7

B firması tarafından yapılmış olan tek ve çift bindirmeli birleşimleri yapılmış deney numunelerinin deney sonuçları Çizelge 4.2’de tablo halinde gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde yalnızca B-T-B-N₁ numunesinin beklenen kaynak dayanımının altında olduğu görülmüştür. Bu numune kaynak öncesi yüzey hazırlığı ve temizliğinin yapılmamış olmasından dolayı dayanımının düşük sonuç verdiği düşünülmektedir. Kaynak öncesi hazırlık yapılmış olan B-T-K-N₁, B-T-K-N₂, B-Ç-K-N₁ ve B-Ç-K-N₂ numunelerinin ise dördünün de beklenen dayanımı sağladığı görülmüştür.

Çizelge 4.2. B Firması deney sonuçları

Eleman Adı	Eksenel Yük (kN)
B-T-O-N ₁	693,1
B-T-A-N ₁	693,5
B-T-B-N ₁	377,3
B-T-Y-N ₁	653,9
B-T-K-N ₁	668,1
B-T-O-N ₂	648,8
B-T-A-N ₂	703,0
B-T-B-N ₂	704,1
B-T-Y-N ₂	658,8
B-T-K-N ₂	654,7
B-Ç-O-N ₁	718,5
B-Ç-A-N ₁	732,6
B-Ç-B-N ₁	668,1
B-Ç-Y-N ₁	734,8
B-Ç-K-N ₁	763,3
B-Ç-O-N ₂	711,2
B-Ç-A-N ₂	750,7
B-Ç-B-N ₂	696,8
B-Ç-Y-N ₂	709,6
B-Ç-K-N ₂	712,3

Çizelge 4.3. Yüzey durumlarına göre eksenel yük dayanımlarının karşılaştırılması

Yüzey Durumu	Eleman Adı	Eksenel Yük Dayanımı (kN)	Beklenen Dayanımdan Yaklaşık Fark (%)
Oriijinal	A-T-O-N1	563,8	-6
	A-T-O-N2	632,8	0
	A-Ç-O-N1	655,8	0
	A-Ç-O-N2	516,0	-14
	B-T-O-N1	693,1	0
	B-T-O-N2	648,8	0
	B-Ç-O-N1	718,5	3
	B-Ç-O-N2	711,2	2
Antikoroziif	A-T-A-N1	637,3	0
	A-T-A-N2	645,9	0
	A-Ç-A-N1	664,5	0
	A-Ç-A-N2	689,9	0
	B-T-A-N1	693,5	0
	B-T-A-N2	703,0	0,4
	B-Ç-A-N1	732,6	5
	B-Ç-A-N2	750,7	7
Boyalı	A-T-B-N1	358,2	-40
	A-T-B-N2	452,6	-25
	A-Ç-B-N1	635,5	0
	A-Ç-B-N2	670,9	0
	B-T-B-N1	377,3	-37
	B-T-B-N2	704,1	1
	B-Ç-B-N1	668,1	0
	B-Ç-B-N2	704,1	0,6
Yağlı	A-T-Y-N1	637,4	0
	A-T-Y-N2	631,8	0
	A-Ç-Y-N1	632,0	0
	A-Ç-Y-N2	645,4	0
	B-T-Y-N1	653,9	0
	B-T-Y-N2	658,8	0
	B-Ç-Y-N1	734,8	5
	B-Ç-Y-N2	709,6	1
Kumlama	A-T-K-N1	653,0	0
	A-T-K-N2	625,3	0
	A-Ç-K-N1	613,5	0
	A-Ç-K-N2	750,7	7
	B-T-K-N1	668,1	0
	B-T-K-N2	654,7	0
	B-Ç-K-N1	763,3	9
	B-Ç-K-N2	712,3	2

Yüzey durumlarına göre sınıflandırılan ve eksenel yük dayanımları karşılaştırılan deney numuneleri incelendiğinde (Bkz. Çizelge 4.3), yüzey hazırlığı yapılmayan orijinal yüzey durumunun ve boyalı yüzey durumunun kaynak dayanımını genel olarak olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Antikoroziyfli yüzey durumunun ve yağlı yüzey durumunun kaynak dayanımını genel olarak olumsuz yönde etkilemediği görülmüştür. Yüzey hazırlığı yapılan kumlama yüzey durumunun ise kaynak dayanımını genel olarak olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

A firması ve B firmasının yapmış olduğu tek bindirmeli bağlantılı birleşimlerden oluşan ve üzerinde çekme testi yapılarak hasar görmüş numunelerden her bir yüzey durumu etkisini içeren numunelerin, ikinci kez kaynaklama işlemi uygulanması sonucunda elde edilen eksenel yük dayanımları Çizelge 4.4'te tablo halinde gösterilmiştir. On adet numuneden oluşan deney grubu içinden altı adet numune beklenen kaynak dayanımını sağlamamıştır. Oldukça yüksek bir oranda kapasitenin altında performans gösteren bu grup incelendiğinde, yerinde onarım ve tadilat yapılan kaynaklı birleşimlerin güvenilirliğini düşündürmektedir.

Çizelge 4.4. A firması ve B firması ikinci kez kaynaklanmış deney sonuçları

Eleman Adı	Eksenel Yük (kN)	Beklenen Dayanımdan Yaklaşık Fark (%)
A-T-O-N ₁ -İ	653,5	0
A-T-A-N ₂ -İ	558,7	-7
A-T-B-N ₁ -İ	610,0	0
A-T-Y-N ₁ -İ	641,1	0
A-T-K-N ₁ -İ	554,4	-8
B-T-O-N ₂ -İ	588,8	-2
B-T-A-N ₂ -İ	512,3	-15
B-T-B-N ₂ -İ	446,6	-26
B-T-Y-N ₂ -İ	616,2	0
B-T-K-N ₂ -İ	551,0	-8

İkinci kez kaynak yapılmış olan numunelerin eksenel yük dayanımlarının, ilk kez kaynak yapıldıklarında bulunan eksenel yük dayanımları ile karşılaştırılması, tablo halinde Çizelge 4.5'te gösterilmiştir. İncelenen on adet numuneden altısında, birinci kez kaynak yapıldığında bulunan eksenel çekme yük dayanımına göre ikinci kez kaynak yapıldığında bulunan eksenel çekme yük dayanımı düşüş göstermiş ve ikinci kez kaynakta bulunan dayanımları beklenen kapasitenin altında bulunmuştur. A-T-B-N₁-İ numunesindeki değişim yüksek oranda artış göstermiş olup, bu durum yüzey üzerindeki boya maddesinin yapılan ilk kaynakta eriyip kaybolmasıyla ikinci kaynakta olumsuz etki göstermeyip dayanımı yükseltmiş olduğu düşünülmektedir. A-T-B-N₁-İ numunesinde değişim oranı da artmış görünmektedir. Bu numunede ilk kaynakta bulunan orijinal yüzeydeki olumsuzlukların kaynak sonrası ortadan kalkmasıyla ikinci kaynakta olumsuz göstermediği düşünülmüştür. Deney sonuçlarından da görüldüğü üzere, tekrar yapılan kaynak birleşimi ile elde edilen deney elemanlarının taşıma kapasiteleri büyük bir değişim göstermektedir. Dolayısı ile ikinci kez yapılan kaynak işleminin güvenilirliği konusunun büyük bir sorun oluşturabileceği görülmektedir. İkinci kez kaynaklı birleşimi yapılan kaynak ile elde edilen kaynak kapasitesinin büyük değişim göstermesinden dolayı, ikinci kez yapılan kaynakların güvenilirliği oldukça düşüktür.

Çizelge 4.5. Birinci kez kaynaklanmış sonuçları ile ikinci kez kaynaklanmış deney sonuçlarının kıyaslaması

Eleman Adı	Birinci kez kaynak Eksenel Yük (kN)	İkinci kez kaynak Eksenel Yük (kN)	Değişim Oranı (%)
A-T-O-N ₁ -İ	563,8	653,5	16
A-T-A-N ₂ -İ	645,9	558,7	-13
A-T-B-N ₁ -İ	358,2	610,0	70
A-T-Y-N ₁ -İ	637,4	641,1	1
A-T-K-N ₁ -İ	653,0	554,4	-15
B-T-O-N ₂ -İ	648,8	588,8	-9
B-T-A-N ₂ -İ	703,0	512,3	-27
B-T-B-N ₂ -İ	704,1	446,6	-37
B-T-Y-N ₂ -İ	658,8	616,2	-6
B-T-K-N ₂ -İ	654,7	551,0	-16

4.3. Verilerin Özetlenmesi ve Genel Değerlendirme

Yapılan tüm deney gruplarına ait deney sonuçları Çizelge 4.7 ve Şekil 4.61'da özetlenmiştir. Gerek grafik ve gerekse tablo incelendiğinde, elde edilen kaynak kapasitesi 600-800 kN arasındadır. Tüm grafikler ve tablolara bakıldığında, en yüksek çekme dayanımı 763,3 kN ile B-2-K-1'de, en düşük çekme dayanımı 358,2 kN ile A-T-B-N₁'de bulunmuştur. Ancak A-T-O-N₁, A-T-B-N₂, A-Ç-O-N₂, A-T-A-N₁-İ, A-T-K-N₁-İ, B-T-O-N₁-İ, B-T-A-N₁-İ, B-T-B-N₁-İ, B-T-K-N₁-İ elemanlarına bakıldığında eksenel çekme kapasitesinin ortalama 400 kN ile ortalama 600 kN arasında olduğu görülmüştür. Ayrıca

A-T-B-N₁, B-T-B-N₁ elemanları incelendiğinde eksenel çekme kapasitesinin 300 kN ile 400 kN arasında, ortalama 350 kN civarında olduğu görülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmada iki farklı firma tarafından yapılan kaynakların kapasite olarak birbirine yakın olduğu görülmüştür. A firmasının yapmış olduğu kaynak birleşiminin eksenel çekme kapasitesinin ortalama 650 kN olduğu, B firmasının yapmış olduğu kaynak birleşiminin kapasitesinin ise ortalama 700 kN olduğu görülmüştür. Bazı numunelerde kaynaklı birleşimlerin eksenel çekme dayanımlarının, beklenen dayanımdan daha fazla çıktığı gözlenmiştir. Firmalardan istenilen kaynaklı birleşimlerin üniversitede test edilmek amaçlı yapıldığının bilinmesi nedeniyle, firma çalışanlarının normal çalışma koşullarına göre daha dikkatli ve özenli çalıştıkları ve normal koşullarda bu dayanımların kısmen daha düşük olabileceği düşünülebilir. Aynı zamanda, kaynak ilerleme hızı takip edilememiştir. Firmaları, kaynak birleşimlerini yaparken izleme imkanı bulunmadığı için bu aşama kontrol edilememiş olup numunelerdeki kaynaklı birleşimlerin kısmen daha düşük değerlerde seyredeceği düşünülebilir.

Şekil 4.61’de görüldüğü gibi 600 kN’un altında toplam beş adet deney elemanı görülmektedir. Yüzeylerine herhangi bir yüzey işlemi yapılmamış olan orijinal yüzeyli numunelerden ve yüzeyi solvent içerikli epoksi boyalı numunelerden oluşan bu gruptaki genel özellik, kaynak öncesi yüzey hazırlık işlemlerinden hiç birinin uygulanmamış olmasıdır. Deneysel çalışmada çelik yüzeylerin işlenmesinin kaynak kapasitesine etkisinin oldukça fazla olduğu görülmüştür.

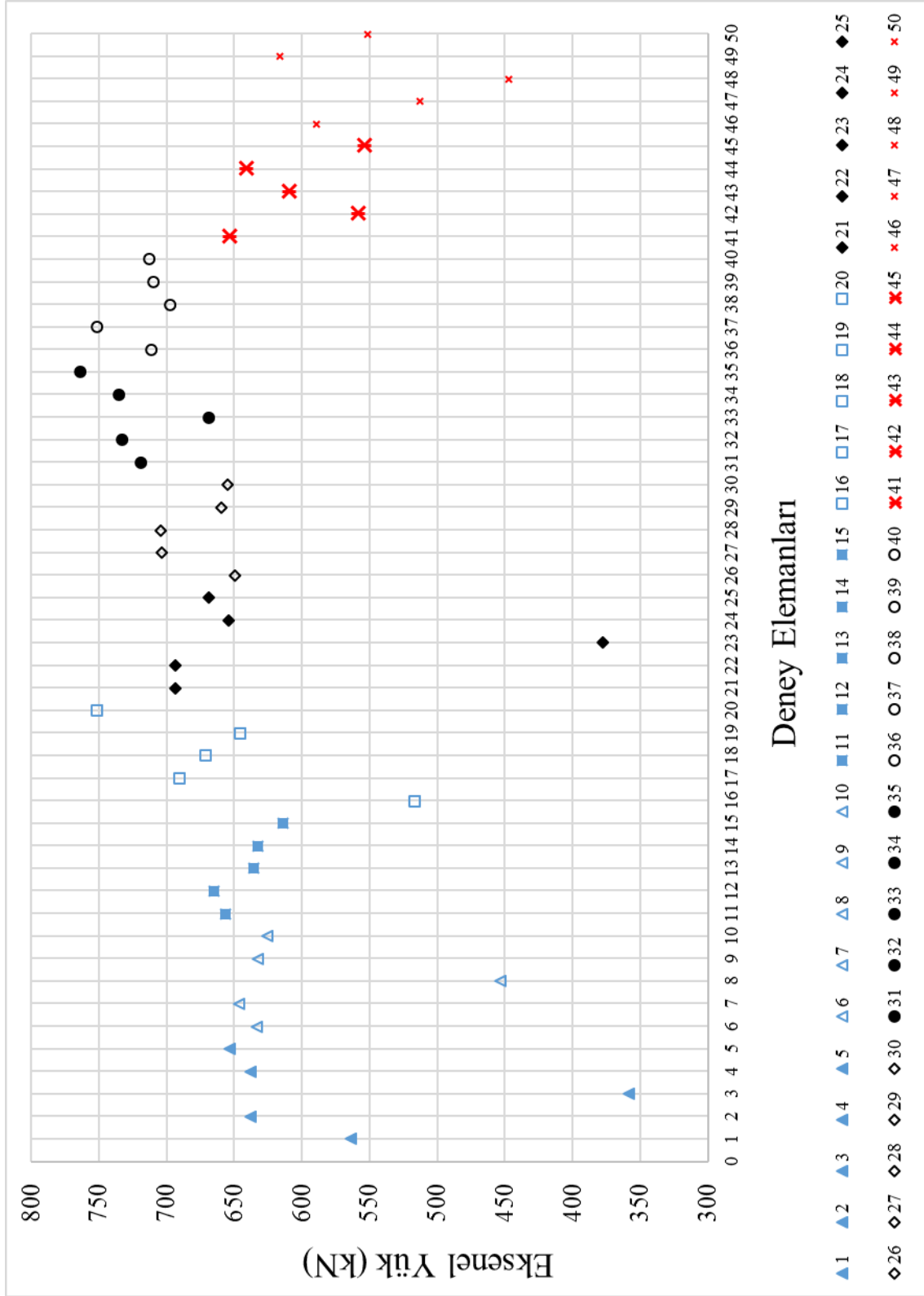
Deney numunelerinin tasarımında, deney sonrası beklenen eksenel yük dayanımlarından daha düşük kapasitede olan kaynak birleşimleri özet tablo olarak Çizelge 4.6’te gösterilmiştir. Bu tabloda her bir numunenin ne kadar güvensiz tarafta kaldığı yaklaşık olarak yüzdelik oranda belirtilmiştir. Tablodaki ilk beş numune, ilk kez kaynak yapılan numuneler, son beş numune ikinci kez kaynak yapılmış olan numunelerdir. İlk beş numunedeki oranlar oldukça fazladır ve yüzeyine hiçbir işlem yapılmamış orijinal yüzeyli olan numuneler ve yüzeyi solvent içerikli epoksi boyalı olan numunelerden oluşmaktadır. Bu değerlere sahip bir kaynaklı birleşimin yapı elemanlarında kullanılması oldukça sağlıksız olabileceği görülmektedir.

Çizelge 4.6. Beklenen değerden düşük performans gösteren numunelerin güvensiz tarafta kalma oranları

Deney Elemanları	Yaklaşık Oran (%)
A-T-O-N ₁	-6
A-T-B-N ₁	-40
A-T-B-N ₂	-25
A-Ç-O-N ₂	-14
B-T-B-N ₁	-37
A-T-A-N ₂ -İ	-7
A-T-K-N ₁ -İ	-8
B-T-O-N ₂ -İ	-2
B-T-A-N ₂ -İ	-15
B-T-B-N ₂ -İ	-26
B-T-K-N ₂ -İ	-8

Çizelge 4.7. Şekil 4.66.'da bulunan eleman numaralarının ve verilerin detayları

Sıra No	Deney Elemanları	Eksenel Yük (KN)
1	A-T-O-N ₁	563,8
2	A-T-A-N ₁	637,3
3	A-T-B-N ₁	358,2
4	A-T-Y-N ₁	637,4
5	A-T-K-N ₁	653,0
6	A-T-O-N ₂	632,8
7	A-T-A-N ₂	645,9
8	A-T-B-N ₂	452,6
9	A-T-Y-N ₂	631,8
10	A-T-K-N ₂	625,3
11	A-Ç-O-N ₁	655,8
12	A-Ç-A-N ₁	664,5
13	A-Ç-B-N ₁	635,5
14	A-Ç-Y-N ₁	632,0
15	A-Ç-K-N ₁	613,5
16	A-Ç-O-N ₂	516,0
17	A-Ç-A-N ₂	689,9
18	A-Ç-B-N ₂	670,9
19	A-Ç-Y-N ₂	645,4
20	A-Ç-K-N ₂	750,7
21	B-T-O-N ₁	693,1
22	B-T-A-N ₁	693,5
23	B-T-B-N ₁	377,3
24	B-T-Y-N ₁	653,9
25	B-T-K-N ₁	668,1
26	B-T-O-N ₂	648,8
27	B-T-A-N ₂	703,0
28	B-T-B-N ₂	704,1
29	B-T-Y-N ₂	658,8
30	B-T-K-N ₂	654,7
31	B-Ç-O-N ₁	718,5
32	B-Ç-A-N ₁	732,6
33	B-Ç-B-N ₁	668,1
34	B-Ç-Y-N ₁	734,8
35	B-Ç-K-N ₁	763,3
36	B-Ç-O-N ₂	711,2
37	B-Ç-A-N ₂	750,7
38	B-Ç-B-N ₂	696,8
39	B-Ç-Y-N ₂	709,6
40	B-Ç-K-N ₂	712,3
41	A-T-O-N ₁ -İ	653,5
42	A-T-A-N ₂ -İ	558,7
43	A-T-B-N ₁ -İ	610,0
44	A-T-Y-N ₁ -İ	641,1
45	A-T-K-N ₁ -İ	554,4
46	B-T-O-N ₂ -İ	588,8
47	B-T-A-N ₂ -İ	512,3
48	B-T-B-N ₂ -İ	446,6
49	B-T-Y-N ₂ -İ	616,2
50	B-T-K-N ₂ -İ	551,0



Şekil 4.61. Yapılan deney sonuçlarına ait özet halindeki Eksenel yük-Zaman grafiği

4.4. Deney Sonrası Fotoğraflar

Köşe kaynak ile kaynak birleşimi yapılan çelik levhalara, aksenal çekme kuvveti uygulanarak çekme testi yapılmıştır. Yapılan tüm testlerde, deney öncesi ve deney sonrası davranışı daha iyi inceleyebilmek adına görüntü kaydı yapılmıştır. Bu bölümde deney sonrası alınan görüntüler bulunmaktadır.

Şekil 4.62, Şekil 4.64 ve Şekil 4.66’da görüldüğü gibi, tek bindirmeli bağlantılı kaynaklı birleşimi yapılan çelik numunelere aksenal çekme kuvveti uygulandığı esnadaki göçme sırasında, çelik numunelerin kaynak yapılan bölgesinde, eğilmeler meydana geldiği görülmüştür. Eğilmeler, kaynak dikişlerinin ağırlık ekseninin, eleman ağırlık eksenine göre eksantrikliğinden kaynaklanmaktadır.

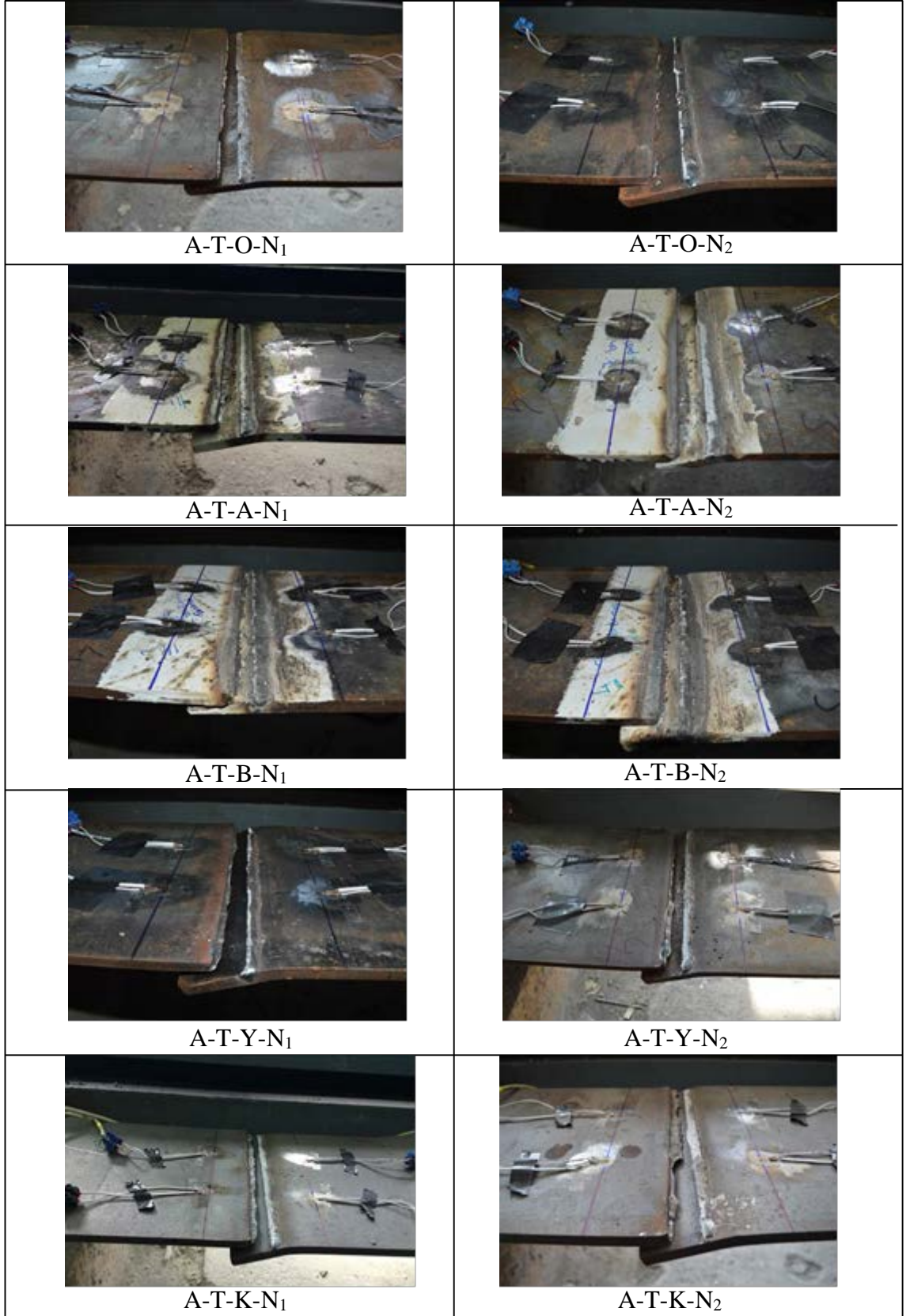
Şekil 4.62’de A firması tarafından yapılan tek bindirmeli kaynak birleşimi yapılan birinci numunelerin ve ikinci numunelerin deney sonrası fotoğrafları gösterilmiştir. Numuneler incelendiğinde, A-T-K-N₁ numunesinin kaynağın boydan boya yırtılması şeklinde göçtüğü görülmüştür. Bu kaynak hasarı incelendiğinde kaynakta herhangi bir kusur görülmemiştir. Kaynak birleşiminin, kaynak yapılan elemandan ayrılmayıp kendi içerisinde göçtüğü tespit edilmiştir. Bu göçme tipi arzu edilen bir göçme tipidir. Çünkü uygulamada kaynak bağlantısının çelik elemanlar ile çok iyi birleşmesi ve yük aktarımının garanti altına alınması gerekmektedir.

Şekil 4.63’te A firması tarafından yapılan çift bindirmeli kaynak birleşimi yapılan birinci numunelerin ve ikinci numunelerin deney sonrası fotoğrafları gösterilmiştir. Numuneler incelendiğinde, A-Ç-O-N₁, A-Ç-O-N₂, A-Ç-A-N₁, A-Ç-O-N₂, A-Ç-B-N₂, A-Ç-Y-N₂, A-Ç-K-N₁, A-Ç-K-N₂ numunelerinde kaynağın boydan boya yırtılması şeklinde göçtüğü görülmüştür. A-Ç-B-N₁, A-Ç-Y-N₁ numunelerinde ise kaynağın tamamının kopmadığı, yırtılmanın kısmen gerçekleştiği görüşmüştür. Numunelerin hasarları incelendiğinde kaynak birleşiminin, kaynak yapılan elemandan ayrılarak göçtüğü tespit edilmiştir.

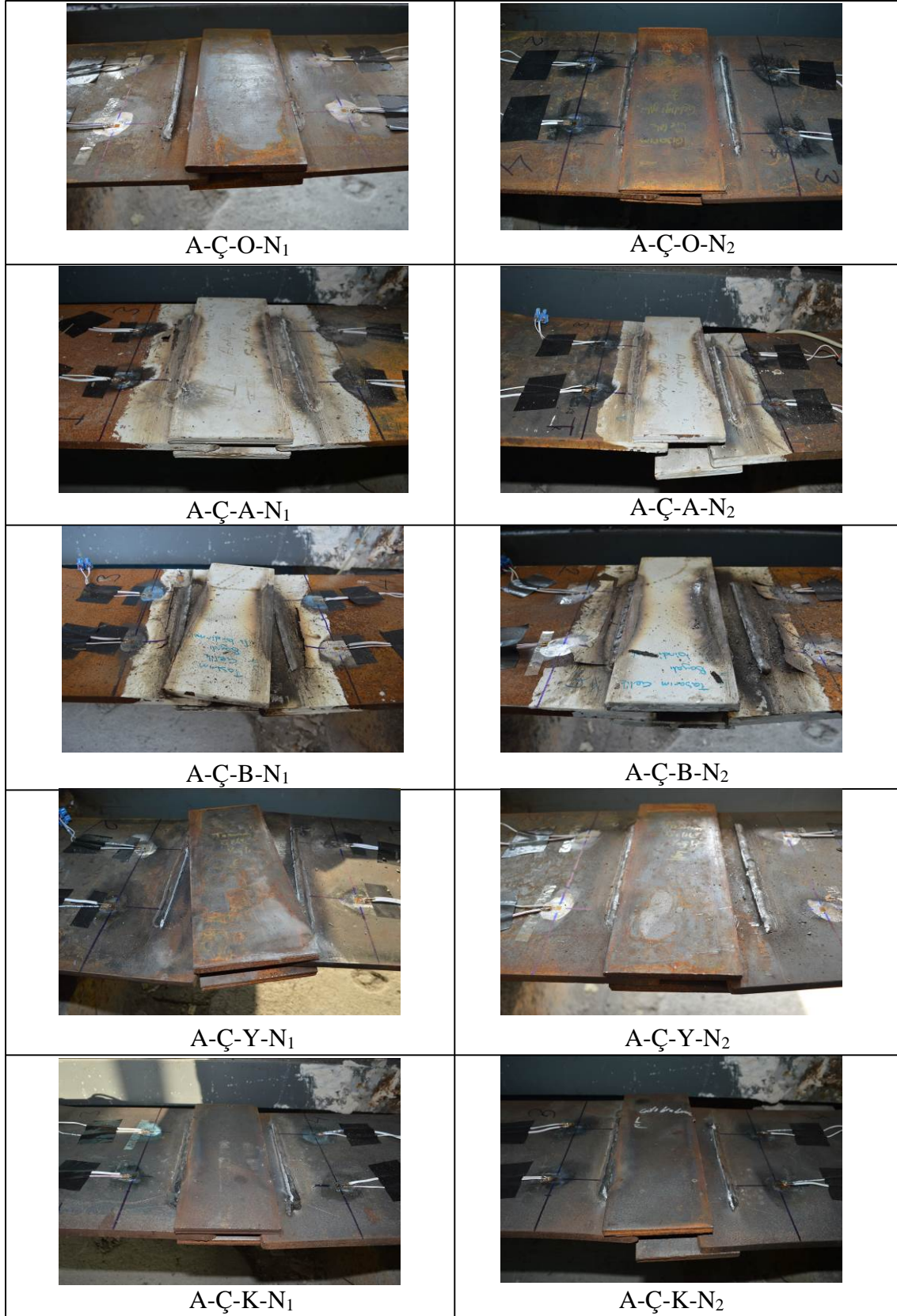
Şekil 4.64’te B firması tarafından yapılan tek bindirmeli kaynak birleşimi yapılan birinci numunelerin ve ikinci numunelerin deney sonrası fotoğrafları gösterilmiştir. Numuneler incelendiğinde, B-T-B-N₁ ve B-T-B-N₂ numunelerinde kaynak birleşimi boydan boya yırtılmıştır. Ancak kaynağın kendi içinde değil, çelik plaka yüzeyinden göçtüğü görülmüştür. B-T-A-N₂ numunesinde ise kaynak yapılan metalde kopma olduğu görülmüştür. Kopma, kaynak yapılan ısının tesiri altında kalan bölgede (ITAB) gerçekleşmiştir. Kaynak bölgesinde gerçekleşen bu olayın kaynak ısının etkisinden ve yüzey durumundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Şekil 4.65'te B firması tarafından yapılan çift bindirmeli kaynak birleşimi yapılan birinci numunelerin ve ikinci numunelerin deney sonrası fotoğrafları gösterilmiştir. Numuneler incelendiğinde, B-Ç-O-N₁, B-Ç-B-N₁, B-Ç-B-N₂ ve B-Ç-Y-N₁ numunelerinde kaynağın boydan boya yırtılması şeklinde göçtüğü görülmüştür. Bu numunelerde de kaynak göçme yerlerinde eşitsizlikler mevcuttur. Çift bindirmeli plakalardan oluşan deney grubunun içerisindeki B-Ç-K-N₁ numunesine bakıldığında, göçme tam istenildiği gibi kaynağın kendisinden oluşmasına ve eşitsizlikler görünmemesine rağmen boydan boya yırtılmamıştır. Bu numunenin ve genel olarak bu grubun tamamı incelendiğinde kaynak kapasitelerinin tamamının beklenen değerin altında olmadığı görülmüştür (Bkz. Çizelge 4.2).

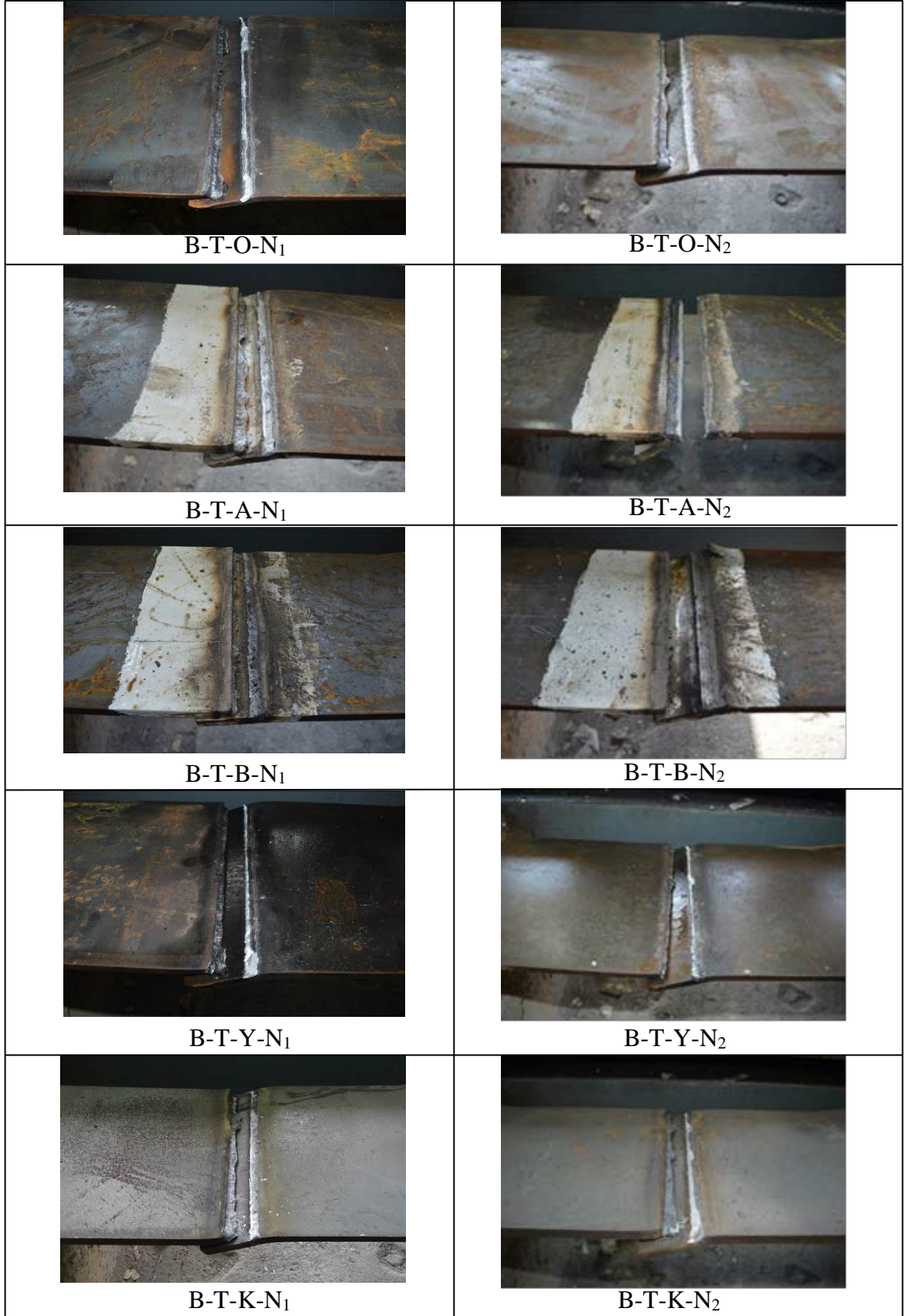
A firması ve B firmasının yapmış olduğu tek bindirmeli bağlantılı birleşimlerden oluşan ve üzerinde çekme testi yapılarak hasar görmüş numunelerden her bir yüzey durumu etkisini içeren on adet numunenin, ikinci kez kaynaklama işlemi yapılmıştır. Şekil 4.66'da bu numunelerin tahribatlı muayene yöntemlerinden çekme deneyi yapıldıktan sonra alınan fotoğrafları gösterilmiştir. Numuneler incelendiğinde, tüm birleşimlerde boydan boya yırtılma oluşmuştur. A-T-A-N₂-İ, A-T-B-N₁-İ, B-T-O-N₁-İ, B-T-A-N₁-İ ve B-T-B-N₁-İ numunelerinin kaynak hasar yüzeylerindeki eşitsizliklerin fazla olması dikkat çekmektedir. Eşitsizlik görünen bu numunelerin beşinde de kaynak dayanımı beklenen değerin altında sonuç vermiştir (Bkz. Çizelge 4.4).



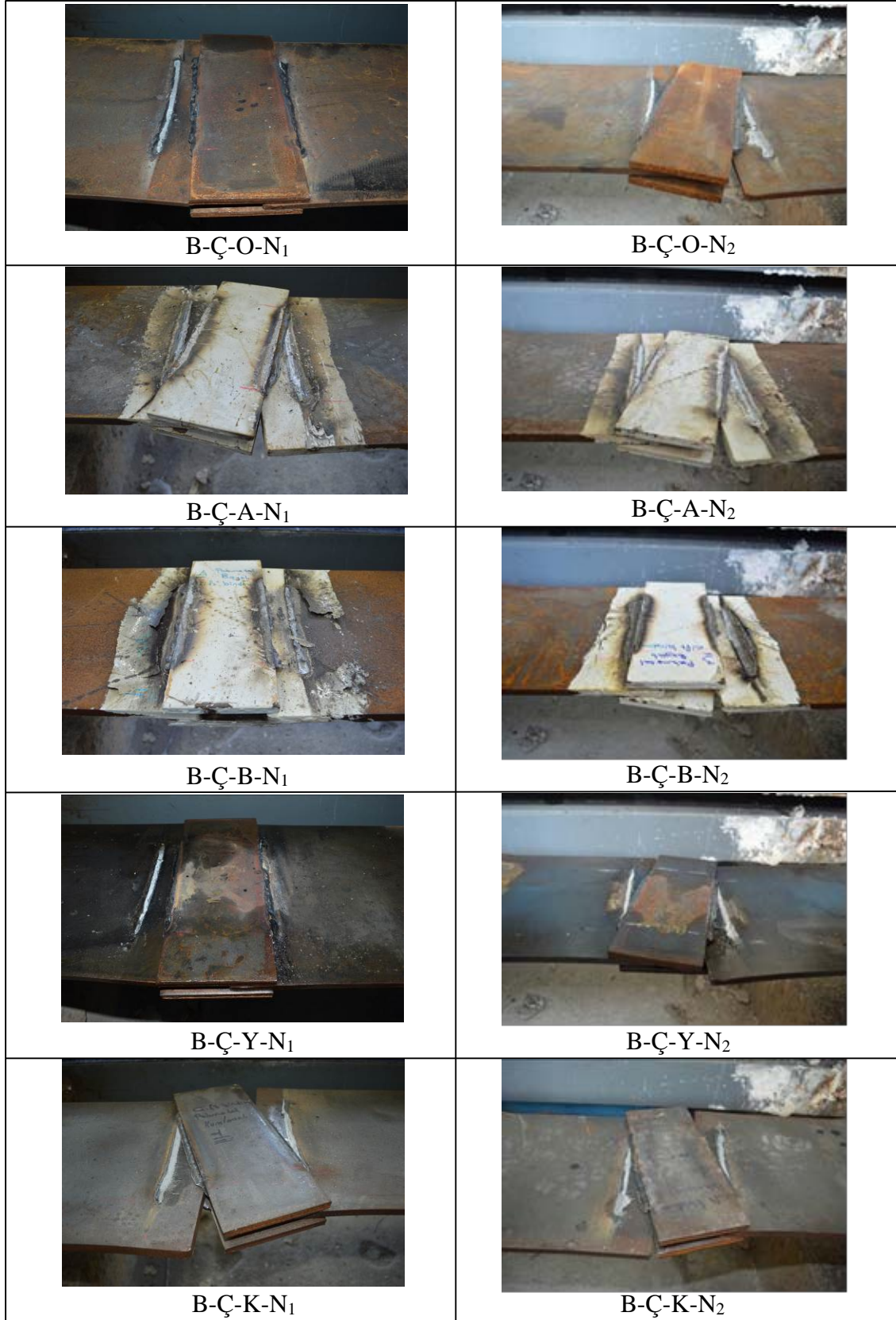
Şekil 4.62. A firması tarafından yapılan tek bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney sonrası fotoğraflar



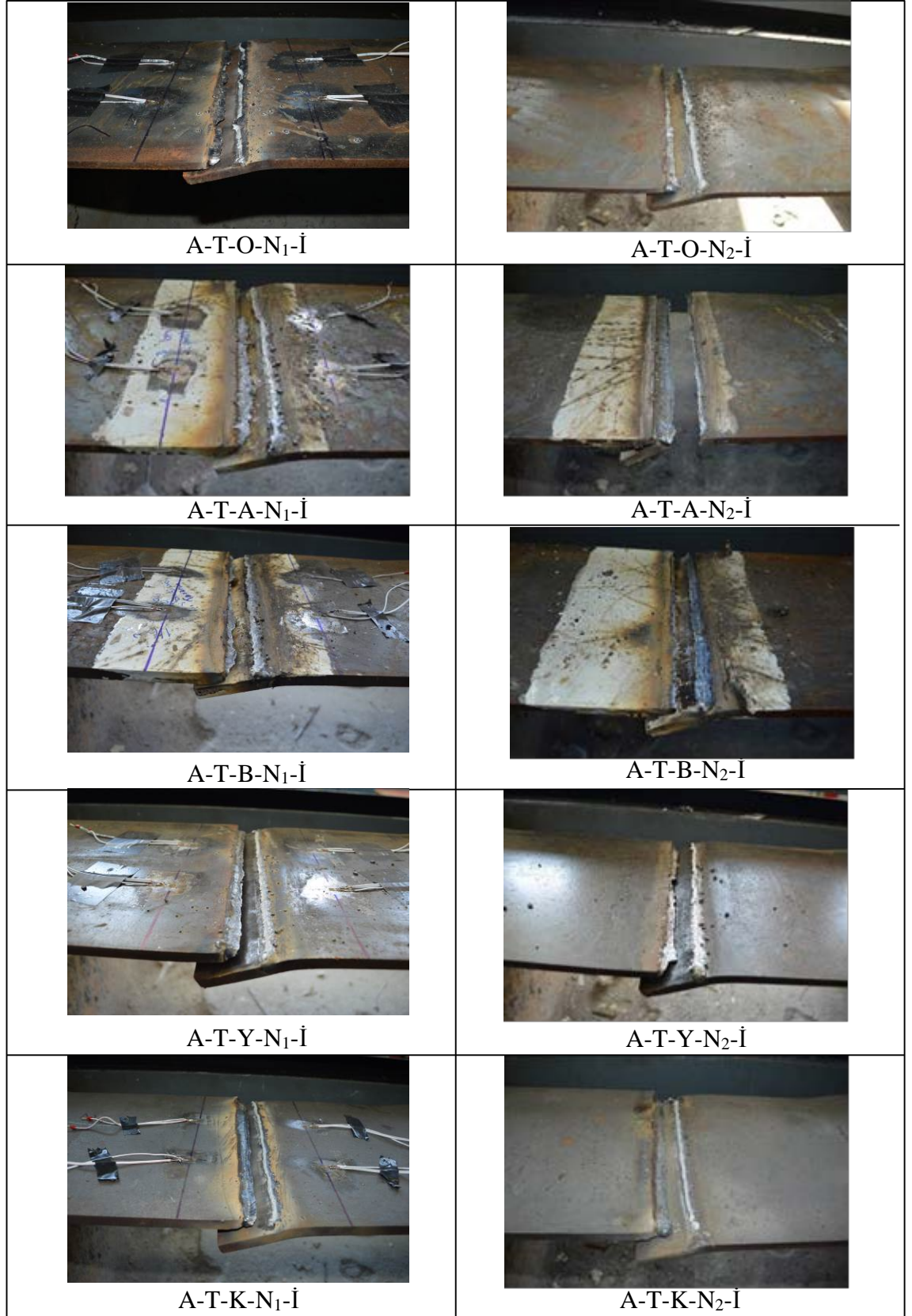
Şekil 4.63. A firması tarafından yapılan çift bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney sonrası fotoğraflar



Şekil 4.64. B firması tarafından yapılan tek bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney sonrası fotoğraflar



Şekil 4.65. B firması tarafından yapılan çift bindirmeli kaynak birleşimini gösteren deney sonrası fotoğraflar



Şekil 4.66. İkinci kez kaynak yapılmış olan malzeme grubunun kaynak birleşimini gösteren deney sonrası fotoğraflar

5. SONUÇ

5.1. Giriş

Gün geçtikçe büyüyen yapı sektöründe çelik yapıların kullanımı giderek artmaktadır. Çelik yapıların birleşiminde ise, uygulama alanlarına göre bakıldığında en çok tercih gören birleşim çeşidi olarak kaynaklı birleşimler kullanılmaktadır. Kaynaklı birleşimlerde, kaynak ile kaynak yapılan esas malzemenin birleştiği yer, kaynak yapılan esas malzeme şeklinde davranış gösterir. Bu anlamda, kaynaklı birleşimler diğer birleşim türlerine kıyasla avantajlı olarak görülmektedir. Bu avantajın sürekliliği için kaynak birleşiminde kalite kavramı giderek daha da önemini kazanmaktadır. Bu yüzden kaynak birleşiminde gerekli kalitenin sağlanması amacıyla gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Çelik yapılarda kaynak kalitesini etkileyen birçok faktör vardır. Bu çalışmada çelik yüzey durumunun kaynak kalitesine etkisi incelenmiştir. Çalışmada, çelik yapı malzemelerinde yüzey durumunun kaynak kalitesine etkisi ile ilgili geniş bir literatür taraması yapılmıştır. Kaynak kalitesini etkileyen faktörlerden yüzey etkisi bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışma ile incelenmiştir.

Bu tez çalışması; kaynaklı birleşimi yapılacak olan çelik yapıların, kaynak işlemi öncesinde ve sonrasında karşılaşılabilecek kaynak kalitesinin yetersizliğinden kaynaklanmış olan mukavemet düşüklüğü ve hasarlar için önceden bilgilendirme ve bilinçlendirmeyi amaçlanmıştır.

Deneysel çalışmamızda, St37 çelik plakaların yüzeylerinde orijinal, anti-korozif boyalı, epoksi boyalı, yağlı ve kumlmalı olmak üzere beş çeşit yüzey hazırlığı yapılmıştır. Plakalar, tek ve çift bindirmeli bağlantılı olarak köşe kaynağı ile birleştirilmiştir. Bu birleşimlerden oluşan kırk adet deney numunesine tahribatlı muayene yöntemi olarak çekme testi yapılmıştır. Eksenel çekme yükü altındaki kaynak dayanımları ölçülmüştür. Daha sonra tahribat görmüş bu plakalar içinden tek bindirmeli bağlantılardan on adet numuneye, yerinde ikinci kez köşe kaynak ile birleşim yapılmıştır. Hiçbir yüzey hazırlığı yapılmadan ve ilk kaynak ile aynı özelliklerde uygulanan kaynaklı birleşime tekrar çekme testi uygulanmıştır. Eksenel çekme yükü altındaki dayanımı ölçülmüştür. Yapılan tüm ölçümlerden elde edilen sonuçlar Bölüm 5.2’de, öneriler Bölüm 5.3’te verilmiştir.

5.2. Sonuçlar

- Çelik yapıların birleşim elemanlarından kaynaklı birleşimlerin kalitesini belirleyen faktörler bulunmaktadır. Kaynaklı birleşimlerin kalitesini belirleyen faktörler oldukça komplike bir bütün olmakla birlikte kaynak kalitesi, kaynak yöntemiyle ilgili bütün parametrelerden etkilenmektedir.
- Çalışmadan elde edilen verilerde beş farklı yüzey durumunun kaynak kalitesine etkisi incelenmiştir. Yüzey hazırlığı yapılmayan orijinal yüzey durumundaki deney numunelerinin kaynak dayanımını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.
- Yüzey hazırlığı yapılmadan uygulanan antikorozyon epoksi astar boyalı yüzey durumundaki deney numunelerinin kaynak dayanımının olumsuz yönde etkilenmediği görülmüştür.
- Yüzey hazırlığı yapılmadan uygulanan solvent içerikli epoksi boyalı yüzey durumundaki deney numunelerinin kaynak dayanımının yaklaşık %40'a kadar kapasite değişimine sebep olduğu ve büyük oranda olumsuz yönde etkilendiği görülmüştür.
- Yüzey hazırlığı yapılmadan uygulanan makine yağı ile kaplanmış yüzey durumundaki deney numunelerinin kaynak dayanımının olumsuz yönde etkilenmediği görülmüştür.
- Yüzey hazırlığı işlemi olarak ISO 8501-1 Sa2,5 Standardı kalitesinde kumlama işlemi yapıldığında kaynak dayanımının olumlu yönde etkilendiği görülmüştür.
- Kaynak öncesi yüzey hazırlığı, ilgili standartlara göre yapıldığında yüzey durumunun etkisi kaynak mukavemetini olumlu yönde etkilenmektedir.
- Deneysel çalışması yapılan kaynaklı birleşim numunelerine yüzey hazırlığı yapılmadan ikinci kez kaynak uygulandıktan sonraki aksel çekme testi sonuçları incelenmiştir. Hasar görmüş kaynaklı birleşimlere, yerinde tadilat ve onarım amaçlı yapılan kaynaklı birleşimlerin, olması gereken mukavemette davranmadığı, oldukça düşük dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Bu tür tamir amaçlı ikinci kaynak uygulamasında kaynak kapasitesi değişimi oldukça fazladır.
- İkinci kez yerinde yapılan kaynak uygulamalarında, önce ve sonraki dayanımları arasında kıyaslama yapıldığında, sonraki dayanımlarında doğrudan düşüş olduğu görülmüştür. Ancak bazı numunelerde kapasite artışı meydana gelmesi, bu tür kaynak uygulamalarının güvenilir olduğu anlamına gelmemekle beraber, yapılmasının da uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.
- Deney sonuçları kaynak kalitesinin yüzey durumundan etkilendiğini ve bu etkinin ise en fazla epoksi boyalı deney numunelerinde meydana geldiğini göstermiştir.

5.3. Öneriler

- Çelik yapılarda tasarımı yapılan kaynaklı birleşimler muayene yöntemlerine uygun olmalıdır.
- Kaynaklı birleşimlerde yeterli mukavemetin elde edilmesi ve sürekliliğin sağlanması için kaynak kalitesine önem verilmelidir. Kaynak kalitesine etki eden parametrelerden yüzey durumuna gereken önem verilmelidir.
- Kaynak kalitesini arttırabilmek için, kaynaklı birleşimi yapılan parçaların yüzey durumunun tüm konstrüksiyona etkisini olduğu bilinmeli ve yüzey temizliği gibi önceden belirlenmiş koşulların sağlanması gerekir.
- Kaynaklı birleşimlerde kaliteden kaynaklı problemler ortaya çıkmadan önce gerekli tedbirler alınmalı ve çözümler üretilmelidir. Önceden belirlenmiş koşullara uyabilmek için ilgili standartlara bağlı kalınmalıdır.
- Kaynaklı birleşimlerde, herhangi bir sebepten dolayı hasar görmüş kaynak üzerinde yapılacak olan tadilat-onarım amaçlı yeniden kaynak işlemi yapılması yerine başka çözümler aranmalıdır. Bu kapsamda ek deneysel çalışmaya ihtiyaç vardır.
- Çelik yapılarda birleşim detaylarından kaynaklı birleşimlerde, kaynak yapılacak kısımlarda en uygun yüzey hazırlıklarından birisi olması sebebiyle kumlama ile temizliğe yer verilmelidir.
- Kaynak kalitesinde kaynak işçiliğinin yaklaşık %20'ye kadar kapasite değişimine sebep olduğu düşünülmeli ve dolayısı ile hesaplarda bunun dikkate alınması gereklidir.

6. KAYNAKLAR

- ANIK, S. 1990. Gaz Altı Ark Kaynağı. Gedik Holding A.Ş.Yayınları, İstanbul, 284 s.
- ANIK, S. 1991. Kaynak Tekniği El Kitabı. Gedik Holding A.Ş.Yayınları, İstanbul, 212 s.
- ANIK, S., TÜLBENTÇİ, K. ve KALUÇ, E. 1991. Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağı. Gedik Holding A.Ş.Yayınları, İstanbul, 296 s.
- BAYINDIR, B. 2015. Gemi İnşaatında Alüminyum Kaynağı Ve Alüminyum Tekne İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 92 s.
- DEREN, H., UZGIDER, E. ve PIROĞLU, F. 2003. Çelik Yapılar. Çağlayan Kitabevi, İstanbul, Cilt 4, 951 s.
- DETAYKALİTE, D. 2016. Kaynak ve Kaynak Teknikleri. <http://www.detayquality.com/teknik/46.pdf> (erişim tarihi:25.06.2016).
- DİKİCİOĞLU, A. 2011. İmal Usulleri. Ders Notları. İstanbul Teknik Üniversitesi, 164 s.
- ERDİL, B. 2014. Çelik Yapılar-Birleşim Araçları-Perçinler Bulonlar. Ders Notları. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, 16 s.
- ERYÜREK, İ.B. 2007. Gazaltı Ark Kaynağı. Askaynak Kaynak Teknolojisi Kaynak Tekniği Ticaret ve Sanayi A.Ş. Yayınları, İstanbul, 2. Baskı: 1-120.
- GATWICKTECHNOLOGIES. Sürtünme kaynağı nedir. <http://www.gatwicktechnologies.com/processes/friction-welding> (erişim tarihi: 27.06.2016).
- GÖZÜTOK, E. 2011. Paslanmaz Çeliklerin Tig Kaynağında Argon-Hidrojen Gaz Karışımının Birleştirmelerin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, 2011.
- İMO İstanbul Şubesi. 2015. İMO – 01.R-01/2005 Çelik Yapılarda Kaynaklı Birleşimler Hesap Yapım ve Muayene Kuralları. Maya Basın Yayın, 230 s.
- KAFTAN, M.A. 2006. Çelik Yapılarda Korozyon Oluşumu ve Korozyondan Korunma Yöntemlerinin Maliyet Açısından Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, 112 s.
- KIYAK, T. et. all. 2008. Çelik yüzeylerdeki boya altı korozyonuna karşı çevre dostu iletken polipirol kaplamalar. Fatih Üniversitesi Çevre Kulübü Konferans Yayını, Gazi Üniversitesi, 7 s.
- KOBELCO. Welding. 2016. (<http://www.kobelco-welding.jp/education-center/technical-highlight/vol11.html>) (erişim tarihi 26.06.2016).

- KOÇANOĞULLARI, S. ve KÖKSAL, N.S. 2015. TM Malzemelerin Korozyon Direncine Sıcak Daldırma Alüminyum Kaplamanın Etkisi. *CBÜ Fen Bil. Dergisi*, 11(2):241-251.
- KUTAY, M.G. 2010. Kaynak Bağlantıları. <http://www.guven-kutay.ch/index.htm> (erişim tarihi: 09.12.2005).
- MEB 2011. Metal Teknolojisi Tahribatlı Muayene. 521MMI207 Ders Kitabı, Milli Eğitim Yayınları, Ankara, 38 s.
- MEB 2011. Metal Teknolojisi Yüzey Yemizleme. 521MMI209 Ders Kitabı, Milli Eğitim Yayınları, Ankara, 38 s.
- MEB 2011. Motorlu Araçlar Teknolojisi Temel Kaynak. 521MMI688 Ders Kitabı, Milli Eğitim Yayınları, 101 s.
- MEB 2012. İnşaat Teknolojisi Çelik Yapı İmalat Kontrolü. 582YIM221 Ders Kitabı, Milli Eğitim Yayınları, Ankara, 49 s.
- OERLIKON. 2000. Depreme Dayanıklı Yapılar İçin Kaynak Uygulamaları. Oerlikon A.Ş. Yayınları, İstanbul, 19 s.
- OĞUZ, B. 1975. Ark Kaynağı El Kitabı. Oerlikon A.Ş. Yayınları, İstanbul, 23 s.
- OĞUZ, B. 1988. Kaynak Bilimi. Oerlikon A.Ş. Yayınları, İstanbul, 23 s.
- SALMON, C.G. and JOHNSON, J.E. 1996. Steel structures: design and behavior: emphasizing load and resistance factor design. Harper Collins College Publishers, Fourth Edition:188-274.
- SEVİNÇ, C. 2015. Zırhlı Muharebe Araçlarında Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının Kaynak Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 83 s.
- ŞIK, A. 2004. MIG/MAG Metodu İle Kaynak Yapılan Yapı Çeliği (St 37-2) Levhaların Eğme Yorulması Gerilmesine Çeşitli Aktif Gazların Etkisi. *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 15: 45-47.
- SÖNMEZ, F. 2007. Sürtünme Kaynağıyla Birleştirilmiş Yüksek Hız Çeliği (hss) ve aisi 1040 Çeliklerinde Mukavemet ve Metalurjik Özelliklerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, 63 s.
- TAMA, Y.S. 2009. Çelik Yapı Uygulamalarında Kullanılacak Kaynak Yöntemleri, Üstünlükleri ve Sakıncalı Yönleri. Teknik Makaleler. Türk Yapısal Çelik Derneği, <http://www.tucsa.org/images/yayinlar/makaleler/Celik-Yapi-Uygulamalarinda-Kullanilacak-Kaynak-Yontemleri.pdf> (erişim tarihi: 09.12.2015).

- TAŞ, L. 2008. Sa2,5 Standartı Nedir. *Yüzey İşlem ve Kumlama Dergisi*, 06(2):48.
- TS 3357. 1979. TS-3357 Çelik Yapılarda Kaynaklı Birleşimlerin Hesap ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, 1. Baskı: 50 s.
- TS 648. 1980. TS-648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, 1. Baskı: 45 s.
- TS 8501-1. 2008. TS-EN-ISO-8501-1 Çelik taban malzeme yüzeylerin hazırlanması. Türk Standartları Enstitüsü, 1. Baskı: 85 s.
- TURAN, B. 2014. İmal Usulleri-Kaynak. Ders Notları. Bilecik Üniversitesi, 16 s.
- ÜNAL, R. 2008. Kaynak Teknolojileri. İmalat Teknolojileri Ders Notları, Dumlupınar Üniversitesi, 52 s.
- VURAL, M. 2011. EÜT 231 Üretim Yöntemleri. Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, 19 s.
- VURAL, M., ANIK. S. ve DİKİCİOĞLU, A. 1999. İmal Usulleri. Birsen Yayınevi, İstanbul, 300 s.
- YAZICIOĞLU, H. ve AKALIN, V. 2001. Co-Cr Parsiyel Protez Alaşımının Gaz/Oksijen ve Laser ile Lehimlenmesi Sonrası Çekme Kuvvetine Direncinin Karşılaştırılması. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi*, 5: 28-31.

ÖZGEÇMİŞ



Gülçin BARBAROS AK 1983 yılında Kütahya’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Eskişehir’de, lise öğrenimini Malatya’da tamamladı. 2001 yılında girdiği Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2013 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2014 yılında SPK-GDU lisansını aldı. 2006 yılından beri özel sektörde İnşaat Mühendisi olarak görev yapmaktadır.