

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİK YAPILARDA MAG GAZALTI KAYNAKLI
BİRLEŞİMLERİN STATİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mahmut ÇAĞLAR

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet ATASOY

Eylül 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÇELİK YAPILARDA MAG GAZALTI KAYNAKLI
BİRLEŞİMLERİN STATİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mahmut ÇAĞLAR

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez ^{06/09}2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr.
Ahmet ATASOY
Jüri Başkanı

Prof. Dr.
Süleyman Can
KURNAZ
Üye

Dr. Öğr. Üyesi
Faruk VAROL
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mahmut ÇAĞLAR

06/09/2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Ahmet ATASOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış, bilgi paylaşımı ve yardımlarını esirgemeyen İmkosan firmasına ve özellikle firma sahiplerinden Sayın Dr. İnan GEÇMEN Bey'e teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın tamamlanmasında maddi/manevi desteklerini esirgemeyen başta kıymetli eşim Burcu ÇAĞLAR'a ve Setap Yapı Müh. İnş. San. ve Tic. A.Ş.'ye özellikle Sayın M. Ali GÖZAYDIN ve Ahmed ÇELİK Bey'lere teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
ÇELİK KONSTRÜKSİYON TASARIMI.....	3
2.1. Çelik Konstrüksiyon Tasarım İlkeleri	3
2.1.1. Emniyet gerilmeleri yöntemi.....	4
2.1.2. Plastik tasarım	4
2.1.3. Yük ve mukavemet ilkesi.....	5
2.2. Çelik Konstrüksiyonda Tasarım Süreci	5
2.3. Çelik Yapı Çeşitleri ve Tanımları.....	9
2.3.1. Çelik çatılar	9
2.3.1.1. Çelik çatı çeşitleri	9
2.3.1.2. Çelik çatı elemanları	10
2.3.2. Çelik köprüler	12
2.4. Profil Tipleri ve Çeliklerin Sınıflandırılması.....	12
2.4.1. TS EN 10020 Standardına göre çelikler	12

2.4.2. Genel kullanım amaçlı çelikler.....	14
2.4.2.1. Alaşimsız yapı çelikleri (TS EN 10025-2)	15
2.4.3. Profil tipleri.....	16
2.4.3.1. I Profilleri	17
2.4.3.2. U Profilleri	17
2.4.3.3. L Profilleri	18
2.4.3.4. Özel yapım profiller.....	18
2.4.3.5. Kapalı yapı profilleri (kutu ve borular).....	19
2.4.3.6. Açık yapı profiller.....	19
BÖLÜM 3.	
ÇELİK KONSTRÜKSİYON İMALATLARI VE KAYNAK UYGULAMARI	20
3.1. Kaynak Yöntemleri.....	21
3.1.1. Gaz eritme kaynağı.....	22
3.1.2. Elektrik ark kaynağı.....	24
3.1.2.1. Elektrot kaynağı	24
3.1.2.2. Tozaltı kaynağı	26
3.1.2.3. Gazaltı kaynağı	28
BÖLÜM 4.	
GAZALTI KAYNAĞI	29
4.1. TIG Kaynağı.....	31
4.2. MIG/MAG Kaynağı.....	33
4.2.1. Korucu gazlar.....	35
4.2.2. Çalışma tekniği.....	41
4.2.3. MIG/MAG kaynak yönteminin üstünlükleri.....	58
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMA	62
5.1. Tez Konusu İçin Seçilen Çelik Proje.....	62
5.1.1. Projenin tasarımı	63

5.1.1.1. Mimari tasarım	63
5.1.1.2. Statik hesaplama SAP2000	63
5.1.2. Projenin imalatı ve projede kullanılan kaynak yöntemi	65
5.1.3. Birleşim noktalarının incelenmesi	65
5.1.3.1. Cıvatalı ve perçinli birleşim noktaları	66
5.1.3.2. Kaynaklı birleşim noktaları	67
5.2. Projede Kullanılan Analiz ve Muayene Yöntemleri	70
5.2.1. Tahribatsız testler	70
5.2.2. Tahribatlı testler	70
5.2.3. Makro ve mikro yapı incelemeleri	76
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	77
6.1. Statik ve Tasarım Değerlendirilmesi	77
6.2. Kaynaklı Birleşim Noktalarının Değerlendirilmesi	81
6.2.1. Çekme testi değerlendirilmesi	84
6.2.2. Eğme testi değerlendirilmesi	87
6.2.3. Çentik darbe testi değerlendirilmesi	88
6.2.4. Sertlik testi değerlendirilmesi	89
6.2.5. Kırılma testi değerlendirilmesi	91
6.3. Makro ve Mikro Yapıların Değerlendirilmesi	92
6.3.1. Makro yapı değerlendirilmesi	92
6.3.2. Mikro yapı değerlendirilmesi	93
BÖLÜM 7.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	98

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Al	: Alüminyum
B	: Bor
Bi	: Bizmut
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
DT	: Tahribatlı testler
ITAB	: Isının Tesiri Altında Kalan Bölge
La	: Lantanitler
MAG	: Metal Activ Gas
MIG	: Metal Inert Gas
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
MT	: Manyetik test
Nb	: Nikel
NDT	: Tahribatsız testler
PT	: Penetrant test
RT	: Radyografi testi
Se	: Selenyum
Si	: Silisyum
Te	: Telkür
Ti	: Titan
TIG	: Tungsten Inert Gas
UT	: Ultrasonik test
V	: Vanadyum
VT	: Gözle muayene

W : Tungsten
WPS : Kaynak uygulama talimatı
Pb : Kurşun
Zr : Zirkonyum



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Çelik yapı.....	3
Şekil 2.2: Çelik konstrüksiyon (M.E.B, 2013)	6
Şekil 2.3: Kiriş – Kiriş bağlantı tipleri (Tekla, 2017)	7
Şekil 2.4: Kiriş – Kolon Bağlantı Tipleri (Tekla, 2017)	7
Şekil 2.5: Çapraz bağlantı tipleri (Tekla, 2017)	8
Şekil 2.6: Kaynaklı bağlantı tip örnekleri (Tekla, 2017)	8
Şekil 2.7: Tek açıklıklı sistem (M.E.B, 2013).....	9
Şekil 2.8: Çok açıklıklı sistem (M.E.B, 2013)	9
Şekil 2.9: Uzay çatı sistemleri	10
Şekil 2.10: Mahya Aşığı – Orta Aşık – Mertekler (M.E.B, 2013)	11
Şekil 2.11: Örnek Makas (M.E.B, 2013) ve Kiriş Tipleri.....	11
Şekil 2.12: I profilleri (M.E.B, 2011)	17
Şekil 2.13. U profilleri (M.E.B, 2011)	18
Şekil 2.14. L profilleri (M.E.B, 2011)	18
Şekil 2.15. Özel üretim profiller (petek kirişler) (M.E.B, 2011)	18
Şekil 2.16. Kapalı yapı profilleri (“4B Makine ürün kataloğu”,2019)	19
Şekil 2.17. Açık yapı profilleri (“Hekim profil ürün kataloğu”, 2019)	19
Şekil 3.1. ITAB (Tama, 2016)	21
Şekil 3.2. Kaynaklı birleşimlerde hasar oluşumları (Tama, 2016)	21
Şekil 3.3. Oksi-Asetilen kaynağı donanım şeması (Tama, 2016)	23
Şekil 3.4. Oksi-Asetilen kaynağı ile metal parçaların kesilmesi (Tama, 2016)	23
Şekil 3.5. CNC Plazma	23
Şekil 3.6. Bazı yardımcı kaynak donanımları (Tama, 2016)	24
Şekil 3.7. Elektrot Kaynağı Donanım Şeması (Tama, 2016)	25
Şekil 3.8. Elektrot kaynağında arkın oluşumu (Tama, 2016)	25
Şekil 3.9. Elektrot kaynağı uygulaması (Tama, 2016)	26

Şekil 3.10. Tozaltı kaynak donanım şeması ve kaynak makinesi (Tama, 2016)	27
Şekil 4.1. TIG kaynak donanım şeması (Tama, 2016)	31
Şekil 4.2. TIG Kaynak uygulamaları (Tama, 2016)	32
Şekil 4.3. MIG kaynak donanımı blok şeması (Ertürk,1987)	33
Şekil 4.4. Çeşitli tip MIG kaynak donanımları (Ertürk,1987)	34
Şekil 4.5. Koruyucu gaz cinsine bağlı olarak çeşitli metallerde nüfuziyetin değişimi (Ertürk,1987)	37
Şekil 4.6. Koruyucu gaz cinsinin ark ve kaynak dikişine etkisi (Ertürk,1987)	38
Şekil 4.7. MAG kaynağında kullanılan kenetli tel elektrotlar (Ertürk,1987)	39
Şekil 4.8. MIG - MAG Akım üretici ve ayarlar (Ertürk,1987)	40
Şekil 4.9. Δt ayarı ile ark boyunun kaynak süresince sabit kalması (Ertürk,1987) ...	41
Şekil 4.10. Hamlacın meyline göre dikiş formunun değişimi (Ertürk,1987)	42
Şekil 4.11. Kısa Ark ve Uzun Ark ile yapılan MAG kaynağında arkın davranışları (Ertürk,1987)	43
Şekil 4.12. MAG kaynağında kaynak parametreleri ile dikiş formunun değişimi (Ertürk,1987)	44
Şekil 4.13. MIG - MAG kaynağında gaz sarfiyatı tel çapı, lüle çapı ve akım şiddeti arasındaki bağıntı (Ertürk,1987)	45
Şekil 4.14. Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi (şematik) (Ertürk,1987) ..	45
Şekil 4.15. Serbest tel uzunluğunun uygun değerleri (Ertürk,1987)	46
Şekil 4.16. Kaynak pozisyonuna göre dikiş formunun değişimi (Ertürk,1987)	46
Şekil 4.17. Yukarıdan aşağıya dik kaynak halinde, nüfuziyetin kaynak hızı ile değişimi (Ertürk,1987)	47
Şekil 4.18. Kaynak pozisyonuna göre kaynak parametrelerinin seçimi (Ertürk,1987)	47
Şekil 4.19. Kutuplamanın dikiş formuna etkisi (Ertürk,1987)	48
Şekil 4.20. Yanlış kaynak parametrelerinin seçilmesi veya hatalı hımlaç hareketinin sebep olduğu kaynak hataları (Ertürk,1987)	49
Şekil 4.21. Yanlış kaynak parametrelerinin seçilmesi veya hatalı hımlaç hareketinin sebep olduğu kaynak hataları (Ertürk,1987)	50
Şekil 4.22. Yanlış kaynak parametrelerinin seçilmesi veya hatalı hımlaç hareketinin sebep olduğu kaynak hataları (Ertürk,1987)	51

Şekil 4.23. Yanlış kaynak parametrelerinin seçilmesi veya hatalı hımlaç hareketinin sebep olduğu gözenekler ve nedenleri (Ertürk,1987)	52
Şekil 4.24. Yanlış kaynak parametrelerinin seçilmesi veya hatalı hımlaç hareketinin sebep olduğu gözenekler ve nedenleri (Ertürk,1987)	53
Şekil 4.25. Yanlış kaynak parametrelerinin seçilmesi veya hatalı hımlaç hareketinin sebep olduğu gözenekler ve nedenleri (Ertürk,1987)	54
Şekil 4.26. MIG kaynağında kullanılan kaynak ağız şekilleri (A1) (Ertürk,1987) ...	55
Şekil 4.27. MAG kaynağında kullanılan ağız şekilleri (Ertürk,1987)	56
Şekil 4.28. MAG kaynağında kullanılan ağız şekilleri (Ertürk,1987)	57
Şekil 4.29. MAG kaynağı için tavsiye edilen altlıklar (Ertürk,1987)	57
Şekil 5.1. Örnek çelik yapı projesi	62
Şekil 5.2. Statik hesaplamalar yapılan programdan bir kesit (Setap, 2018)	64
Şekil 5.3. Statik hesaplamada bağlantı detay gösterim örneği (Setap, 2018)	66
Şekil 5.4. Profil ek yeri (alın bağlantısı – Tip 1)	67
Şekil 5.5. Kolon taban plakası bağlantısı (Tip 2)	67
Şekil 5.6. Kolon – Kiriş bağlantısı (Tip3)	68
Şekil 5.7. Kiriş – Kiriş bağlantısı (Tip4)	68
Şekil 5.8. Kiriş – Kolon Bağlantısı (Tip5)	68
Şekil 5.9. Kolon – Çapraz bağlantısı (Tip6)	69
Şekil 5.10. Örnek WPS (Setap, 2018)	69
Şekil 5.11. Test numunelerinin hazırlanması – Alın kaynak uygulaması	71
Şekil 5.12. Test numunelerinin hazırlanması – Köşe kaynak uygulaması	72
Şekil 5.13. Kaynak uygulaması tamamlanmış numuneler	72
Şekil 5.14. Enine çekme test numunesinin ölçüleri (BS EN ISO 4136:2012)	73
Şekil 5.15. Çentik darbe test numunesinin ölçüleri (BS EN ISO 9016:2012)	74
Şekil 5.16. Eğme test numunesinin ölçüleri (BS EN ISO 5173:2010+A1:2011)	74
Şekil 5.17. Makro-mikro inceleme ve sertlik test numunesinin ölçüleri (BS EN ISO 17639:2013)	74
Şekil 5.18. Test parçalarının numunelerden alınması	75
Şekil 6.1. Statik hesaplamaları yenilenmiş binanın önceki ve sonraki halleri	77
Şekil 6.2. Statik hesaplamaların yenilenmesi ile değiştirilen kolon tipi.....	78

Şekil 6.3. Statik hesaplamaların yenilenmesi ile yetersiz kesitte olan kreyn yolu kirişinin değiştirilmesi	78
Şekil 6.4. Yenilen statik hesap sonucu çapraz profillerin eklenmesi	79
Şekil 6.5. Yağmur oluklarının düzenlenmesi	79
Şekil 6.6. Bağlantı tiplerinde yapılan düzenleme	79
Şekil 6.7. Kapı dikmelerinin şantiye kaynağı gerekmeyecek şekilde düzenlenmesi.	80
Şekil 6.8. UT uygulaması	81
Şekil 6.9. MT uygulaması	81
Şekil 6.10. UT raporları (Setap, 2018)	82
Şekil 6.11. MT raporları (Setap, 2018)	83
Şekil 6.12. Numunelerin çekme testine tabi tutulması	85
Şekil 6.13. Çekme testinde flanştan alınan numunenin grafikleri	85
Şekil 6.14. Çekme testinde gövdeden alınan numunenin grafikleri	86
Şekil 6.15. Numunelerin eğme testine tabi tutulması	87
Şekil 6.16. Eğme testi sonrası parçaların yüzeyleri	87
Şekil 6.17. Çentik darbe testi için hazırlanan numuneler	88
Şekil 6.18. Numunelerin çentik darbe testine tabi tutulması	88
Şekil 6.19. Sertlik test cihazı HIGHWOOD HWDV-X3s	89
Şekil 6.20. Sertlik testinde numuneye ucun batırılması	89
Şekil 6.21. Sertlik testinde yüzeyde oluşan izin ölçülmesi	89
Şekil 6.22. Köşe kaynaklı numunenin kırılma testine tabi tutulması	91
Şekil 6.23. Kırılma testi sonra kaynak bölgesi	91
Şekil 6.24. Şekil 6.24. HEA300-HEA300 Alın kaynaklı birleşim için makro yapı incelemesi	92
Şekil 6.25. HEA200-10mm plaka köşe kaynaklı birleşimler için makro yapı incelemesi	92
Şekil 6.26. HEA300-HEA300 Alın kaynaklı birleşim ana metal bölgesi mikro yapı görüntüleri	93
Şekil 6.27. HEA300-HEA300 Alın kaynaklı birleşim ITAB bölgesi mikro yapı görüntüleri	93
Şekil 6.28. HEA300-HEA300 Alın kaynaklı birleşim kaynak metali bölgesi mikro yapı görüntüleri.....	93

Şekil 6.29. 10mm plaka köşe kaynaklı birleşim ana metal bölgesi mikro yapı görüntüleri	94
Şekil 6.30. 10mm plaka köşe kaynaklı birleşim ITAB bölgesi mikro yapı görüntüleri	94
Şekil 6.31. 10mm plaka köşe kaynaklı birleşim kaynak metali bölgesi mikro yapı görüntüleri	94



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Alaşımli ve alaşimsız çelikler arasındaki sınır değerler (Pota analizi) (GEDİK, 2009)	13
Tablo 2.2. Kaynak edilebilirlik ve karbon eşdeğeri (GEDİK, 2009)	14
Tablo 2.3. Sıcak haddelenmiş alaşimsız yapı çeliklerinin mekanik özellikleri ve minimum değerleri (GEDİK, 2009)	16
Tablo 4.1. MIG Kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar (Ertürk, 1987)	38
Tablo 4.2. Yumuşak çeliklerin kaynağında kullanılan MAG kaynak telleri (Ertürk, 1987)	39
Tablo 5.1. Örnek projede kullanılan malzeme cinsleri ve kaliteleri	64
Tablo 5.2. Uygulama projesinde kullanılan malzemelerin poz isimleri ve kullanım görevleri	65
Tablo 5.3. Örnek projede kullanılan bağlantı tip detayları	66
Tablo 5.4 Numunelerin HEA300-HEA200 PL10 malzeme özellikleri	71
Tablo 5.5 Numune hazırlamadan kullanılan kaynak teli SG2 malzeme özellikleri ...	71
Tablo 6.1. Çekme testinde flanştan alınan numunenin test verileri	86
Tablo 6.2. Çekme testinde gövdeden alınan numunenin test verileri	86
Tablo 6.3. Çentik-darbe test verileri	88
Tablo 6.4. Alın kaynaklı birleşim için sertlik ölçümleri alınan nokta konumları ve değerleri	90
Tablo 6.5. Köşe kaynaklı birleşim için sertlik ölçümleri alınan nokta konumları ve değerleri	90

ÇELİK YAPILARDA MAG GAZALTI KAYNAKLI BİRLEŞİMLERİN STATİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada çelik yapı elemanlarını oluşturan parçaların imalatlarında kullanılan MAG gazaltı kaynak yöntemi ile oluşturulan birleşim noktalarının mekanik ve statik özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaca yönelik olarak projesi yapılmış imalatları ve montajı tamamlanmış olan örnek bir projenin bağlantı noktaları tasarım aşamasından kaynak işlemi sonuna kadar incelenmiştir.

Kaynaklı bağlantı noktalarının tahribatsız testleri için örnek projede kullanılan bağlantı noktaları alın ve köşe kaynaklı birleşimler için birebir aynı malzemeler kullanılarak numuneler hazırlanmıştır. Bu işlemden sonra köşe kaynaklı birleşimler için kırma testi, alın kaynaklı birleşimler için çekme, eğme ve çentik testleri uygulanmış her iki birleşim noktalarının ITAB'nin (Isı Tesiri Altında Kalan Bölge), makro/mikro yapıları ve sertlik değerleri incelenmiştir. Bu incelemelerin sonuçları tablo ve grafikler yardımıyla yorumlanmaya çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: MAG Gazaltı kaynak yöntemi, Tahribatsız testler, Çelik konstrüksiyon imalatı, Çelik konstrüksiyon statik ve mekanik özellikler

THE INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND STATIC PROPERTIES OF MAG GAS WELDING MATERIALS IN STEEL STRUCTURES

SUMMARY

In this study, it is aimed to investigate the mechanical and static properties of the joining points formed by MAG gas welding method used in the production of the parts forming the steel structural elements. For this purpose, the connection points of an exemplary project whose project has been completed and assembled have been examined from the design stage to the end of the welding process.

For the destructive testing of welded connection points, the connection points used in the sample project and the samples were prepared using the same materials for the welded joints. After this process, crushing test for corner-welded joints, traction, bending and notch tests for both welded joints were investigated, and macro/micro structures and hardness values of HAZ (Heat Affected Zone) were investigated. The results of these investigations are tried to be interpreted with the help of tables and graphs.

Keywords: MAG Gas welding, Destructive testing, Steel construction, Steel construction, Static and mechanical properties

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte, sanayi alanında da birçok sektörde makineleşme bu gelişmeye paralel olarak artmış ve önceleri elde edilmesi meşakkatli olan birçok ürün çok daha hızlı ve kolay elde edilir olmuştur.

İnşaat sektörü de bu gelişim hızından nasibini almış ve her alanında uygulama örnekleri artmış sektörlerdendir. Özellikle çelik yapılar önceleri sadece yüksek katlı ya da geniş açıklıklı endüstriyel yapılar gibi spesifik projelerde kullanılmakta iken şimdi tek katlı basit yapılarda bile tercih edilir olmuştur. Bu tercihe yönelmekte ki sebeplerden öne çıkanları elbette ki projenin tamamlanma hızı ve aynı oranda iyileşen imalat kaliteleridir.

Sanayide süregelen makineleşme inşaat sektörü için farklı bir bakış açısı kazandırıp şantiyede olması gereken birçok imalat adımlarında fabrikasyon üretime geçmiş ve bu zaman/maliyet konularında ciddi kazanımlar sağlanmasında yardımcı olmuştur. Çelik yapılar harici beton yapılarda da fabrika ortamında hazır dökme metotları kullanılarak üretilen beton kolon ve kirişlerin şantiyelerde kullanılması son zamanlarda çok tercih edilen yöntemlerden olmuştur. Çelik yapılarda ise bu yöntem beton yapılara göre çok daha detaylı işlenmekte ve şantiyelerde en az imalat dolayısı ile en az sorun ve en hızlı çözüm elde edilmektedir. Şantiye ortamını özellikle kaynaklı imalatlar için elverişli hale getirmek hem maliyet hem zaman açısından pek mümkün olmamaktadır. Bu sebepten çelik projelerde şantiyedeki kaynaklı imalatlar en aza indirilerek tasarım yapılması gerekmektedir. Detaylı hazırlanan tasarıma rağmen şantiyede yapılması planlanan kaynak işlemleri için elbette ki özel elektrotlar ve özel yöntemler mevcuttur ancak bu kaynak uygulaması fabrikasyon kaynak uygulamalarına kıyasla çok daha uzun süreceğini göz ardı edilmeli buna göre gerekli yardımcı ekipman gereksinimleri önceden planlanmalıdır.

İyi bir çelik projesi, tasarım ile başlayıp sırası ile imalat adımları ve son olarak montaj ile bitmektedir. Bu sıralamada en önemli ayağı elbette ki imalat adımları, imalat adımlarında

ise kaynak işlemi oluşturmaktadır. Ne kadar dikkatli ve planlı kaynak işlemi olur ise o kadar kaliteli imalatlar çıkacaktır. Özetleyecek olur isek iyi bir yapı elde edebilmek için planlaması ve ekipmanları tamamlanmış bir şantiye ve montaj, iyi bir montaj için iyi bir imalat, iyi bir imalat için ise iyi bir tasarım ve kaliteli kaynak işlemi ile mümkün olmaktadır.



BÖLÜM 2. ÇELİK KONSTRÜKSİYON TASARIMI

2.1. Çelik Konstrüksiyon Tasarım İlkeleri

Çelik konstrüksiyon projeleri (Şekil 2.1) tasarımı aşamasında yapı elemanları boyutlandırılırken tercih edilen kesitin maruz kalacağı yüklere karşı emniyetli ve bir o kadar da ekonomik olması göz önüne bulundurulmaktadır. Bu aşamada ekonomiklik olarak yapıda kullanılacak çelik malzemelerin tonajı minimum tutulması gerekmektedir. Bu sayede proje statik olarak incelemeye alındığında binanın kendi yükü de minimuma inecektir. (Millî Eğitim Bakanlığı [M.E.B.], 2013) Diğer bir ölçüt ise proje çizim ve detayların çözüm sürecinin irdelenmesidir. Bu süreç hesaplama süreci kadar önem taşımaktadır. Bu bağlamda mimari tasarım yapılırken açıklıkların standart profil boyları dikkate alınarak yapılmasını gerektirir. Bazen çok basit bir açıklık değişikliği çok ciddi firelere ya da gereğinden fazla ek kaynağı gereksinimi oluşturduğundan imalat açısından ciddi maliyet kalemlerine sebebiyet vermektedir. (Yardımcı, 2005)



Şekil 2.1. Çelik yapı

Çelik yapı elemanlarının tasarımında yukarıda bahsedilen çerçeve içinde kullanılabilir üç farklı yaklaşım mevcuttur:

2.1.1. Emniyet gerilmeleri yöntemi

Malzeme tipi belirleme sırasında bir parçaya ait en-kesit alanı ve/veya en-kesit atalet momenti gibi büyüklükler, bu parçada oluşacak gerilmelerin “emniyet gerilmesi” (oluşmasına izin verilen en büyük gerilme) değerinden küçük olmasını sağlayacak yeterlilikte olmalıdır. Bu emniyet gerilmesi değeri mutlaka malzemenin elastik davrandığı bölgede olmalı ve akma gerilmesinden küçük olmalıdır. Akma gerilmesi emniyet katsayısına bölünmesiyle emniyet gerilmesi elde edilir. Emniyet gerilmesi yönteminde kullanılan yükler “işletme yükleri/servis yükleri” olmalıdır. Özetleyecek olursak, bu yöntemde işletme yükleri altındaki gerilmeler hesaplanmaktadır ve bu gerilmeler hiçbir zaman emniyet gerilmesinden büyük olmamalıdır. (M.E.B, 2013)

2.1.2. Plastik tasarım

Plastik tasarımda, işletme yükleri yerine “taşıma gücüne ulaşma durumu” dikkate alınır. Bu yaklaşımda elemanlar, işletme yüklerinden bayağı büyük yükler dikkate alınarak belirlenir. Burada taşıma gücüne ulaşma ile kastedilen göçme veya çok büyük deformasyonların oluşmasıdır. Taşıma gücüne ulaşma sırasında elemanın bazı kısımlarında plastikleşmenin oluşmasına neden olacak kadar çok büyük şekil değiştirmeler ortaya çıkar. Ayrıca çeşitli noktalarda en-kesitlerin yükseklikleri boyunca tamamen plastikleşmesi nedeniyle plastik mafsallar da ortaya çıkacaktır. Plastik mafsal sayısının artması yapıda “göçme mekanizması” oluşturur. Gerçek yükler, elemanları taşıma gücüne ulaştıran yüklerden daima emniyet katsayısı kadar daha küçük olacakları için, bu yöntemle boyutlandırılan elemanlar emniyetsiz olmaz. Kabaca plastik tasarım şöyle özetlenebilir:

Servis yükleri, taşıma gücü yüklerini elde etmek için yük katsayısı ile çarpılarak büyütülür.

Bu yükler altında taşıma gücüne ulaşmayacak biçimde en-kesit özellikleri belirlenir. (Bu özelliklere sahip bir eleman katsayı ile çarpılarak büyütülmüş yükler etkisinde taşıma gücüne ulaşma sınırındadır.) Belirlenen en-kesit özelliklerine sahip en hafif en-kesit seçilir. (M.E.B, 2013)

2.1.3. Yük ve mukavemet faktörü ilkesi

Bu yöntemde de limit durumlar dikkate alındığı için plastik tasarımda olduğu gibi olasılık esaslıdır. Genel felsefe kısaca şu formülle özetlenebilir:

$$\varphi R_n(\text{yapı mukavemeti}) \geq \Sigma \gamma_i Q_i (\text{dış yükler})$$

Bu denklemin sol tarafı yapı ve yapı elemanlarının mukavemetini, sağ tarafı ise dış yükleri ifade eder. Bu yöntemde servis yükleri yük katsayıları (γ_i) ile çarpılırlar ve elemanlar katsayılarla çarpılıp arttırılmış yükleri karşılayabilecek şekilde seçilirler. Katsayılarla çarpılmış yükler taşıma gücüne ulaşma durumunu ifade ettiklerinden gerçekte var olan servis yüklerinden büyüktürler ve dolayısıyla yük katsayıları da 1'den büyüktürler. Bu yükler elemanları limit durumlara ulaştırırlar. Limit durumlar ise kırılma, akma veya burkulma olabilir. Bunun yanı sıra, elemanların teorik mukavemetleri ise 0,75 – 1 aralığındaki azaltma faktörleri (φ) ile çarpılır. (M.E.B, 2013)

2.2. Çelik Konstrüksiyonda Tasarım Süreci

Çelik yapı tasarımlarının iyi bir düzeyde olabilmesi için, tasarımı yapılan sistemin uygun görülen süre zarfında fonksiyonlarını yerine getirmesini mümkün kılmalıdır. Tasarım sırasında dayanım, ağırlık, termal özellikler, dinamik ve kinematik noktalar dikkate alınır. Amaçlanan hedefler yapılan ölçümler ile karşılaştırılarak tasarımın kalitesi ölçülebilir. Tasarımın uygulanabilirliği ve ekonomikliği de fonksiyonelliği kadar önemli diğer noktalardır. Tasarımda emniyet ile ekonomikliğin ilişkisine bir örnek verecek olursak, tasarımı tamamlanmış bir projede sistem için izin verilen en büyük yer değiştirme değeri 6 mm iken tasarlanan sistemde bu değer sağlam olsun düşüncesi ile 1 mm'den aşağıda tutulmuş ise projede gereğinden 6 kat daha fazla büyük çapta profil tercih edilmiş olur ve buda projenin maliyetinde çok ciddi farklar çıkmasına sebebiyet verir. (M.E.B, 2013)

- Problemin (Ürünün) Tanımı

Çelik konstrüksiyon projelerinde tasarıma başlamadan önce ilk adım istenilen yapıyı bir ürün olarak görmek ve bu ürünün yapılmasında çıkabilecek problemleri tespit etmektir. Problemi gerçek manada tespit edebilmek içinde o problemin konusunu benimsemek ve ne olduğunu tam olarak anlamak gerekmektedir. Bu

aşamalarda da alışılmış düşüncelerden sıyrılıp sınırları zorlamak gerekmektedir. (M.E.B, 2013)

- Bilgi Toplama

Planlanan tasarımda en uygun başlama noktası ve bu noktayı takip eden yolu en doğru ve hızlı kat edebilmek için, problem hakkında mümkün oldukça farklı yönlerini incelemek ve aynı oranda çok bilgi toplayabilmektir. (M.E.B, 2013)

- Yaratıcılık ve Buluş Süreci

Tasarımcı, konu ile ilgili araştırmalar yapıp gerekli bilgi ve verileri toplamışsa ve bunları gerektiği gibi değerlendirebiliyorsa gerçek manada tasarımcılığa ulaşılabilir. (M.E.B, 2013)

- Çözüm Bulma

Tasarımcılık ve buluş süreçleri ile problemin detaylı olarak bulunması ve bu problem ile detaylı olasılıklar toplanmasının ardından çözüm bulma süreci devreye gire. Bu süreç tespit edilen olasılıklar hakkında bir karara varılması ve bunu takiben araştırmanın neticelendirilmesi işlemi yapılır. Çözüm olarak seçilen olasılıklar, daha sonra ayrıntılı olarak incelenir ve taslaklar halinde hazırlanır. (M.E.B, 2013)

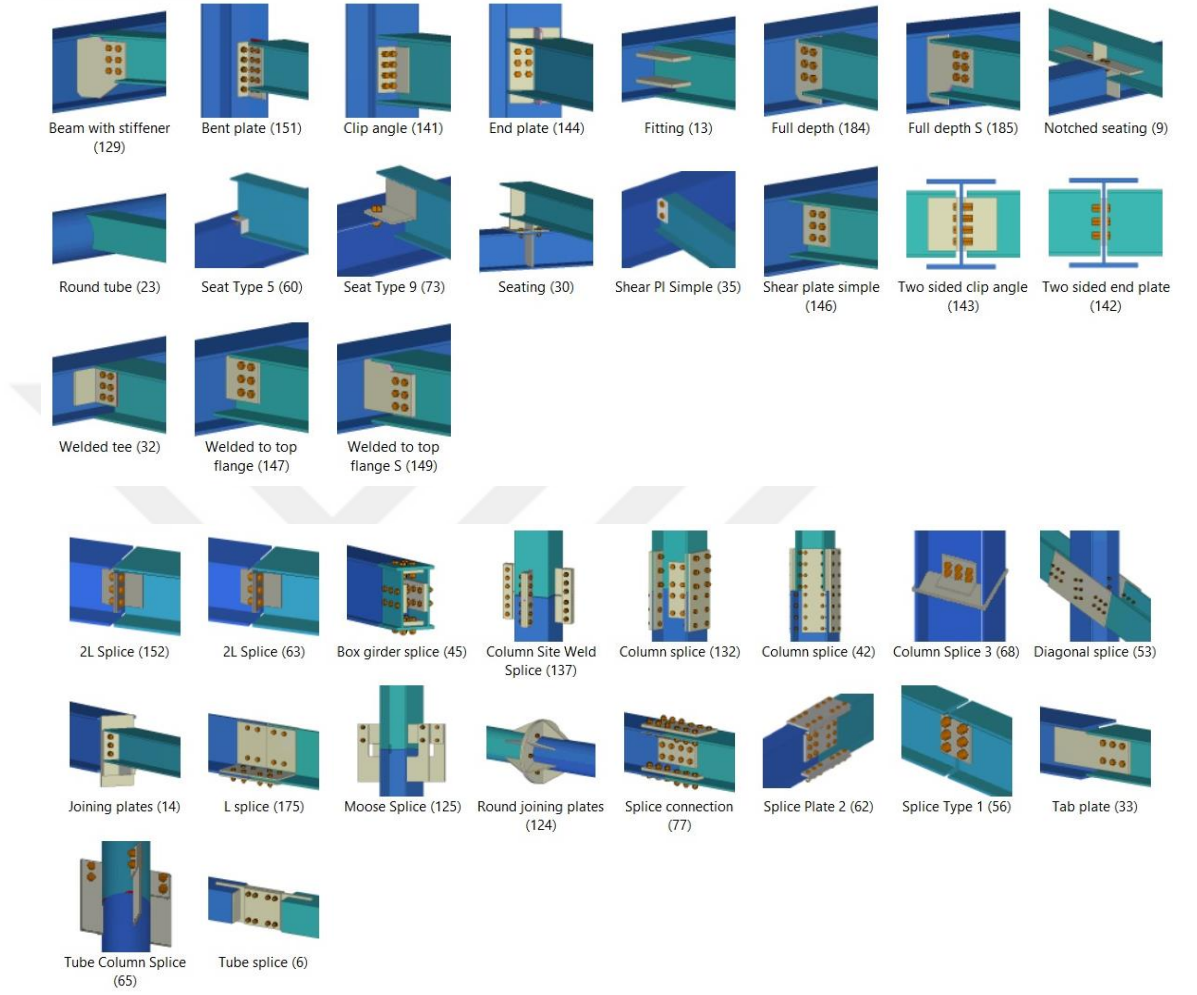
- Uygulama (Resim Çizme)

Tüm aşamalardan geçildikten sonra toplanan veriler ile tasarımın hazır hale getirilmesi işlemidir. (M.E.B, 2013) Bu aşamada artık proje Şekil 2.2'deki gibi gerçek anlamda bir görselliğe kavuşmuş olur.

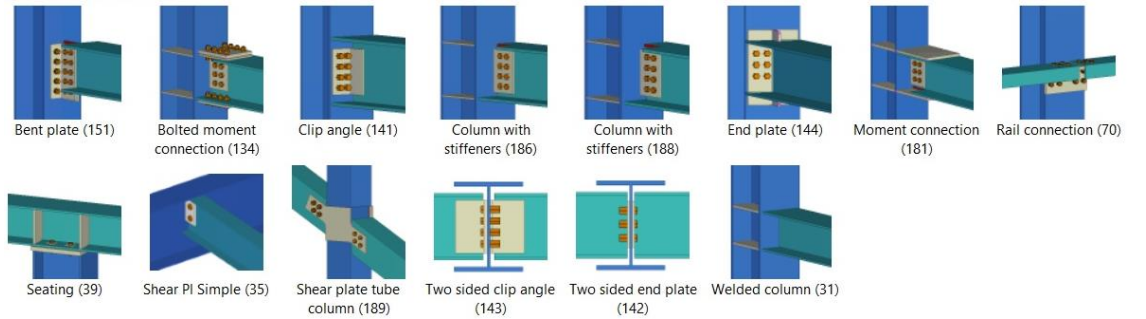


Şekil 2.2. Çelik konstrüksiyon (M.E.B, 2013)

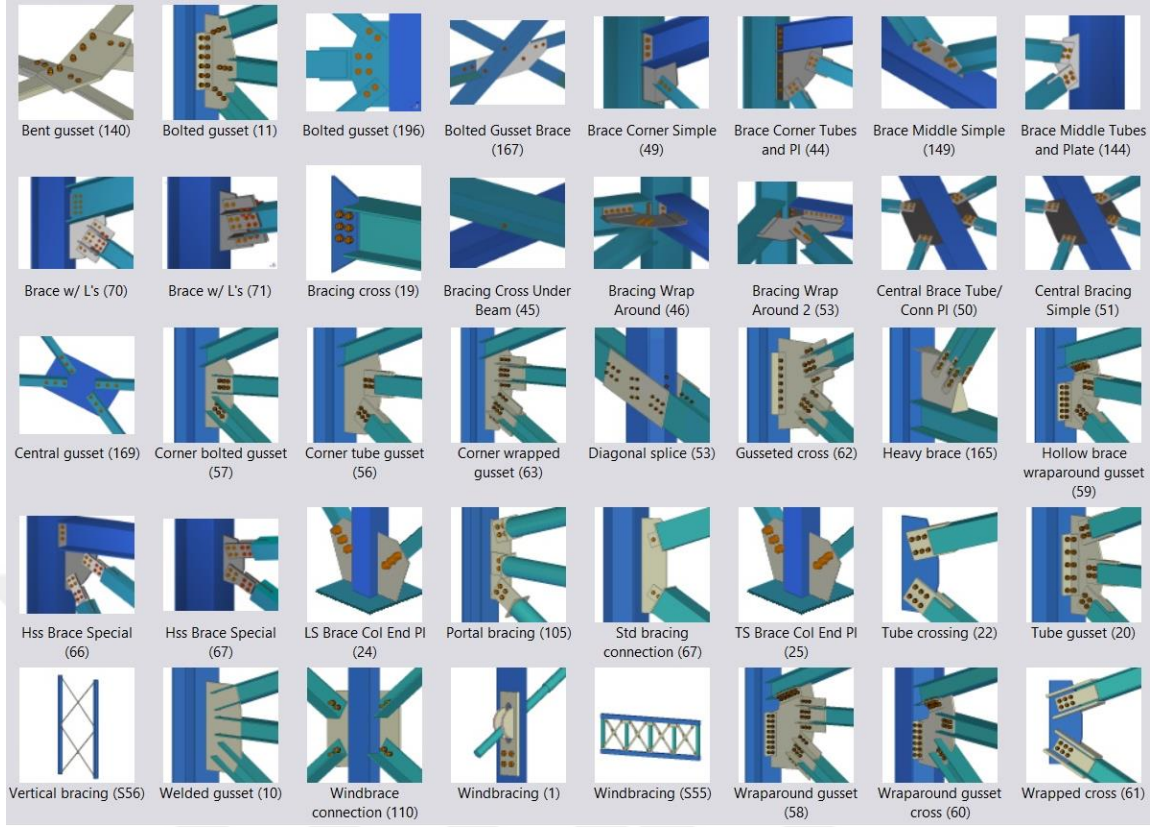
Çelik yapı tasarımlarında kullanılan başlıca bağlantı tipleri Şekil 2.3, Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'daki gibidir.



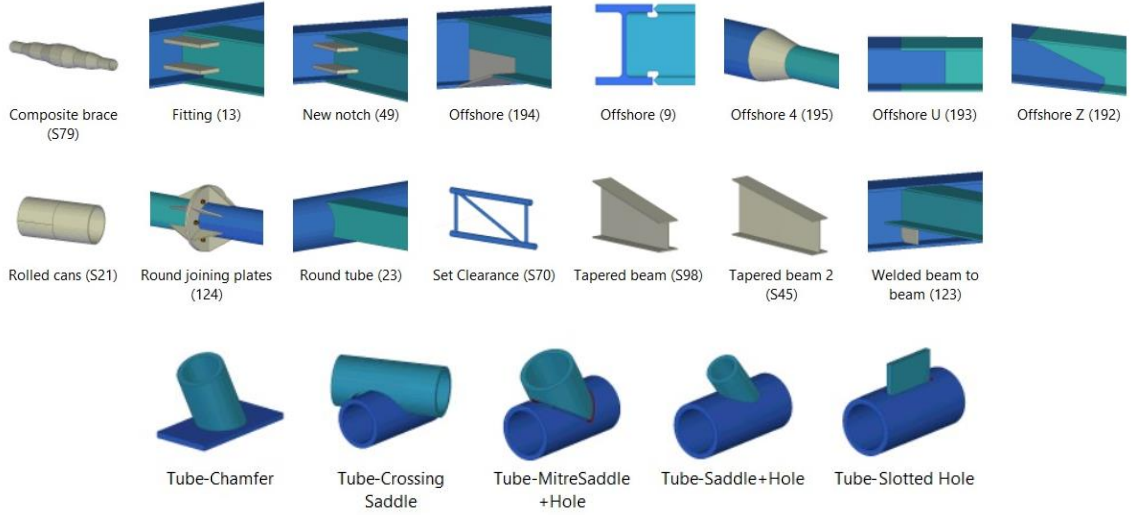
Şekil 2.3. Kiriş-Kiriş bağlantı tipleri (Tekla, 2017)



Şekil 2.4. Kiriş – Kolon Bağlantı Tipleri (Tekla, 2017)



Şekil 2.5. Çapraz bağlantı tipleri (Tekla, 2017)



Şekil 2.6. Kaynaklı bağlantı tip örnekleri (Tekla, 2017)

2.3. Çelik Yapı Çeşitleri ve Tanımları

2.3.1. Çelik çatılar

Çeliğin inşaat sektöründe ilk kullanımları köprülerle başlamıştır. Binalarda taşıyıcılar olarak kullanılması ilerleyen süreçlerde gerçekleşmiştir. Kaynak metotlarının her geçen gün kendini geliştirmesi ile çeliğin inşaat sektöründe kullanımı hızla artarak bugünlere kadar ulaşmıştır. Çelik konstrüksiyon imalatı için üretilmiş parçaların birleştirilmesi için günümüzde en sık tercih edilen yöntem cıvatalı bağlantı olması ile birlikte buna ek olarak perçin ve kaynaklı birleşimlerde tercih edilmektedir. (M.E.B, 2013)

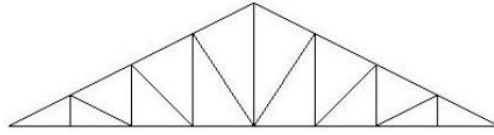
Binaların yan duvarları ya da kolonları üzerine oturtulup; onu yağmur, kar, soğuk ve sıcak gibi dış ortam tesirlerden koruyan örtülere çatı sistemi denir. (M.E.B, 2013) Çatı sistemlerinde ana taşıyıcı görevini üstlenen kirişler ya da makaslar bulunmaktadır. Bu ana taşıyıcılarını birbirine bağlamak için stabilite ya da tali kirişler ve son olarak üst kaplamasının sabitleneceği aşıklar bulunmaktadır.

2.3.1.1. Çelik çatı çeşitleri

Çelik çatı çeşitlerini tek açıklıklı, çok açıklıklı ve uzay çatı sistemleri olmak üzere 3 ana başlık altında inceleyebiliriz. (M.E.B, 2013)

- Tek açıklıklı sistemler

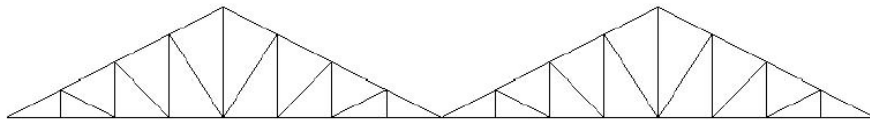
Bir bölmeli ve açıklığın tek kiriş ya da makas ile geçilmesine müsaade edilebilecek mesafede olan yapılarda kullanılır (Şekil 2.7). (M.E.B, 2013)



Şekil 2.7. Tek açıklıklı sistem (M.E.B, 2013)

- Çok açıklıklı sistemler

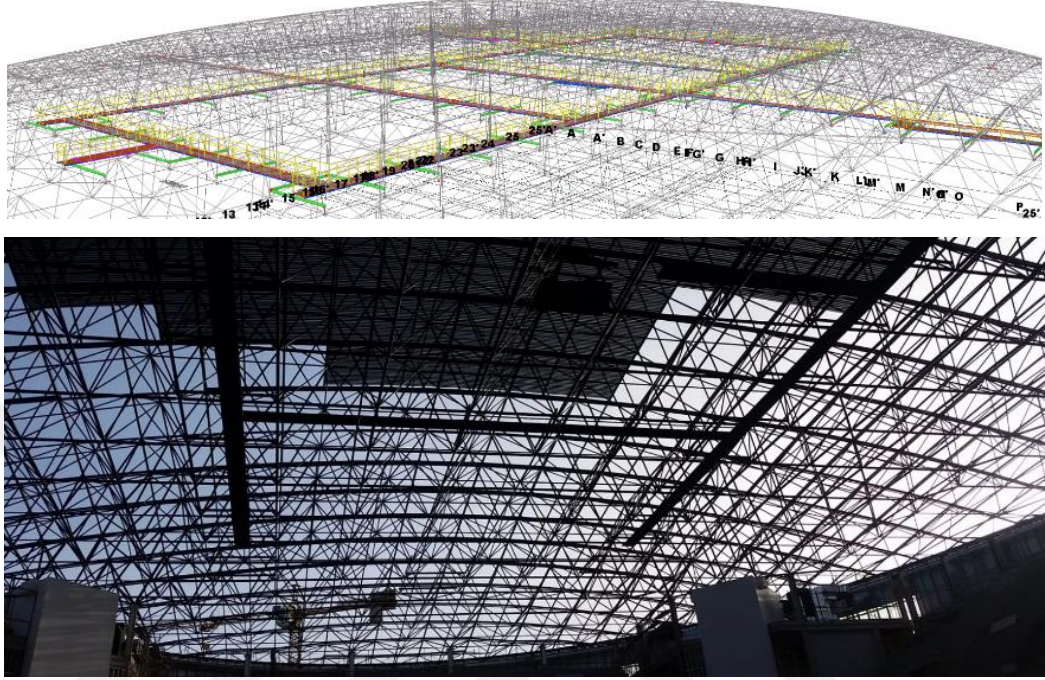
Bir veya birden fazla bölmeli yerlerde, ayrıca açıklığın fazla olduğu yapılarda kullanılır (Şekil 2.8). (M.E.B, 2013)



Şekil 2.8. Çok açıklıklı sistem (M.E.B, 2013)

- Uzay çatı sistemleri

Çok geniş ve tek seferde kapatılması istenen açıklığı olan spor, düğün salonları ve stadyum vb. yapılarda kullanılır (Şekil 2.9). (M.E.B, 2013)



Şekil 2.9. Uzay çatı sistemleri

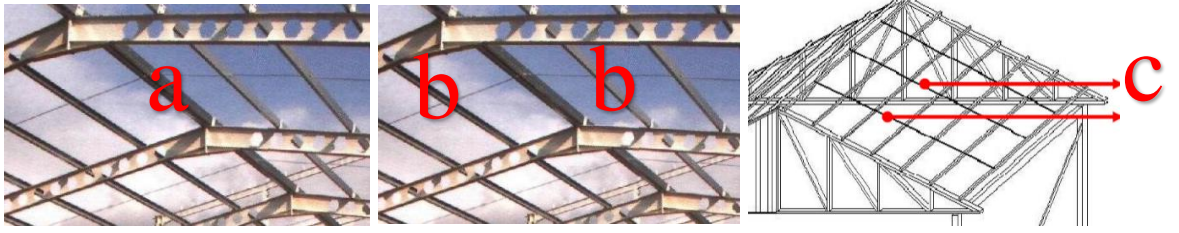
2.3.1.2. Çelik çatı elemanları

Aşıklar;

Eğimli yüzeylerin altına yerleştirilen ve bu yüzeylerin ağırlığını makaslara aktaran elemanlardır. (M.E.B, 2013) Kaplamanın çatı konstrüksiyonu ile birleştirilmesinde kullanılır ve taşıyıcı kirişlere dik pozisyonda döşenir. Ara mesafeleri bölgenin kar yüküne ve seçilen profil cinsine göre farklılık gösterir.

Üç çeşit aşıklar vardır;

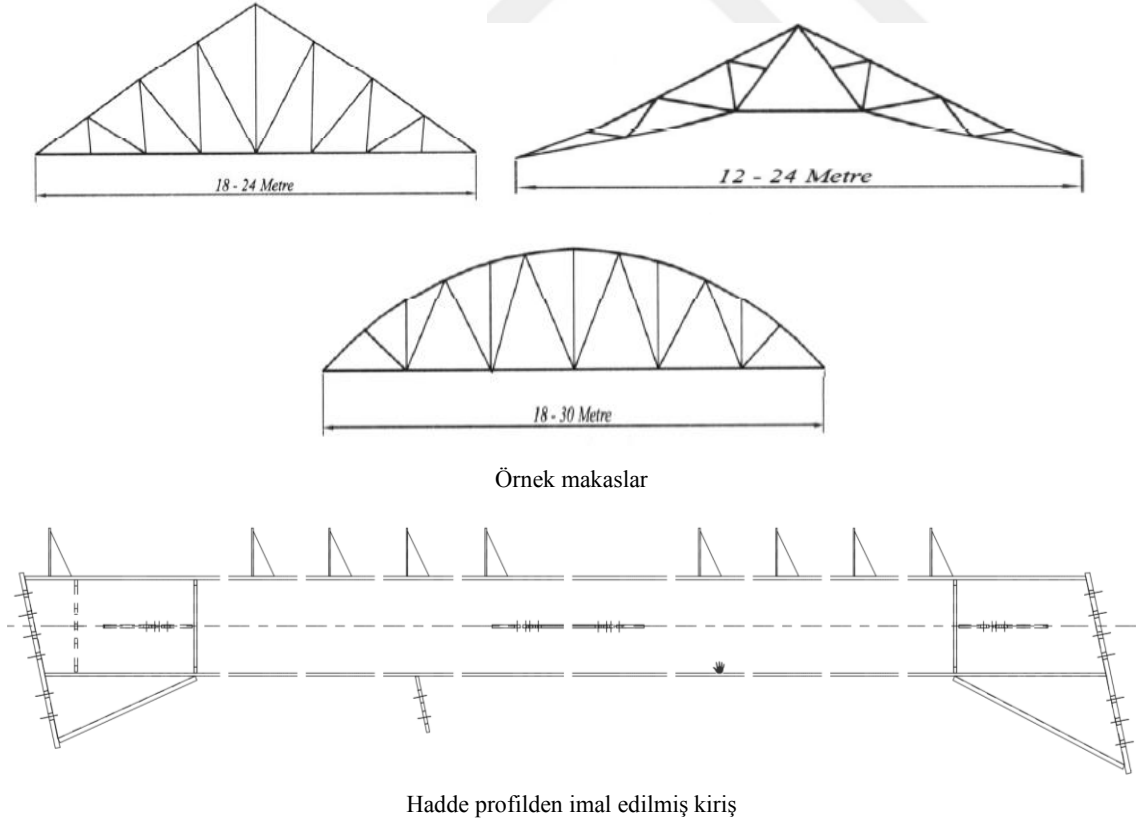
- Mahya aşığı: Mahya (çatı tepe noktası) altına gelen ilk aşıklar (Şekil 2.10-a).
- Orta aşıklar: Mahya ile damlalık (yağmur inişi) arasına gelen ara aşıklar (Şekil 2.10-b).
- Mertekler: Mahyadan başlayıp damlalığa kadar uzanan ve aşıklar üzerine konulan duvar elemanlarıdır (Şekil 2.10-c). Bunlar 40 cm ile 990 cm ara ile atılırlar. (M.E.B, 2013)



Şekil 2.10. Mahya Aşığı (a) – Orta Aşık (b) – Mertekler (c) (M.E.B, 2013)

Çatı makasları ve kirişleri;

Eğimli yüzeylerin ağırlığını taşıyan ana taşıyıcı bir çatı elemanıdır. Kapalı spor salonları, fabrikalar, garaj gibi geniş açıklık gerektiren endüstriyel yapıların çatıları çoğunlukla çelik çatı olarak yapılır. Çelik çatı makasları ve kirişleri, makasın oturacağı duvarlar ya da kolonlar arası açıklığa göre değişik şekillerde imal edilir. (M.E.B, 2013) Kirişler ise hadde profil kullanılarak ya da sac plakalardan yapma profiller kullanılarak imal edilir (Şekil 2.11). Makaslara göre daha tonajlı olmasından ötürü sistemi ağırlaştırmaktadır ancak makas imalatları fazla işçilikten ötürü daha uzun süreli ve daha fazla maliyetli olduğu için kiriş tercihi yekûn maliyette daha avantajlı duruma gelmektedir.



Hadde profilden imal edilmiş kiriş
Şekil 2.11. Örnek Makas (M.E.B, 2013) ve Kiriş Tipleri

2.3.2. Çelik köprüler

Yol güzergahları üzerinde geçişe engel olan derin çukurları ve nehir gibi doğal engelleri geçmek için veya taşıt yollarında mevcut akışı kesmeden üstten ya da alttan geçmesine olarak sağlayan ahşap, kâgir, beton veya demir yapılara köprü denir ve çelikten yapılan bu yapılara da çelik köprü denir. (M.E.B, 2013)

Köprüler tasarlanırken kullanım amacı ve kullanım sırasından maruz kalacağı işletme yüklerine ek olarak inşa edilecek bölgenin deprem karakteristiği ve çevresel faktörler de göz önünde bulundurulur. Yapılması düşünülen köprü çeşidinde kullanılacak malzeme ve en uygun yapım yönteminin önceden belirlenmesi gerekir. (M.E.B, 2013)

Bu durumda köprüler 4 ana başlık altında incelenebilir. (M.E.B, 2013)

- Kullanım amaçlarına göre köprüler
- Yapıldıkları malzemeye göre köprüler
- Yapılış şekillerine göre köprüler
- Yapılarına göre köprüler

2.4. Profil Tipleri ve Çeliklerin Sınıflandırılması

Sürekli döküm ya da blok döküm yöntemleriyle dökülen çelik, bu işlemlerden sonra önce sıcak ve sonrada soğuk şekillendirilir. Bu işlemler neticesinde yarı mamul elde edilmiş olur. Bu yarı mamul halde çelik daha sonra nihai mamul oluşturmak amacıyla talaşlı işleme, plastik şekil verme veya birleştirme adımlarına gider. (GEDİK, 2009)

İki tip yarı mamul bulunur; (GEDİK, 2009)

- Yassı yarı mamuller (levha ve saclar)
- Uzun yarı mamuller (çubuklar, çift T profilli taşıyıcılar ve benzeri profiller)

2.4.1. TS EN 10020 Standardına göre çelikler

TS EN 10020'ye göre çelik kütlece bütün diğer elementlerin her birinden daha fazla demir içeren, karbon oranı %2'den daha düşük olan, buna ilaveten başka elementler de içeren malzemelerdir. Az sayıda krom çeliği %2'den fazla karbon içerebilir, ama %2 karbon

oranı değeri çelikle dökme demiri birbirinden ayıran genel sınırdır. Çelikler TS EN 10020'ye göre alaşım elementleri içeriklerine göre de sınıflandırılır. (GEDİK, 2009)

- Alaşım-sız çelikler: Tablo 2.1'deki sınır değerlerinin hiçbirinin aşılmadığı bileşimdeki çeliklerdir.
- Paslanmaz çelikler: En az kütlece %10,5 krom, en fazla %1,2 karbon içeren çeliklerdir.
- Diğer alaşımlı çelikler: Tablo 2.1'de verilen değerlerin en az bir alaşım elementi için aşıldığı ve paslanmaz çeliklere uymayan çelik kaliteleridir.

Tablo 2.1. Alaşımlı ve alaşım-sız çelikler arasındaki sınır değerler (Pota analizi) (GEDİK, 2009)

Belirtilmiş Element	Sınır Değer (Kütlece %)	Belirtilmiş Element	Sınır Değer (Kütlece %)	Belirtilmiş Element	Sınır Değer (Kütlece %)
Al Alüminyum	0,30	Mn Mangan	1,65*	Ti Titan	0,05
B Bor	0,0008	Mo Molibden	0,08	V Vanadyum	0,10
Bi Bizmut	0,10	Nb Niyobyum	0,06	W Tungsten	0,30
Co Kobalt	0,30	Ni Nikel	0,30	Zr Zirkonyum	0,05
Cr Krom	0,30	Pb Kurşun	0,40	Diğerleri	0,10
Cu Bakır	0,40	Se Selenyum	0,10	(Karbon,	
La Lantanitler (her biri)	0,10	Si Silisyum	0,60	fosfor, kükürt,	
		Te Tellür	0,10	azot hariç)	

* Manganın yalnızca maksimum olarak belirtildiği yerlerde sınır değeri %1,80'dir ve %70 kuralı uygulanmaz.

Çelikleri alaşım elementleri içeriklerine göre de sınıflandırmanın yanı sıra üretim yöntemlerine, kullanım alanlarına veya özelliklerine göre de sınıflara ayrılabilir. (GEDİK, 2009)

- Özelliklerine göre (örn; korozyona dayanıklı, yüksek sıcaklığa dayanıklı gibi)
- Üretim yöntemlerine göre (sementasyon çelikleri, otomat çelikleri gibi)
- Kullanım alanlarına göre (örn; yay çelikleri, takım çelikleri gibi).

2.4.2. Genel kullanım amaçlı çelikler

Çelikler imal edilirken akma sınır değerlerine göre sınıflandırılır ve kullanım yerlerine göre seçim yapılırken bu akma değeri göz önünde tutulur. Bu akma değerleri tespit edilirken yapılan testlerin sıcaklıkları ve korozyon şartları normal koşullar altında yapılır. Çeliklerin imalatı aşamasında aşağıda verilen özellikler önem arz etmektedir. (GEDİK, 2009)

- Soğuk şekillendirebilirlik:

İmal edilen çelik eğer soğuk şekillendirme özelliğine sahip ise adının sonunda “C” harfi bulunur. Bu çelik sınıfları eğme test verileri ürünün kalınlığına bağlı değişkenlik göstermekte birlikte diğerlerine nazaran daha olumlu sonuçlar vermektedir. (GEDİK, 2009)

- Kaynak edilebilirlik:

Bu özellik öncelikle çeliği oluşturan alaşımlardaki karbon (C) oranına bağlıdır. Buna ek olarak soğuma ve kaynak sertliğine etki eden diğer alaşımlarında etkisi bulunmaktadır. Kaynak sertliği, kaynak dikişinin kenarlarında (ITAB) kısmen oluşan martenzit oluşması olarak tanımlanabilir. Kaynak sonrası oluşan soğuma sonrası yırtılmaların oluşmaması için buna dikkat edilmelidir. (GEDİK, 2009)

Alaşım elementlerinin katkısını hesaplamak için deneysel olarak geliştirilmiş karbon eşdeğeri CE formülünden yararlanılır. CE değerlerine göre çelikler üçe ayrılır (Tablo 2.2):

$$CE = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15 \quad (\text{Değerler kütlece \% alınır}) \quad (\text{GEDİK, 2009})$$

Tablo 2.2. Kaynak edilebilirlik ve karbon eşdeğeri (GEDİK, 2009)

Kaynak edilebilirlik	CE (%)
İyi	< 0,45
Sınırlı	0,45 > < 0,6
Kötü	> 0,6

Sınırlı kaynak edilebilirlik, belirli koşullar altında çeliğin kaynağa uygun olmasıdır. Bu çeliklerin ön ısıtılması veya daha önceden ısıtılma tabii tutulması gerekir. Kötü kaynak edilebilir çelikler ancak östenitik elektrotlar (Cr-Ni-Mn çeliğinden) yardımıyla kaynaklanabilirler. Düşük akma noktalı ve sertleşmeyen bu çeliklerle oluşturulan bu kaynak dikişi büzülme sırasında oluşan gerilmeleri taşıyabilir. (GEDİK, 2009)

2.4.2.1. Alaşımız yapı çelikleri (TS EN 1025-2)

Çelik konstrüksiyon imalatlarında tercih edilen çelik tiplerinde (yassı ve uzun çelikler) çeliklerin oda sıcaklığında belirlenmiş asgari akma dayanımları dikkate alınır. (GEDİK, 2009)

Çelik adı ve numarasının belirlenmesinde aşağıdaki maddeler dikkate alınır;

- Çelik adının başında yer alan S sembolü yapısal çelikler için olduğunu E sembolü ise elektrik çelikleri için olduğunu belirtir.
- İmal edilmiş çeliğin 16 mm'ye eşit ya da daha ince kalınlıklar için MPa cinsinden ifade edilmiş asgari dayanımı belirtir.
- Mümkünse, belirtilmiş vurma enerjisi değerine göre kalite kısa gösterilişi
- Özel uygulamalar için uygunluğunun anlaşılabilmesi için ilave olarak C sembolü belirtilir.
- Sipariş ve teslim aşamasında tercih edilebilmesi için +Ar ve +N durumları belirtilir. Ayrıca bu ifadeler çelik numarasına da ilave edilir.

Örnek: S355J0C+N (veya +AR) veya 1.0554+N (veya +AR)

Bu örnekte (S) yapı çeliği olduğunu, (355) oda sıcaklığında akma dayanımı asgari 355 MPa² olduğunu, (JO) ise 0 °C'deki vurma enerjisi değeri asgari 27J olduğunu ve (C) ifadesi ise soğuk flanşlamaya uygun olduğunu temsil eden haddelendiği şekilde teslim edilmiş çelik olduğunu anlamış oluruz. (GEDİK, 2009)

Tablo 2.3. Sıcak haddelenmiş alaşımsız yapı çeliklerinin mekanik özellikleri ve minimum değerleri. (GEDİK, 2009)

Kısa gösteriliş		R _{eH} ya da R _{p0,2} Anma kalınlığı (mm)			R _m Mpa	A ₈₀ A% Anma kalınlığı (mm)		Açıklama
Çelik adı	Çelik numarası	≤16	≤100	≤200	≤100	≤1... ≤3	≤3... ≤40	
Darbe dayanımı KV verilen cins ve kalitede çelikler								
S235JR	1.0038							Çelik yapıların, flanş ve armatürlerin perçinli ve kaynaklı yapılandırılması Kaynağa uygun
S235J0	1.0114	235	215	175	360	l: 17...21	l: 26	
S235J2	1.0117				...510	t: 15...19	t: 24	
S275JR	1.0044							Daha yüksek yüklemeler, araç konstrüksiyonları, vinçler ve makinalar Kaynak edilebilirlik
S275J0	1.0143	275	235	215	410	l: 14...18	l: 22	
S275J2	1.0145				...560	t: 12...20	t: 20	
S355JR	1.0045							S275 gibi Kaynağa uygun
S355J0	1.0153	355	315	285	490	l: 14...18	l: 22	
S355J2	1.0577				...630	t: 12...16	t: 20	
S355K2	1.0596							
S450J0	1.0590	450	380	-	550 ...720			Sadece uzun mamuller için
Darbe dayanımı KV verilmeyen cins ve kalitede çelikler								
S185	1.0035	185	175	155	290 ...510	t: 10...14	l: 18 t: 16	
E295	1.0050	295	255	235	470 ...610	l: 12...16	l: 20 t: 18	Akşlar, miller, dişliler, biyel kolları Tüm türler Preslemeye uygun
E335	1.0060	335	295	265	570 ...710	l: 8...12	l: 16 t: 14	
E360	1.0070	360	325	295	670 ...830	l:.....3...7	l: 11 t: 10	

Haddeleme yönüne dik (t) ve haddeleme yönüne paralel (l) doğrultuda ölçülmüş değerler.

2.4.3. Profil tipleri

Özel olarak istenilen boylarda üretilmekte birlikte standart üretim boyları 6 ve 12 m olan profiller gövde ve flanş (başlık) olarak adlandırılan iki kısımdan oluşur. Profiller bu kısımların oluşturduğu kesit şekillerine (H, I, U, T, L, kutu ve boru gibi) göre adlandırılırlar. (Millî Eğitim Bakanlığı [M.E.B.], 2011)

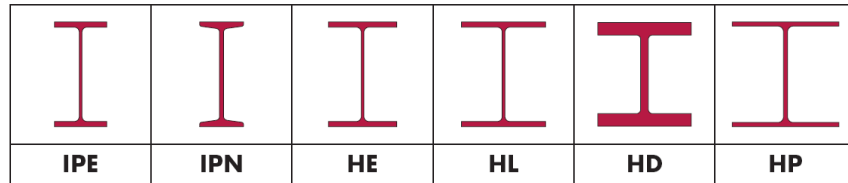
2.4.3.1. I Profilleri

- Normal I profili

Şekil olarak I harfine benzediği için bu şekilde adlandırılır ve kendi arasında sınıflara ayrılırken profil genişliğinin mm olarak değeri belirtilir. Bu profiller tipleri mesnetlerde (dayanaklarda) amaca uygun olarak kullanıldığı gibi belli bir sınırdaki açıklıkları tek başına geçebilecek taşıyıcı kiriş olarak da kullanılır. Başlıklarında perçinleme ve vidalama kolaydır. Projelerde ara kat döşemelerinde kiriş olarak kullanılmaları halinde ise az sehim verirler ve sebepten bu amaçla çok sık tercih edilirler. (M.E.B, 2011)

- Geniş ve paralel başlıklı I profili

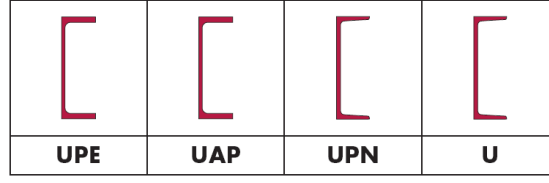
Bu grup her ne kadar I profil sınıfında yer alsada şekil olarak H harfine benzediği için H profil şeklinde adlandırılır ve aynı I profiller gibi profil genişliğinin mm olarak değeri bu profillerin ismini belirler (Şekil 2.12). Bu tip profillerden birçok farklı tip vardır. I profili olarak en yaygın bilinen IPE, IPN, IPEo, IPEv, IPB, IPBl, IPBv tipleridir. H profili olarak Avrupa HE, HL, HD ve HP profilleri ile İngiliz UB, UC ve Amerikan W profilleri de bulunmaktadır (Euronorm Avrupa kesit I profilleri). (M.E.B, 2011)



Şekil 2.12. I profilleri (M.E.B, 2011)

2.4.3.2. U Profili

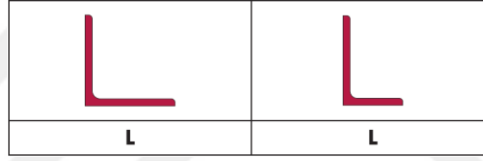
Yüksekliği 30 – 400 mm, flanş genişliği 33 – 110 mm ve gövde kalınlığı 50 – 140 mm, başlık eğimi %5 - %8 arasında değişkenlik gösteren profil tipleridir (Şekil 2.13). Yapı elemanlarında tek başlarına veya iki U profili gövdelerden birleştirilip H formunda ya da başlıklardan birleştirilerek kare formunda kullanılır. I profillerinde olduğu gibi yüksekliğinin mm olarak karşılığı kendi arasındaki sınıfını (DIN 1026). (M.E.B, 2011)



Şekil 2.13. U profilleri (M.E.B, 2011)

2.4.3.3. L Profili

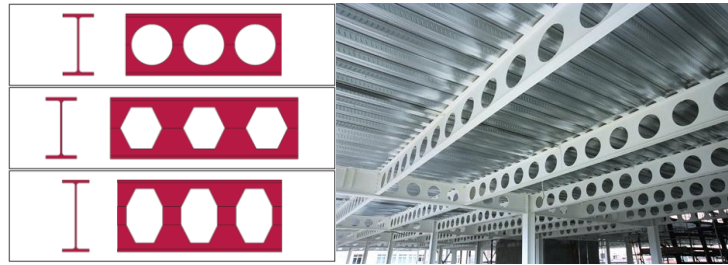
Köşebent veya korniyer profili olarak isimlendirilirler. Kesit boyutları 35 - 305 mm arasında değişir. Eşit kollu ve eşik kollu olmayan olmak üzere 2 grupta sınıflandırılır (Şekil 2.14). Eşit kollu profiller isminden de anlaşıldığı üzere her iki kolu eşit olan profil tipleridir ve L100*10 örneğindeki gibi kol genişliği ve profil kalınlığı belirtilerek simgelenir. Eşit kollu olmayan köşebentlerde ise her iki kol genişliği ve kalınlık belirtilir L150*100*10 gibi. (“Arcelor ürün kataloğu”, 2018)



Şekil 2.14. L profilleri (M.E.B, 2011)

2.4.3.4. Özel üretim profilleri

Standart profiller dışında, kesit seçimi yapılırken standart profillerin yetmediği durumlarda kesitleri sabit ya da değişken olabilen özel şekillerde üretilebilen profillerde kullanılır (Şekil2.15). Sektörde petek kiriş olarak adlandırılan bu tip profiller I profilinin gövdesinin zikzaklı ya da dairesel şekiller ile kesilip açılması suretiyle elde edilirler. (M.E.B, 2011)



Şekil 2.15. Özel üretim profiller (petek kirişler) (M.E.B, 2011)

2.4.3.5. Kapalı yapı profilleri

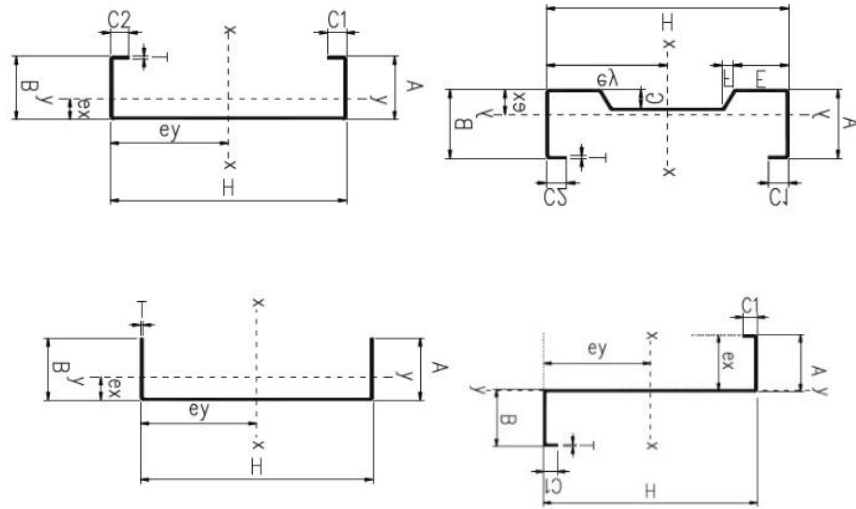
Kutu profil ve boru profil olarak isimlendirilirler. Mat ve D.K.P. çelik bantlardan imal edilen kapalı formdaki profiller dikdörtgen, kare ve daire formlarında imal edilir (Şekil2.16). Kutu profiller ve borular standart olarak 6 m boyunda üretilmektedir. (M.E.B, 2011)



Şekil 2.16. Kapalı yapı profilleri (“4B Makine ürün kataloğu”,2019)

2.4.3.6. Açık yapı profilleri

Özel kesitli olarak istek üzerine yapılır (Şekil 2.17). Yük taşıyıcı olarak ufak ölçekli binalarda kullanılmasının yanı sıra çelik yapılarda genellikle kaplama işlerinde kullanılır. (M.E.B, 2011)



Şekil 2.17. Açık yapı profilleri (“Hekim profil ürün kataloğu”, 2019)

BÖLÜM 3. ÇELİK KONSTRÜKSİYON İMALATLARI VE KAYNAK UYGULAMARI

Çelik konstrüksiyon uygulamalarında tercih edilen tüm kaynak metodlarında, kaynak işlemi uygulanan metalik malzemenin kaynak bölgesinin, metalin erime sıcaklığına yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılması gerekir. Bu ısıtma işleminin hemen ardından meydana gelen soğuma, metalde içyapı değişikliklerine sebebiyet verdiği gibi, “yüksek sıcaklık, kaynak metali, cüruf, ana metal ve ortam atmosferi” arasında bazı kimyasal tepkimelerin meydana gelmesini de kolaylaştırır. (Tama, 2016)

Kaynak metali, gaz alevi veya elektrik arkının oluşturduğu yüksek sıcaklık etkisi ile erir ve önceden hazır edilmiş kaynak ağzı içine dökülür. Bu işlem esnasında, kaynak işlemine tabi tutulan malzemenin kaynak dikişine bitişik bölgelerinde, metalin erime sıcaklığından ortam sıcaklığına kadar, değişik sıcaklık derecelerinde ısınmış kısımlar ortaya çıkar. Tatbik edilen ısıtma işleminin farklılığından ötürü kaynak bölgesinde, mekanik özellikleri ve içyapısı, ana metalden ve kaynak metalinden değişik olan kısımlar oluşur. Farklı özelliklerdeki bu bölgelerde, gerilme-şekil değiştirme davranışında ve korozyona karşı dayanımda esas metalden farklı davranışlar görülür. (Tama, 2016)

Kaynak uygulamasına tabi tutulan bir malzemede kaynak bölgesini; Erime Bölgesi ve Isının Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB) olarak iki grup altında incelemek mümkündür. Erime bölgesi, kimyasal birleşim olarak esas metal ve kaynak metali karışımından oluşur. ITAB ise, kaynak işlemi esnasında uygulanmış ısının meydana getirdiği çeşitli ısıtma çevirimlerinden etkilenmiş ve içyapı değişimine maruz kalmış olan bölgedir. Bu bölge, kaynak metali ile ana metalin birleşim hattından başlayarak, kaynak işlemi esnasında sıcaklığın metalin özelliklerine tesir ettiği son noktada sonlanan bölgedir. Çeliklerin kaynağında bu bölgede sıcaklık 1450-7000C arasında değişkenlik göstermektedir. Bu değişimde ulaşılan en yüksek sıcaklığa bağlı olarak farklı içyapı ve özellik gösteren bölgeler görülür, (Şekil 3.1). (Tama, 2016)



Şekil 3.1. ITAB (Tama, 2016)

Kaynak işlemi esnasında ITAB hızlı bir biçimde ısınmakta ve daha sonrasında parçanın kalınlığına ve eğer uygulanmış ise kaynak öncesi tavlama işlemine bağlı olarak hızlıca soğumaktadır. Bu ani ısı değişikliğinin sonucu olarak kaynaklanan malzemenin cinsine göre kırılğan ve sert bir bölge oluşur. Bu bölge kaynak bağlantısının en kritik bölgesidir ve birçok çatlama ve kırılmalar gibi kaynak hataları bu bölgeler de oluşmaktadır (Şekil 3.2). (Tama, 2016)



Şekil 3.2. Kaynaklı birleşimlerde hasar oluşumları (Tama, 2016)

3.1. Kaynak Yöntemleri

Malzemelerin kaynaklı birleştirilme işlemlerinde kullanılan kaynak metotları;

- Uygulanan malzeme cinsine göre; plastik ve metal malzeme kaynağı,
- Yapılış amacına göre; doldurma ve birleştirme kaynağı,
- Uygulanış şekline göre; el kaynağı, yarı mekanize, tam mekanize ve otomatik kaynak,
- Yapılacak kaynak işleminin cinsine göre; basınç ve eritme kaynağı şeklinde gruplandırılabilir. (Tama, 2016)

Plastik malzeme kaynağı; aynı cins ya da farklı cins sertleşmeyen plastik (termoplastik) malzemeyi basınç ve ısı yardımıyla birleştirme işlemidir. Bu birleştirme işleminde gerekli olması durumunda ilave malzeme olarak aynı cinsten bir ilave plastik kullanılabilir. (Tama, 2016)

Metal kaynağı ise; yöntem olarak plastik kaynağına benzese de plastik kaynağından ayıran en belirgin özelliği birleştirilen malzemenin metal olmasıdır. Bu kaynak yönteminde de birleştirme işleminde ısı, basınç ya da her ikisini birlikte kullanılmaktadır. Bu birleştirme işleminde eğer basınç kullanılmayacak ise ilave metal kullanılması gerekmektedir. (Tama, 2016)

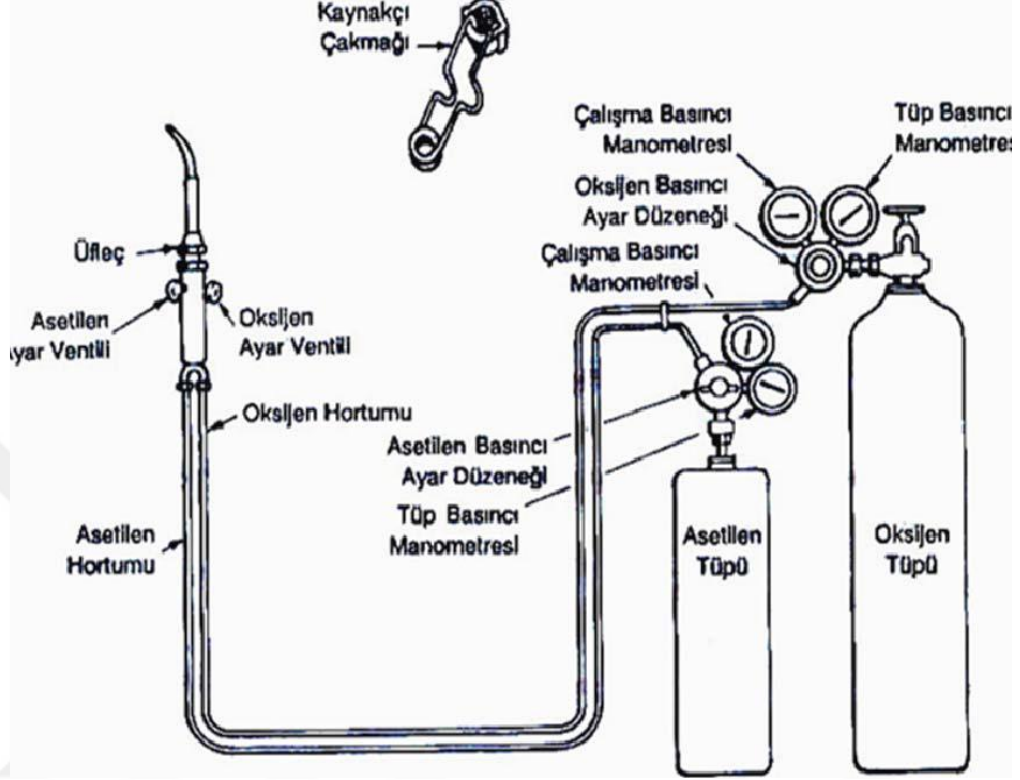
Kaynaklama işlemi, uygulanan ısı derecesinin metallerin ergime noktasına kadar yükseltilmesi ile yapıyorsa Ergitme kaynağı, uygulanan ısı metallerde plastik kıvam oluşturacak derecede ise Basınç kaynağı adı verilir. Çelik konstrüksiyon uygulamalarında tercih edilen kaynak yöntemi “Eritme” kaynağıdır. Bu gruba giren kaynak yöntemleri içerisinde en sık kullanılanları ise; “Gaz Eritme” kaynağı ve “Elektrik Ark” kaynağı yöntemleridir. (Tama, 2016)

3.1.1. Gaz eritme kaynağı

Bu kaynak metodunda, kaynak için ihtiyaç olan ısı, yanıcı ve yakıcı olan gazların beraber yakılmasıyla oluşan alevden elde edilir. Yakıcı gaz olarak çoğunlukla Oksijen, yanıcı gaz olarak ise “Asetilen-C₂H₂, Bütan-C₄H₁₀, Hidrojen-H₂, Metan-CN₄, Propan-C₃H₈, Propan-Bütan karışımı-LPG, Havagazı, Benzin ve Benzol buharı” gazlarından biri kullanılmaktadır. Gaz eritme kaynağında, yanıcı gaz olarak genellikle tutuşma hızının, alev sıcaklığının ve ısı değerinin diğerlerine oranla daha fazla olmasından ötürü asetilen gazı kullanılır. Bu sebeple, gaz eritme kaynağına “Oksi-Asetilen Kaynağı” da denilebilir (Şekil 3.3). (Tama, 2016)

Bu metotla uygulanan kaynak dikişlerinin mukavemeti düşük olduğu için, çelik konstrüksiyonlarda, kuvvet aktaran birleşim noktalarının kaynak işlemlerinde kullanılmamaktadır. Kuvvet aktarım gibi önemi olmayan dolgu ve tamirat gibi işlerde kullanılmakla birlikte günümüzde yaygın olarak kullanım alanları atölye ve şantiye ortamında çelik levha ve profillerin kesilmesi işlemleridir (Şekil 3.4). Yeni nesil çelik konstrüksiyon fabrikalarında ise, sac levhaların boyutlandırılmasında bu yöntemin

bilgisayar destekli uygulamalar ile geliştirilmesi ile bulunan makinalar kullanılmaktadır. Bu modern makinalara “CNC Plazma” denilmektedir, (Şekil 3.5). (Tama, 2016)



Şekil 3.3. Oksi-Asetilen kaynağı donanım şeması (Tama, 2016)



Şekil 3.4. Oksi-Asetilen kaynağı ile metal parçaların kesilmesi (Tama, 2016)



Şekil 3.5. CNC Plazma

3.1.2. Elektrik ark kaynağı

Bütün kaynak metodlarında, kaynak uygulamasını yapabilmek için; enerji, ilave kaynak metali ve bu iki unsuru kaynak bölgesine taşıyacak donanımlara gereksinim vardır. Bu unsurlar elektrik ark kaynağında; “ark, kaynak makinesi ve kaynak elektrotu” tarafından sağlanır. Ayrıca kaynak personelinin kaynak dumanı ve ışınından muhafaza etmek, kaynak işlenen parçalarını uygun pozisyonda tutabilmek ve diğer kaynak parametreleri için gerekli koşulları sağlayabilmek için yardımcı araç ve gereçlere gereksinim duyulmaktadır (Şekil 3.6). Elektrik ark kaynak yönteminde kaynak için gerekli ısı, elektrik arkı tarafından sağlanır. Gerek ilave kaynak metalini kaynak bölgesine iletilmesi gerekse kaynak bölgesinin olumsuz dış etkenden korunması gibi sebeplerden çeşitli ark kaynak yöntemleri bulunmuştur. Elektrik ark kaynağı, çelik konstrüksiyon sıklıkla tercih edilen eritme kaynağı yöntemidir. (Tama, 2016)

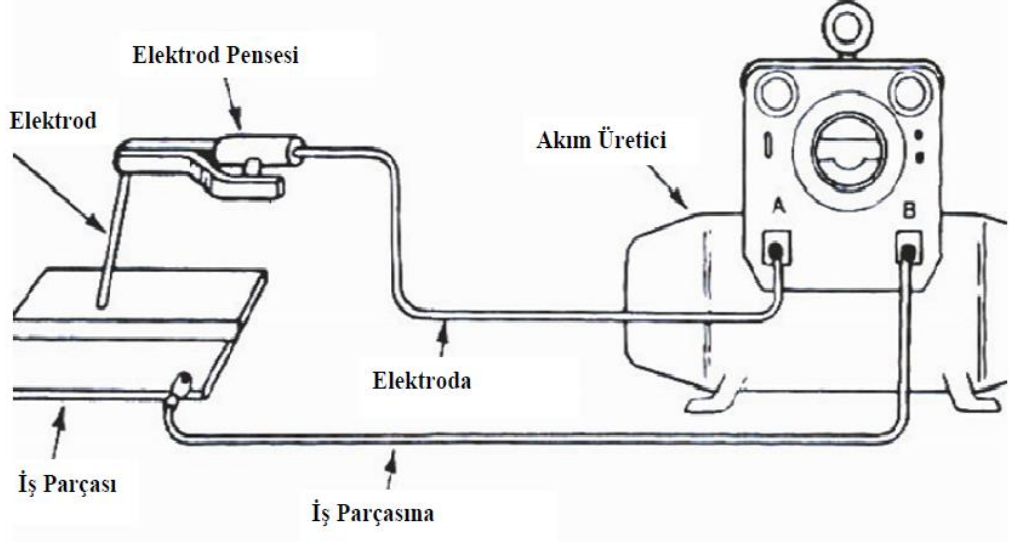


Şekil 3.6. Bazı yardımcı kaynak donanımları (Tama, 2016)

3.1.2.1. Elektrot kaynağı

Bu kaynak uygulamasında, ilave kaynak metali olarak örtülü elektrot kullanılır. Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı, ark kaynak yöntemleri içinde uygulaması en kolay ve bu sebepten en yaygın olan metotlardır. Bu yöntem, 1,2 mm'den kalın parçalar olmak kaydıyla uygulamada demir esaslı veya demir alaşımlarının kaynağında, her kaynak pozisyonunda uygulanabilmektedir. Örtülü elektrot ile yapılan elektrik ark kaynağında gerekli elektrik akımı, bir kaynak akım üretici tarafından sağlanır. Bu akım kablolar vasıtasıyla iş parçası ve elektrot pensesine iletilir. Kaynak personeli elektrotu penseye yerleştirir ve iş parçası ile temas ettirmesiyle elektrik arkını oluşturur (Şekil 3.7, Şekil

3.8). Kaynak parametreleri ve bu aşamadaki kaynak hızı, boyu ve kalınlığı gibi tüm kaynak ayarlamaları kaynak personeli tarafından yapılır, (Şekil 3.8). Bu sebeptendir ki kaynak kalitesinde kaynak personelinin el becerisi etkin rol oynamaktadır. (Tama, 2016)



Şekil 3.7. Elektrot Kaynağı Donanım Şeması (Tama, 2016)



Şekil 3.8. Elektrot kaynağında arkın oluşumu (Tama, 2016)

Kaynak işlemi sırasında iş parçası ve elektrot arasında oluşan ark ile oluşan ısı sebebiyle elektrot yanar ve bu yanmanın neticesinde elektrot ile elektrot örtüsü birlikte erir. Bu erimede elektrot kaynak metali yerine geçerken elektrot örtüsünde kaynak metalinin üzerini örten cüruf halini alır. Bu cüruf sayesinde kaynak bölgesinde korunması sağlanır. İşlemin tamamlanmasının ardından kaynak dikişinin üzerinde cüruf oluşur ve bu cüruf kaynak personeli tarafından temizlenir (Şekil 3.9). (Tama, 2016)

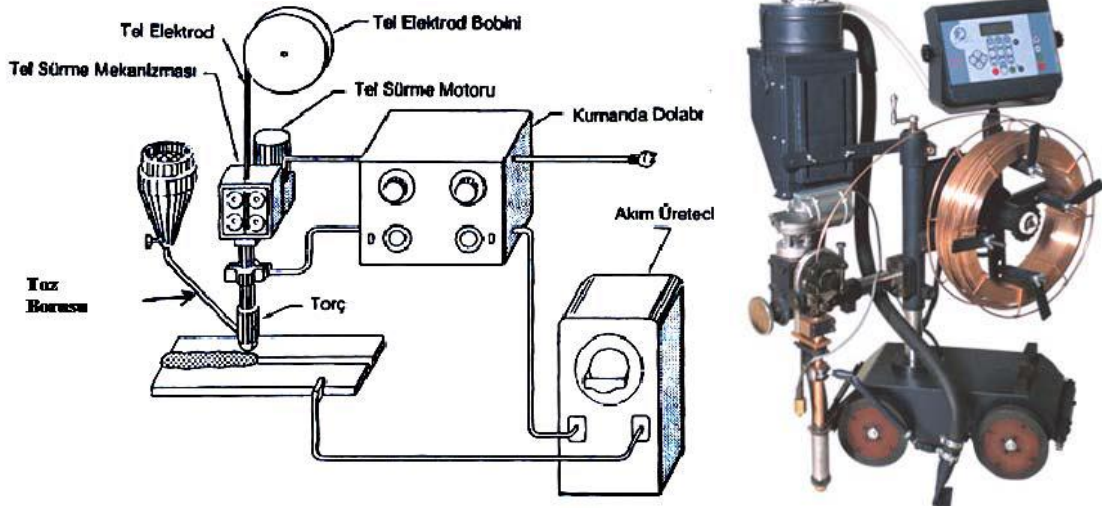


Şekil 3.9. Elektrot kaynağı uygulaması (Tama, 2016)

Elektrot kaynağı ile farklı formlardaki iş parçalarını yatay, düşey, korniş ve tavan kaynağı gibi her pozisyonda kaynak işlemine tabi tutmak mümkündür. Ayrıca bu kaynak yönteminde kullanılan makinelerin diğer yöntemlere kıyasla daha ekonomik ve taşınabilir olması, aynı makine ile sadece elektrot tiplerinin değiştirilmesi ile farklı metallerin kaynaklanmasında kullanılması ve kaynak uygulaması sırasında hareket kabiliyet sınırlaması olmaması bu yöntemin imalatta yaygın olarak kullanılmasının da en önemli etken olmuştur. (Tama, 2016)

3.1.2.2. Tozaltı kaynağı

Çalışma prensibi bakımından temelde bir elektrik ark kaynağıdır. Bu yöntemde ark, yardımcı donanımlar vasıtasıyla otomatik olarak kaynak bölgesine iletilen çıplak tel ile iş parçası arasında oluşur. Kaynak dikişinin korunması için aynı yardımcı donanımlardan kaynak bölgesine sürekli olarak toz dökülmesi yapılır ve ark bu toz tabakasının altında yanar. Bu sebeple yöntem adını uygulama şekline göre “Tozaltı Kaynak Yöntemi” diye isimlendirilmiştir, (Şekil 3.10). Bu kaynak yönteminde ark, bir toz tabakası altında gerçekleştiğinden etrafa ışınım yapmaz ve bu şekilde ark enerjisinin büyük bir kısmı (yaklaşık %64’ü) doğrudan kaynak için harcanmış olur ve toz tabakası kaynak banyosunu atmosferin olumsuz etkilerinden korur. (Tama, 2016)



Şekil 3.10. Tozaltı kaynak donanım şeması ve kaynak makinesi (Tama, 2016)

Tozaltı kaynağı, otomatik kaynak yöntemi olmakla birlikte, ark enerjisini verimli kullandığı içinde güçlü bir kaynak uygulamasıdır. Bu yöntemde 1,2 - 300 mm aralığındaki kalınlıklara sahip tüm çelik elemanların kaynak işlemini yapmak mümkündür. (Tama, 2016)

Tozaltı kaynağı ile diğer ark kaynakları kıyaslandığından karakteristik farklılıklar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Tozaltı kaynağında 200 ila 500 Amper akım şiddeti ve 6 ila 300 m/saat arasında kaynak hızları kullanılır.
- Tozaltı kaynağında oluşan kaynak metalinin 1/3'ü ilave metal 2/3'ü ise ana metal oluşturduğu için ilave metal sarfiyatı azdır.
- Tozaltı kaynağında torch, ilave tel, kontrol paneli, toz haznesi ve hunisi gibi kaynak donanımları hız ayarı yapılabilen hareketli robotta olduğu için sürekli kaynak yapma imkânı vardır.
- Kaynak bölgesini örtmek için toz tabakası kullanıldığı için yavaş soğumayı sağlar. Buda soğuma esnasından oluşan kaynak hataları riskini minimize ederek kaynak kalitesini artırır.
- Kaynak bölgesinin toz tabakası ile örtülmesi nedeniyle, etrafa ışıyım yapmaz ve bu sebepten elektrik enerjisi kaybı da çok azdır.

- Toz tabakasının kaynak bölgesini örtmesi/koruması nedeniyle kaynak işlemi esnasında meydana gelen zararlı ultraviyole ışınlarından korunmak için özel donanımlara ihtiyaç yoktur. (Tama, 2016)

Bu kaynak yönteminin sağladığı kolaylıkların yanı sıra bazı sakıncaları da vardır. Bu sakıncalarda şu şekilde sıralanabilir;

- İlk yatırım maliyetleri diğer kaynak yöntemlerine kıyasla daha maliyetlidir.
- Min. et kalınlığı 1.2mm olan parçalarda uygulama yapılabilir ancak bu et kalınlığında bile yanma ihtimali yüksektir. Bu sebepten 5mm ve üstü et kalınlığına sahip parçalarda daha elverişlidir.
- Koruyucu tabaka olarak kullanılan toz nem kapmaya meyillidir. Nemli toz ile yapılan kaynaklarda ise gözenekler oluşmaktadır. Buna engel olmak için tozun kurutulması gerekmektedir bunun içinde ilave kurutucu almak gerekmektedir ve buda yöntemin maliyetli olmasına etki etmektedir. (Kahraman, Gülenç, 2016)
- Sektörde otomatik kaynak robotu olarak anılsada manuel olanları da vardır ancak bu çok iyi sonuç vermemektedir. Kaliteli sonuçlar için otomatik olanlara gereksinim duyulduğu için ve otomatik olanlarıda belli bir hat üzerinde ilerleme yapabildikleri için bu hat spesifik şekilli uygulamalara imkân vermemektedir ve kullanım alanını kısıtlamaktadır.
- Bu yöntem dikey ya da tavan kaynak pozisyonlarında çalışmaya imkân vermemektedir.
- Bu yöntem ile sadece çelik malzemeler kaynak yapılabilmektedir. (Tama, 2016)

3.1.2.3. Gazaltı kaynağı

Bu yöntemde kaynak işlemi için ihtiyaç duyulan ısı, özel donanımlar vasıtasıyla sürekli ve sabit hızla kaynak bölgesine iletilen ve ergiyen bir tel elektrot ile kaynak bölgesi arasında oluşturulan ark yoluyla ve elektrottan geçen kaynak akımının elektrotta oluşturduğu direnç ısıtması aracılığı ile üretilir. Kaynak bölgesi, çıplak elektrot, ark ve ana metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri tel elektrotun ile aynı donanımı kullanarak kaynak bölgesine iletilen bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur. (Eryürek, 2007)

BÖLÜM 4. GAZALTI KAYNAĞI

Gazaltı kaynağı, kaynak bölgesi bir gazla korunan özel bir ark kaynağı yöntemidir. Bu uygulamada, kaynak bölgesine özel donanımlar vasıtasıyla otomatik olarak sabit hızla sürekli olarak beslenen eriyen elektrot ve aynı donanımlarda iletilen kaynak bölgesini koruyan gaz kullanılır. İlk ayarlamalar kaynak personeli tarafından yapılır. Uygulama yapılacak olan kaynak işlemi için gerekli donanımlar seçilip, o işlem için kullanılması gereken ayarlar yapıldığında, bu parametreler (ark boyu, akım şiddeti ve elektrot besleme hızı) kaynak makinesi tarafından otomatik olarak sabit değerde tutulur. (Tama, 2016)

Kaynak donanımı; elektrot besleme ünitesi, kaynak torcu ve kablo grubu, koruyucu gaz ünitesi ve güç ünitesi olmak üzere dört kısımdan oluşur. Torc ve kablo grubunun vazifesi elektrotu, koruyucu gazı ve güç ünitesinden gelen akımı ark bölgesine ulaştırmaktır. Kaynak işlemi sırasında torcun tetiğine basıldığında, iş parçasına elektrot, gaz ve enerji anda iletilir ve ark oluşur. (Tama, 2016)

Bu metotta, kaynak nüfuziyetini, dikiş geometrisini ve genel kaynak kalitesini etkileyen bir takım kaynak parametreleri bulunmaktadır. Bunlar; koruyucu gazın bileşimi ve debisi, ark boyu, kaynak pozisyonu, elektrot çapı, elektrot besleme hızı, kutuplama, kaynak hızı ve serbest elektrot uzunluğu olarak sıralanabilir. Kaliteli kaynak dikişleri için bu parametrelere hâkim olmak, etkilerini iyi okumak ve bunları kontrol etmek gerekir. Kaynak parametrelerine en uygun değerler seçimi yapılırken ana metalin tipi, elektrot bileşimi, kaynak pozisyonu ve kaynak bağlantısının kalitesi ile ilgili istekler dikkate alınmalıdır. (Tama, 2016)

Gazaltı kaynak yönteminin sağladığı üstünlükler sebebiyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu üstünlükler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Ticari metal ve alaşımların tamamının kaynağında kullanılabilen, eriyen elektrotla yapılan tek kaynak yöntemidir.

- Sürekli elektrot beslemesi olduğu için elektrik ark kaynağındaki gibi sınırlı uzunlukta elektrot kullanma gereksinimi yoktur. Bu sebepten sürekli ve uzun kaynak dikişleri yapabilir.
- Tüm pozisyonlar için kaynak yapma imkânı sağlamaktadır.
- Elektrik ark kaynağına nazaran metal yığıma hızı çok daha yüksektir.
- Elektrot beslemesi sürekli ve metal yığıma hızı yüksek olması sebebiyle, kaynak işlemi süresi elektrik ark kaynağına kıyasla daha hızlıdır.
- Sprey iletim kullanıldığında, elektrik ark kaynağına nazaran daha derin nüfuziyet elde edilir. Bu sebeple köşe kaynak birleştirme metodunda aynı mukavemeti sağlayan daha küçük kaynak dikişleri çekmek mümkün olur.
- Kaynak bölgesinin korunması gaz tarafından yapıldığı için cüruf oluşmaz. Bu sebeple kaynak işlemi sonrası cüruf temizlemesi için ilave bir zamana ihtiyaç yoktur. (Tama, 2016)

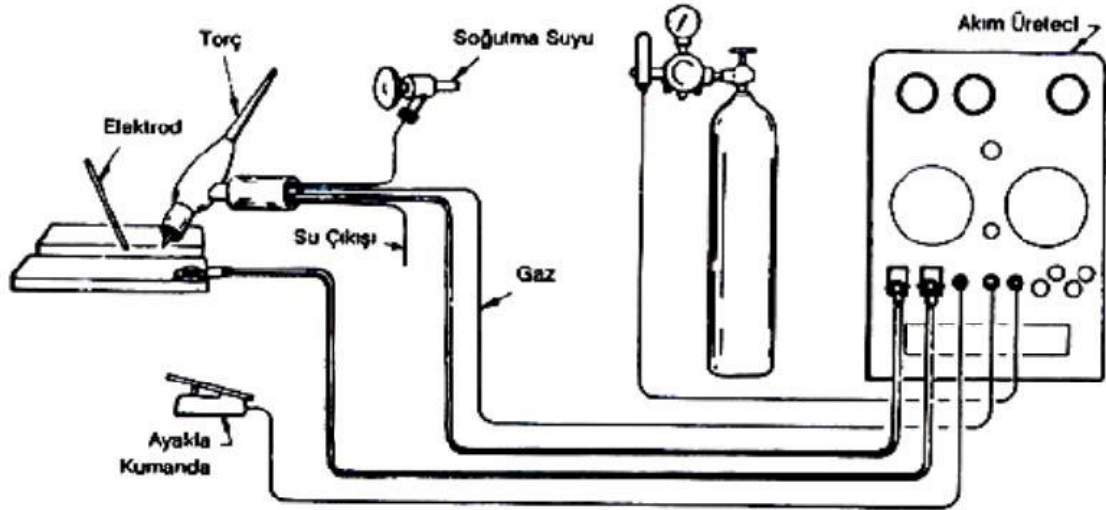
Bu üstünlükleri sebebiyle yöntem, manuel kullanımın yanında otomatik kullanım içinde geliştirilerek sürekli üretim hatları olan sektörlerin kaynak uygulamalarında kullanıma uygun hale getirilmiştir. Diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, gazaltı kaynak yöntemi kullanımını zorlaştıran bazı kısıtlamalar da vardır ve aşağıda sıralanmıştır;

- Kaynak donanımı, elektrik ark kaynağına kıyasla daha maliyetlidir. Ayrıca daha karmaşık ve daha büyük hacme sahip olduğu için taşınması daha zordur.
- Kaynak torcunun elektrik ark kaynağına kıyasla daha büyük olması ve kaynak bölgesinin koruyucu gazla tam manasıyla muhafaza edilebilmesi için torcun kaynak bölgesine 10-20 mm arasında yakın bir mesafeden tutulması gereken bu yöntemin, uygulama alanı spesifik ulaşılması güç olan yerlerde kullanılması çok zordur.
- Kaynak arkı, koruyucu gazın kaynak bölgesine tesir etmesine engel olan hava akımlarından korunmalıdır. Bu sebeple, kaynak alanının etrafı hava akımına karşı muhafaza altına alınmadıkça, açık alanlarda kullanılmamalıdır. (Tama, 2016)

Kullanılan elektrot ve gazların cinslerine göre koruyucu gaz kaynak yöntemlerini TIG ve MIG/MAG Kaynağı olarak sınıflandırmak mümkündür. (Tama, 2016)

4.1. TIG kaynağı

TIG “Tungsten Inert Gas” kaynağı yöntemi, 1940-1944 yıllarında Amerika Birleşik Devletleri’nde magnezyum ve diğer hafif metal alaşımlarının kaynağı için geliştirilmiş ve koruyucu gaz olarak da helyum gazı kullanılmıştır. Bu metotta, kaynak arkı, erimeyen bir tungsten elektrot ile iş parçası arasında meydana gelmektedir. Ark, elektrot ve erimiş banyo havanın tesirinden bir argon veya helyum atmosferi ile korunmaktadır. Koruyucu gazın soy bir gaz olması nedeniyle oksidasyon ve nitrür teşekkülü gibi, istenmeyen haller önlenmektedir. Kaynak uygulaması içinde oksis-asetilen kaynak yönteminde olduğu gibi, harici bir kaynak metaline gereksinim vardır. Kaynak metali kaynak bölgesine dışarıdan ilave edilir (Şekil 4.1). (Tama, 2016)



Şekil 4.1. TIG kaynak donanım şeması (Tama, 2016)

TIG kaynak yönteminin ilk uygulamalarında koruyucu gaz olarak helyum gazı tercih edilmiştir. Daha sonraları yöntem geliştirilerek helyum gazı gibi tek atomlu ve soy gaz olan argon gazı da kullanılmaya başlanmıştır. Her iki gazda renksizdir, kokusuzdur, yanmazlar ve diğer elementler ile birleşmezler. Helyum gazı havadan hafif olduğu için uygulama esnasında uçar ve koruma kabiliyeti azalır ancak argon gazı helyumun aksine havadan ağır olduğu için kaynak bölgesinin helyuma nazaran daha iyi korur. (Tama, 2016)

TIG kaynağında, saf tungsten veya tungstenin toryum ve zirkonyum ile alaşımlandırılmasıyla elde edilen elektrotlar kullanılır. Elektrotların uygun akım şiddeti ile yüklenmeleri gerekir. Aksi halde, aşırı yüklemde elektrot ucunda erime oluşur ve bu nedenle kararsız bir ark meydana gelir. (Tama, 2016)

TIG kaynak yöntemi sıklıkla hafif metal ve alaşımlarla, bakır ve paslanmaz çeliklerin kaynağında tercih edilir. Ayrıca, kaynak kabiliyeti kötü olan bronzlar, titanyum alaşımları ve zirkonyum gibi malzemelerin kaynağı da gözeneksiz olarak yapılabilir. TIG kaynağında; kaynak hızı yüksektir, kaynak ısısı bir bölgeye teksif edilebilir, ısıl distorsiyonlar azdır, kaynak dikişleri temizdir, kaynaktan sonra dikişin temizlenmesine gerek yoktur ve kolay mekanize edilebilir olması önemli avantajlarıdır. Genel olarak TIG yöntemi ile yapılan kaynak birleşimlerinin büyük bir kısmını alın bağlantıları oluşturur. Saçların birleştirilmesinde, ince saçların kullanıldığı kutu profillerin imalatında, depo ve siloların yapımında ve silindirik cebri boruların teşkilinde alın birleşimleri kullanılır (Şekil 4.2). (Tama, 2016)



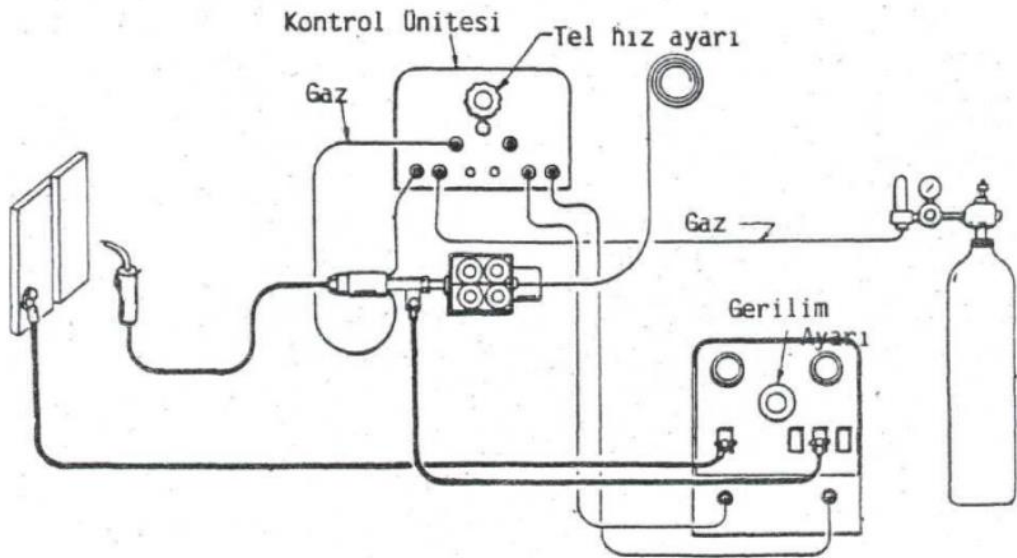
Şekil 4.2. TIG Kaynak Uygulamaları (Tama, 2016)

4.2. MIG/MAG kaynağı

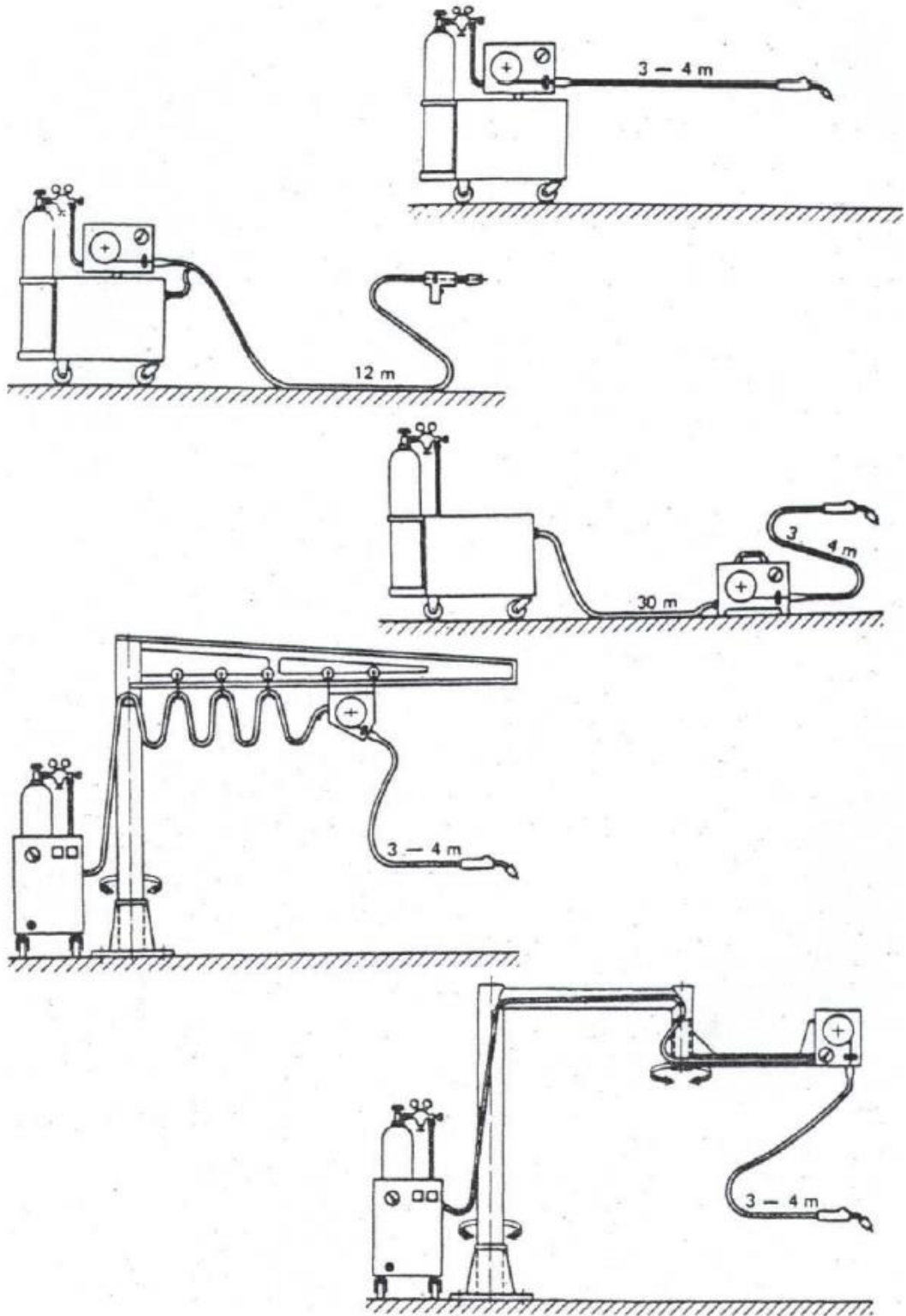
Bu yöntem ilk defa Amerika'da alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılmış olup daha sonra yüksek alaşımları çeliklerin, bakır ve alaşımların ve karbonlu çelikler gibi metallerin kaynağında da kullanılmaya başlanmıştır. Metal Inert Gas (MIG) ve Metal Activ Gas (MAG) yöntemleri kendi baş harflerinin kısaltmaları ile anılmaktadır. MIG kaynağında ark asal gaz (argon ve helyum) atmosferi altında yanar. Bu yöntemi TIG kaynağından ayıran en belirgin özelliği, arkın kaynak bölgesine sürekli iletilen eriyen elektrot ve iş parçası arasında gerçekleşiyor olmasıdır. (Ertürk,1987)

MIG kaynağını oluşturan donanımlar aşağıdaki gibidir (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4):

- Bir kaynak tabancası (torc).
- Kaynak bölgesine elektrot, koruyucu gaz, soğutma suyunun geliş ve gidişini sağlayan su borularını muhafaza eden hortum.
- Tel elektrotun hareketini gerçekleştiren düzenek.
- Donanımların hareketlerini kontrol eden kontrol paneli.
- Kaynak akım üretici.
- Kaynak işleminde kullanılan koruyucu gaz tüpü. (Ertürk,1987)



Şekil 4.3. MIG kaynak donanımı blok şeması (Ertürk,1987)



Şekil 4.4. Çeşitli tip MIG kaynak donanımları (Ertürk,1987)

MIG kaynak uygulamasında doğru akım kullanılır. Prodüktivitenin artırılması ve elektrotun kolaylıkla eriyebilmesi için, örtülü elektrotla yapılan elektrik ark kaynağına nazaran daha yüksek bir akım yoğunluğu ile çalışılır. Ark boyunun sabit kalması için, eriyen kaynak metali miktarına göre sürekli olarak beslenen elektrot telinin kaynak donanımı tarafından otomatik olarak ilerletilmektedir. Buda kaynak personelinin daha kolay çalışmasına imkân tanır. Ayrıca bu yöntemde örtülü elektrot ile yapılan kaynak uygulamalarının aksine kaynak personelinin yetiştirilmesi çok daha kolaydır. Fakat bu yöntemde yüksek akım yoğunluğu sebebiyle oluşan kuvvetli ışınmadan cildin ve özellikle gözlerin muhafazası için koruyucu tedbirler alınmalıdır. (Ertürk,1987)

4.2.1. Koruyucu gazlar

Tüm gazaltı kaynak yöntemlerinde olması gerektiği gibi MIG kaynak uygulamalarında da koruyucu gazın ark bölgesini bütünüyle kapatması ve atmosferin olumsuz etkilerinden koruması gerekir. (Ertürk,1987)

Kullanılan çeşitli gaz ve gaz karışımlarına göre ark atmosferinin karakteri değişir (Şekil 4.5). Helyum ve argon gibi asal gazların oluşturduğu ark atmosferi nötr bir hareket gösterirken buna karşın, argon gazına oksijen veya karbondioksit gibi aktif gazların karıştırılmasıyla ark atmosferine oksitleyici bir karakter kazandırabilir. Hidrojen gazının argon ile karıştırılması ile de redükleyici bir gaz atmosferi meydana gelir. Argon gazına oksijen veya karbondioksit gazlarını karıştırılması ile oluşan exzoterm bir reaksiyon sonucunda kaynak bölgesinin sıcaklığı artar ve yüzey gerilimi zayıflar. Bu şekilde kaynak banyosunun akıcılığı yükseltilmiş ve gazı giderilmiş olur. Ayrıca, koruyucu gazın oksijen içermesi düşük akım yoğunluklarında da ince taneli ve kısa devresiz damla geçişinin (Spray ark) oluşmasına yardımcı olur (Tablo 4.1 – Şekil 4.6). (Ertürk,1987)

Asal gazlar, kabuklarındaki bütün yerlerin elektronla dolu olması sebebiyle diğer elementlerin atomları ile elektron alışverişinde bulunmazlar; yani kimyasal bir reaksiyon meydana getiremezler. Gazaltı kaynak yöntemlerinde, asal gaz olarak helyum ve argon kullanılır. Argon gazı içinde oluşan arkın gerilim düşümü diğer koruyucu gazlara kıyasla daha azdır. Ayrıca argonun ısı iletme kabiliyetinin de zayıf olması sebebiyle ark sütunu daha geniş ve sıcaklığı bilhassa dış kısımlarda düşüktür. Sütunun merkezinde gerek metal buharları ve gerekse damla geçişi dolayısı ile sıcaklık daha yüksektir. Bu sebepten

koruyucu gaz olarak argon kullanılarak yapılan kaynak dikişlerinde nüfuziyet dikişin merkezinde derin, kenarlarda azdır. Argon gazının koruyucu gaz olarak kullanılması alüminyum ve bakır gibi metallerin kaynak işleri için daha uygun olurken, ancak başka gazlar ile karışım oluşturulup çelik kaynaklarında kullanılması uygundur. Helyum'un havadan çok hafif olması gaz sarfiyatının çok olmasına sebebiyet vermektedir. Örneğin; aynı şartlarda kaynak işlemi uygulandığında argona kıyasla üç kat daha fazla helyum gazı kullanımı olmaktadır. Helyum atmosferi koruyucu gaz olarak kullanılması halinde, ısıyı iyi ilettiğinden nüfuziyeti iyi kaynak dikişleri elde edilir. Ark geriliminin düşümü de argona nazaran yüksek olduğundan, helyum atmosferinde oluşan kaynak arkı daha yüksek enerjilidir. Bu bakımdan ısıyı iyi ileten metallerin kalın kesitlerinin kaynağında ekseriya ön ısıtma gerektirmez. (Ertürk,1987)

Helyum ve argon karışımı koruyucu gaz olarak yukarıda belirtilmiş olan özelliklerini karışım oranına göre gösterirler. Argon gazına az miktarda oksijen ve çeşitli oranlarda karbondioksit ilave ederek karışım gazlar elde edilir. Oksitleyici karakterdeki bu gazlar sadece çeşitli çeliklerin kaynağında kullanılır. (Ertürk,1987)

Karbondioksit atmosferi altında yapılan, diğer bir deyimle karbondioksiti koruyucu gaz olarak kullanılan kaynak yöntemine Metal Activ Gas kelimelerinin baş harflerinden faydalanılarak MAG adı verilmiştir. (Ertürk,1987)

Karbondioksit, argon gibi monoatomik elementer bir gaz olmadığından, arkın yüksek sıcaklığında karbonmonoksit ve oksijene ayrışır. Serbest kalan oksijen kaynak banyosundaki elementlerle birleşir; ark sütünü içinde iyonize olan gaz kaynak banyosuna doğru gelir ve bir miktarı tekrar karbondioksit haline geçer ve dolayısı ile ayrışma esnasında almış olduğu ısıyı tekrar verir. Bu da dikişin nüfuziyetinin artmasına yol açar. Banyo içinde ayrıca serbest oksijenin oluşturduğu demir-oksit mangan, silisyum ve karbon tarafından redüklenir. Mangan ve silisyum kaybı kaynak telinin bileşimi tarafından karşılanır. Bu bakımdan çeliklerin kaynağında MIG kaynak telleri, MAG yönteminde kullanılamaz. (Ertürk,1987)

MAG kaynak yönteminde, kaynak işlemi sırasında bir miktar alaşım elementi oksidasyonla kaybolduğundan, dikişin üzerinde çok ince bir cüruf tabakası oluşur ve bu da çok kolay bir şekilde kalkar.

Günümüz endüstrisinde MAG kaynak yönteminde kullanılan kaynak telleri Alaşimsız teller, Alaşımlı teller ve Kenetli telleri olmak üzere üç grupta incelenebilir (Tablo 4.2 – Şekil 4.7). (Ertürk,1987)

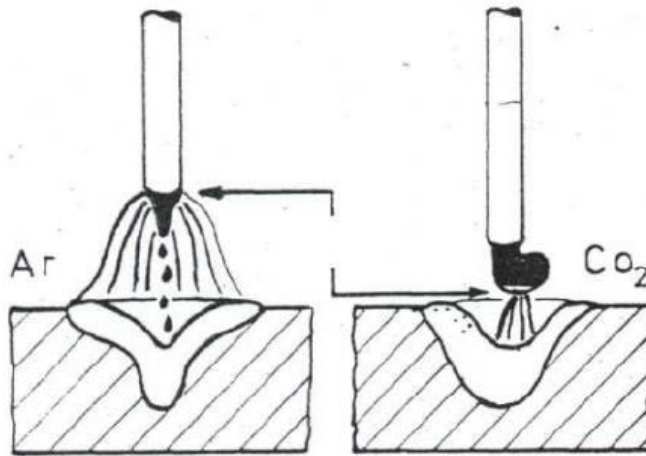
- Alaşimsız teller; bunlarda sadece mangan ve silisyum miktarı normal çeliklere kıyasla daha fazladır.
- Alaşımlı teller; bunlar özel bileşimde olup özel işler için geliştirilmişlerdir, ayrıca zirkonyum ve titanyum gibi dezoksidasyon maddeleri içerirler.
- Kenetli teller; bunlar ince bantların bir dekapanla birlikte sarılması ile elde edilmişlerdir. Alaşımlama dekapan tarafından sağlanır.

		Metal				
		Mg	Al	Cu	Çelik	
		MIG				TIG
GAZ	Argon					
	Helyum					
	CO2					

Şekil 4.5. Koruyucu gaz cinsine bağlı olarak çeşitli metallerde nüfuziyetin değişimi (Ertürk,1987)

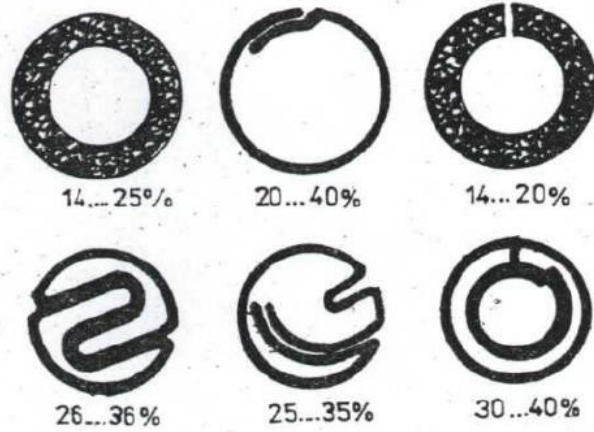
Tablo 4.1. MIG Kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar (Ertürk,1987)

Kaynak Usulü	Gazın Karakteri	Gazın İşareti DIN 32526	Gazın Bileşimi	Kullanma Yeri
MIG	Asal	1.1	Ar %100	Çelik haricinde bütün metal alaşımları
	Asal	1.2	He %100	Cu ve Al alaşımları
	Asal	1.3	He %25-75 Ar kalanı	Cu ve Al alaşımları
Karışım Gazlar	Hafif Okistleyici	M.1.1	O ₂ %1...3 Ar kalanı	Paslanmaz Çelikler
		M.1.2	CO ₂ %2...5 Ar kalanı	Paslanmaz Çelikler
		M.1.3	CO ₂ %6...14 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
	Oksitleyici	M.2.1	CO ₂ %15...25 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler (özlü elektrot ile)
		M.2.2	CO ₂ %5...15 O ₂ %1...3 Ar kalanı	Alaşımlı ve az alaşımlı çelikler
		M.2.3	O ₂ %4...8 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler
	Kuvvetli Oksitleyici	M.3.1	CO ₂ %26...40 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
		M.3.2	CO ₂ %5...20 O %4...6 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
		M.3.3	O ₂ %9...12 Ar kalanı	Alaşımsız çelikler
	MAG		C	CO ₂ %100



Etkileri	CO ₂	Karışım Gaz	Argon
Gözenek Tehlikesi	küçük	büyük	
Sıçrama	çok	az	çok az
Nüfuziyet	çok fazla	fazla	az
Dikiş Yüzeyi	pürüzlü	düz	yaygın
Dikiş Genişliği	dar	geniş	çok geniş
Dikiş Formu	bombeli	düz	daha düz

Şekil 4.6. Koruyucu gaz cinsinin ark ve kaynak dikişine etkisi (Ertürk,1987)



	C	Si	Mn	P ≤	S ≤	Cu ≤	Ni ≤	≤
SGRI	0,05 . -0,12	0,2 ...0,6	0,1... 1,4	0,03	0,03	0,35	0,7	Cr 0,15 V 0,05 Zr-Ti 0,02 Mo 0,15
SGBI	0,05.. .0,12	0,15 ...0,45	0,4... 1,6	0,03	0,03	0,35	0,7	Al 0,02 Mo 0,15

Şekil 4.7. MAG kaynağında kullanılan kenetli tel elektrotlar (Ertürk,1987)

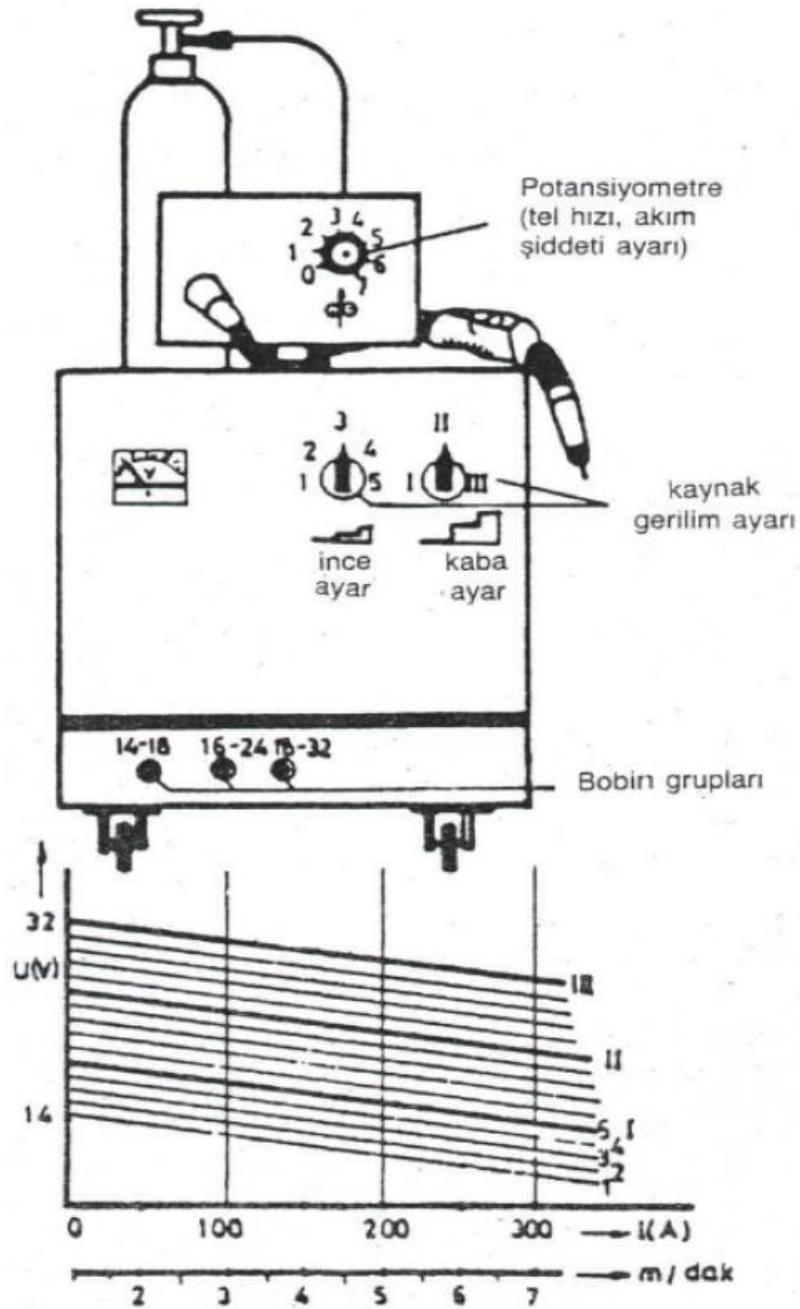
Tablo 4.2. Yumuşak çeliklerin kaynağında kullanılan MAG kaynak telleri (Ertürk,1987)

İŞARETİ	MALZ. NO	Kimyasal Bileşim						Müsaade edilen refakat elementleri	
		C	S	Mn	P	S	Cu		
SG1	1.5112	0,07-0,12	0,5-0,7	1,0-1,3	0,025	0,025	0,30	Cr	0,15
								V	0,05
SG2	1.5125	0,07-0,14	0,7- 11,0	1,3-1,6	0,025	0,025	0,30	Zr + Ti	0,15
								Al	0,02
SG3	1.5130	0,07-0,14	0,8-1,2	1,8-1,9	0,025	0,025	0,30	Ni	0,15
								Mo	0,15

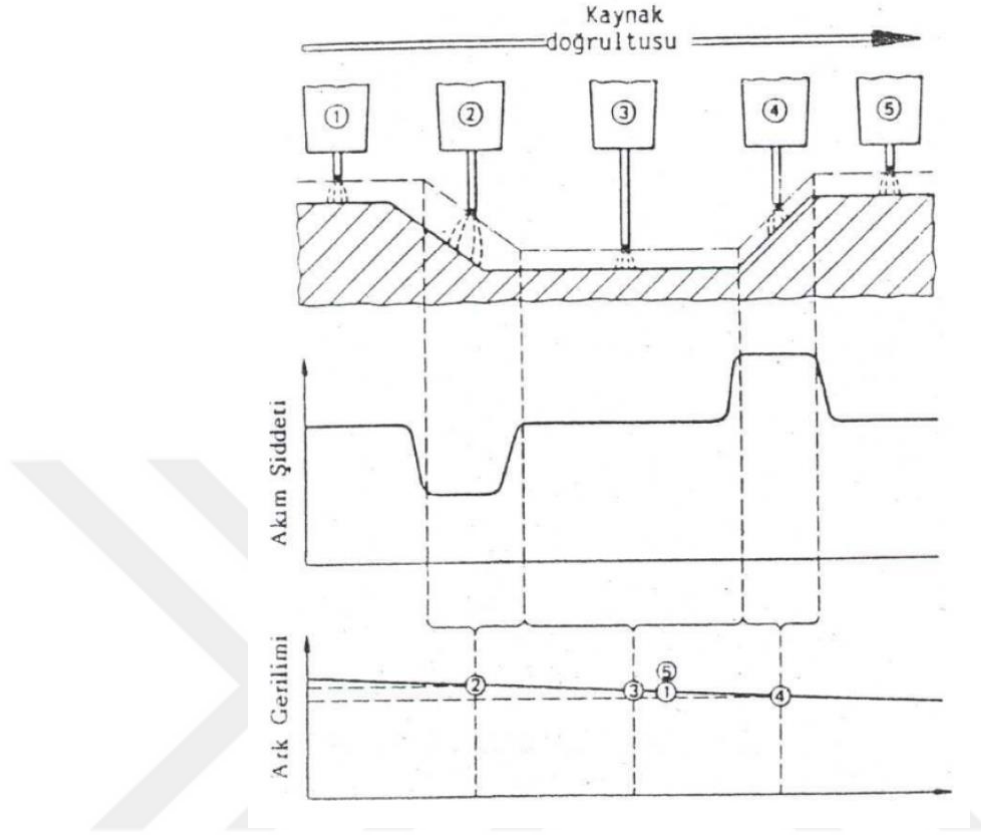
Bu tip kaynak akım üreteçlerinde iç ayar diye adlandırılan l ark boyu ayar skalası vardır. Bu tip üreteçlerde ark gerilimi ve tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak da akım şiddeti ayarlanır. Bu tür makinalarda tel ilerletme motoru, seçilmiş sabit bir devirle döner, yani diğer bir ifadeyle tel hızı sabittir. (Ertürk,1987)

Kaynak işlemi sırasında ark boyunun uzaması gibi bir durum oluştuğunda buna bağlı olarak akım şiddetide ters orantılı olarak azalır (Şekil 4.9). Buna bağlı olarak eriyen tel

miktarı azaldığından ark normal boyuna döner; aksi halde, yani ark boyunun kısılması halinde ise akım şiddeti süratle artar; eriyen tel miktarı da buna bağlı olarak artacağından neticede de ark boyu normale döner. Bu kaynak yönteminde görüldüğü gibi ark boyunun ayarlanması yarı otomatik kaynak halinde dahi, kaynak personelinin kabiliyetine veya dikkatine bırakılmamıştır. Ark boyu kaynak akım üreticinin yatay karakteristiği sayesinde kendinden ayarlanmaktadır. (Ertürk,1987)



Şekil 4.8. MIG - MAG Akım üretici ve ayarlar (Ertürk,1987)



Şekil 4.9. Δt ayarı ile ark boyunun kaynak süresince sabit kalması (Ertürk,1987)

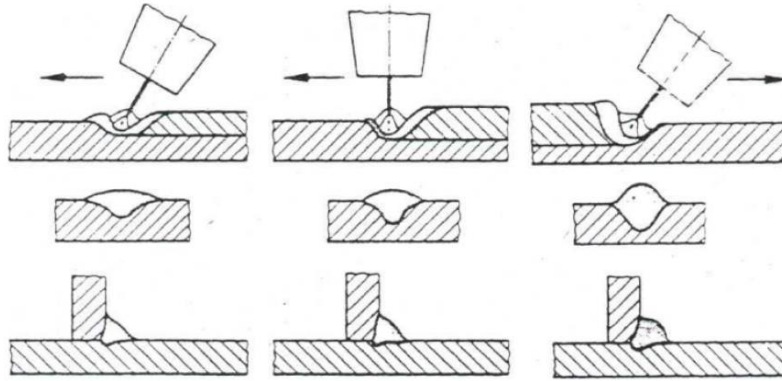
4.2.2. Çalışma tekniği

MIG kaynak yönteminde bilinen tüm kaynak dikiş şekilleri kaynak edilebilir. Özellikle yatay pozisyondaki kaynaklar el ile kaynak edilebilmesinin yanında otomatik olarak ta kaynak edilebilir ancak dik kaynak ve spesifik şekillere sahip kaynaklı birleşimler yalnızca el kaynağı ile kaynatılabilir. Özetle MIG kaynak metodunda tercih edilecek olan kaynak tekniği belirlenirken, uygulama yapılacak olan malzemenin şekline, birleşim noktalarının kaynak ağzı şekline, kaynak pozisyonuna ve ısıl iletkenliğine bakılır. (Ertürk,1987)

Kaynak alanının nüfuziyeti, genişliği ve dikiş yüksekliği uygulama esnasında kaynak hızının ve akım şiddetinin değiştirilmesi ile ayarlanabilmektedir. Akım şiddetinin yükselmesi nüfuziyeti arttırırken dikiş genişliğini ve yüksekliğini azaltmaktadır. Kaynak

hızının ve geriliminin artırılması da dikiş genişliğini azaltmaktadır. Kaynak personeli kaynak işlemi sırasında elektrotun erime işlemini ve kaynak banyonu kolayca kontrol edebilmesi için, torcu kaynak yönüne ters yönde en fazla 30° lik bir eğimle tutması gerekmektedir. Bu açı kaynak personelinin kabiliyetine bağlı olarak değiştirilebilir ancak açının artırılması ile birlikte nüfuziyet azalır ve kaynak dikişi genişleyecektir. Bu durumda da kaynak kalitesini yakalamak için kaynak hızını artırması gerekecektir aksi durumda kaynak bölgesinde yığılmalar meydana gelecek ve kaynak dikişinde gözenek ve kalıntılar oluşacaktır. Ayrıca torc(hamlaç) açısının artırılması koruyucu gaz tabakasının etkinliğini olumsuz yönde etkileyecektir (Şekil 4.10). (Ertürk,1987)

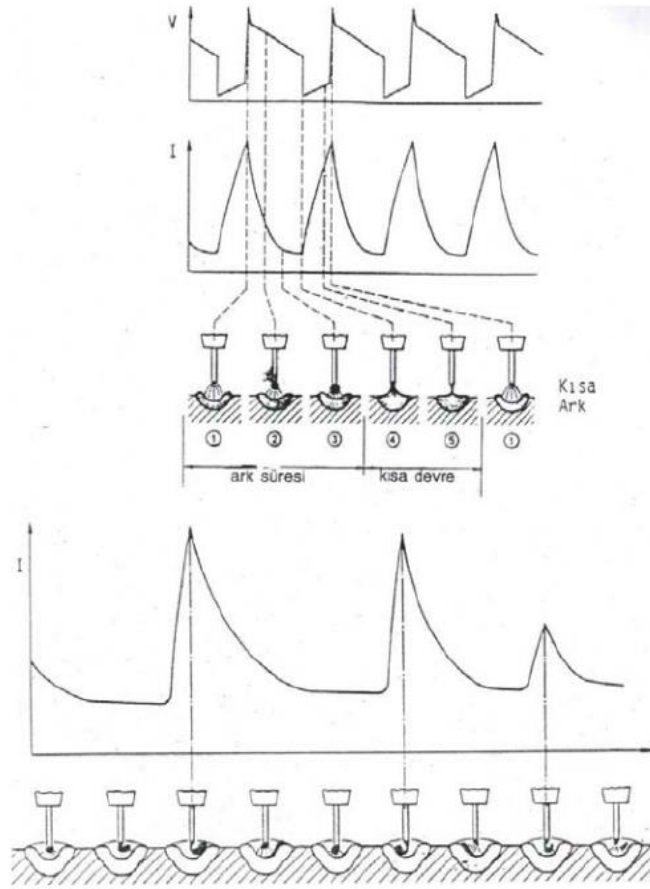
Kalınlıkları fazla olan parçaların kaynak işleminde derin nüfuziyet gerekmektedir bu sebepten yukarıda bahsettiğimiz konular göz önünde tutularak torcun kaynak yüzeyine olan açısını en fazla 30° olmalıdır. Tam otomatik MIG/MAG kaynak yöntemlerinde bu açı verilerek kaynak uygulaması yapılır. (Ertürk,1987)



Şekil 4.10. Hamlacın meyline göre dikiş formunun değişimi (Ertürk,1987)

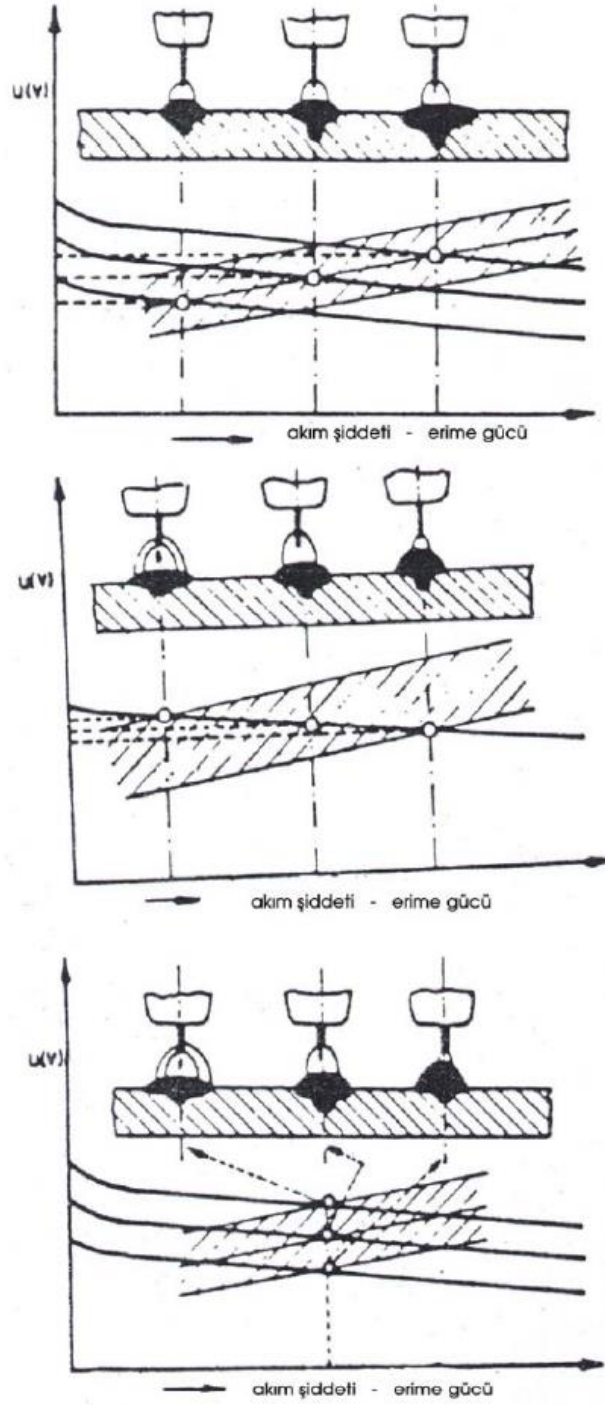
Akım şiddeti ve gerilimi, MIG kaynak uygulamalarında kaliteli bir kaynak bağlantısı sağlayabilmek için gerekli parametrelerin başında gelmektedir. Bu iki etken sabit gerilimli kaynak akım üreteçlerinde birbirinden bağımsız olarak düzenlenebilir. Akım şiddeti akım üreteçlerinde tel ilerlemesinin ayarlanması ile ayarlanırken kaynak gerilimi ise akım üretecinin ince ve kaba ayarları ile ayarlanabilmektedir. Bu iki parametrenin ark şekli ve dikiş formu üzerine etkileri Şekil 4.12’de verilmiştir. Eğer parametreler uygun seçilmiş ise ark sakin ve kararlı bir şekilde yanacaktır. Standart bir akım üretecinde 5 adet ince ve 3 adet kaba ayar bulunmaktadır. Buda kendi aralarında 15 farklı gerilim ayarı tercih etmek imkânı sağlamaktadır. (Ertürk,1987)

Kaynak uygulaması sırasında metal damlacıklarının geçiş özelliğine göre çalışma karakteristiği seçimi ile 14 ila 24 V arasında kısa ark, 23 ila 34 V arasında ise uzun ve spray ark (duş şeklinde damla geçişi) elde edilir. 18 ila 28 V arasında ise uzun ve kısa ark arası bir damla geçişi karşılanır. Damla geçişine bağlı olarak akım yoğunluğu kısa ark halinde 125 A/mm² den küçük, uzun ve spray ark haline ise bu değerden büyük olmalıdır. (Ertürk,1987)



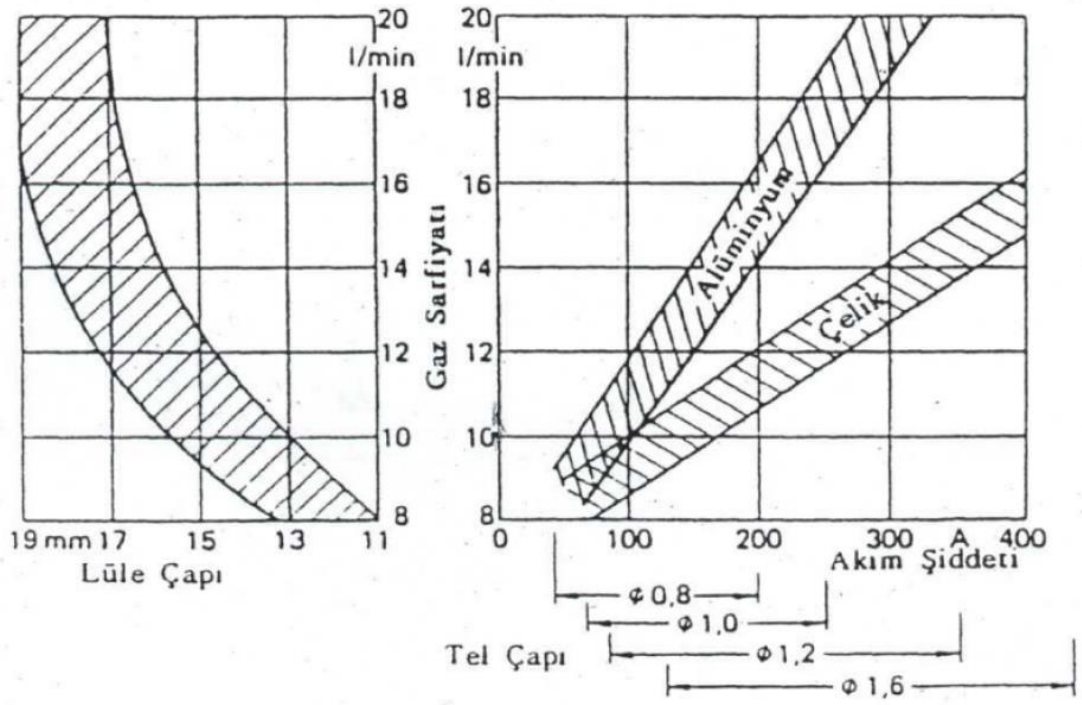
Kaynak teli çapı (mm)	Normal MAG - Kaynağı			Kısa ark boyu ile yapılan kaynak		
	Akım Şiddeti (Amper)	Ark gerilimi (Volt)	Erime gücü i kg; saat)	Akım şiddeti (Amper)	A/k gerilimi (Volt)	Erime gücü (kg/saat)
0,6	-	-	-	40-80	13-16	0.5-0.9
0,8	140-130	22-25	2.0-2.8	70-120	14-19	0.3-1.6
1,0	180-240	24-26	2.4-3.3	90-130	17-20	1,2-1.9
1,2	220-300	25-29	2.3-4.5	120-150	18-23	1.5-2.2

Şekil 4.11. Kısa Ark ve Uzun Ark ile yapılan MAG kaynağında arkın davranışları. (Ertürk,1987)

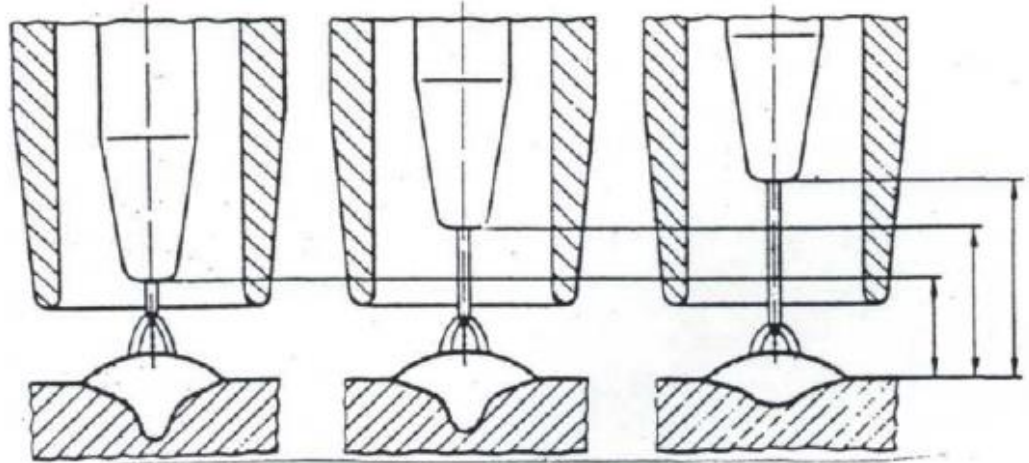


Şekil 4.12. MAG kaynağında kaynak parametreleri ile dikiş formunun değişimi (Ertürk,1987)

Ark şeklinin oluşumunda her ne kadar akım şiddeti ve gerilim büyük rol oynasa da bunlara ek olarak koruyucu gazın cinsi, serbest tel mesafesi ve elektrot malzemesi gibi etkenlere de bağlıdır (Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19). (Ertürk,1987)



Şekil 4.13. MIG - MAG kaynağında gaz sarfiyatı tel çapı, lüle çapı ve akım şiddeti arasındaki bağıntı (Ertürk,1987)

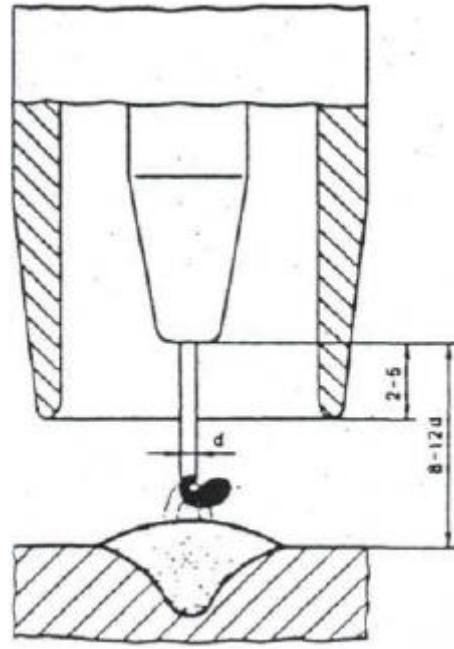


yükselir
artar
artar
az
artar

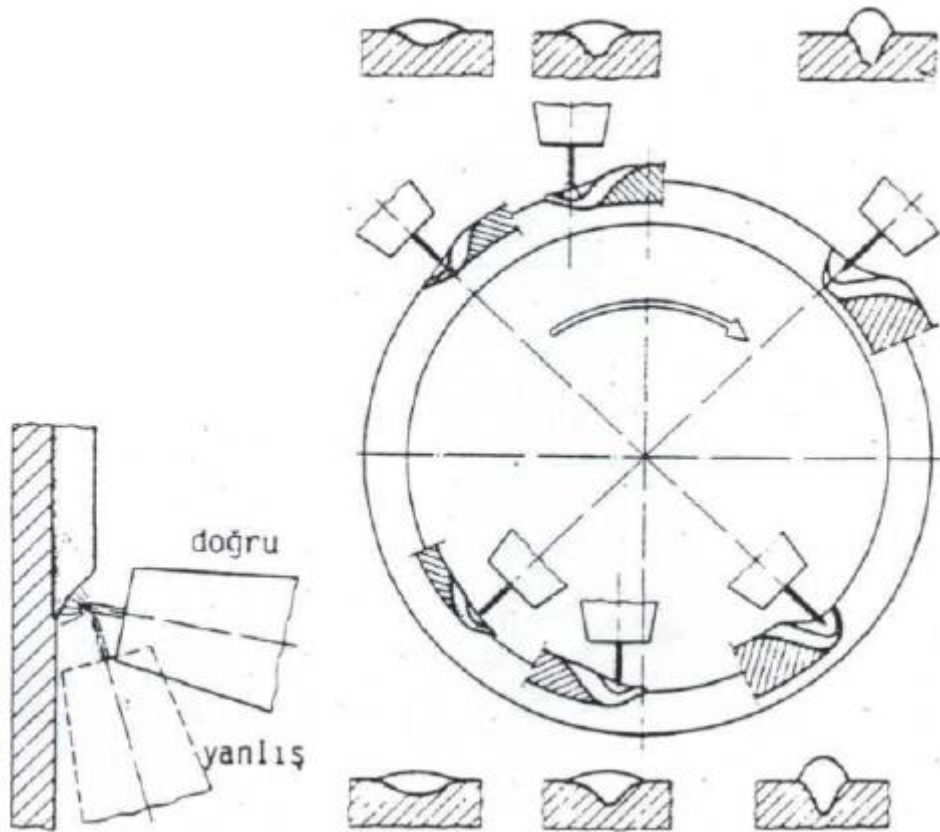
Akım şiddeti
Ark gerilimi
Nüfuziyet
sıçrama
kontak borusu
ısınması

Azalıır
Yükselir
Azalıır
Fazla
Azalıır

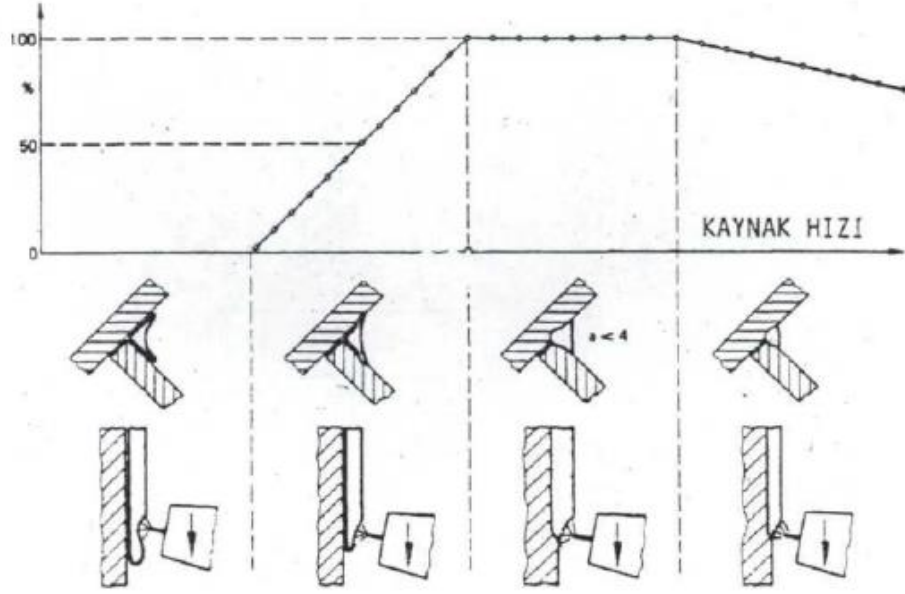
Şekil 4.14. Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi (şematik) (Ertürk,1987)



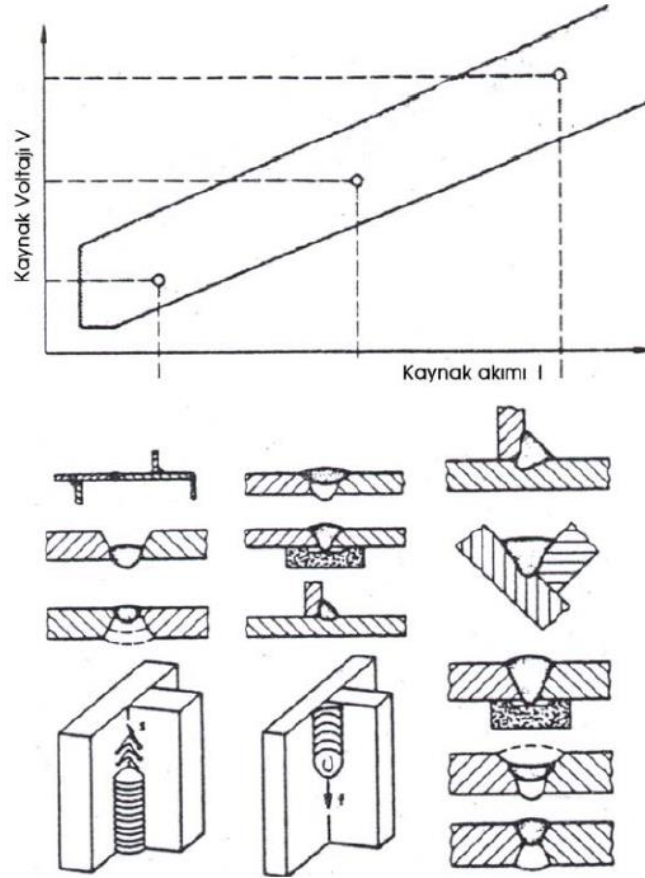
Şekil 4.15. Serbest tel uzunluğunun uygun değerleri (Ertürk,1987)



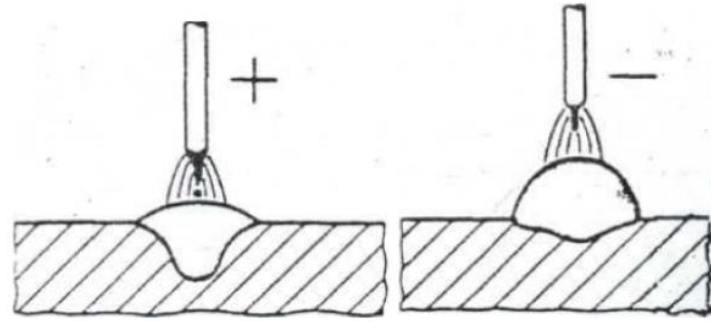
Şekil 4.16. Kaynak pozisyonuna göre dikiş formunun değişimi (Ertürk,1987)



Şekil 4.17. Yukarıdan aşağıya dik kaynak halinde, nüfuziyetin kaynak hızı ile değişimi (Ertürk,1987)



Şekil 4.18. Kaynak pozisyonuna göre kaynak parametrelerinin seçimi (Ertürk,1987)



azalır
artar
alçalır
azalır
oluşur

Erime gücü
nüfuziyet
Dikişli tırtılı
Sıçrama
Alüminyum
kaynağında oksit
temizleme

büyür
azalır
yükselir
fazlalaşır
oluşmaz

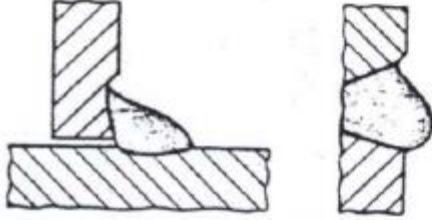
Şekil 4.19. Kutuplamamın dikiş formuna etkisi (Ertürk,1987)

Günümüzde MIG kaynak yönteminin kullanımında en sık tercih edilen alanlar alüminyum, bakır ve alaşımları ile paslanmaz çeliklerin birleştirilmesidir. MAG kaynak yöntemi ise az alaşımlı çeliklerin birleştirilmesinde tercih edilmektedir. MIG/MAG gazaltı kaynak uygulamalarında kaynak personelinin hatalı davranışları ya da yanlış parametrelerin seçilmesi gibi yanlış uygulamalara dayanan kaynak hataları meydana gelmektedir. En sık karşılaşılan kaynak hataları ve bu hataların giderilmesi için yapılması gerekenler Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de detaylı olarak verilmiştir. Ayrıca tüm elektrik ark kaynak uygulamalarında olduğu gibi MIG/MAG gazaltı kaynak yöntemlerinde de uygulama yapılacak olan parçalar kaynak öncesi hazırlığa ihtiyaç duymaktadır. Bu hazırlıkta en önemli aşama kaynak ağzının hazırlanmasıdır ve Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.29 ‘da bu kaynak ağzı formları gösterilmiştir. (Ertürk,1987)

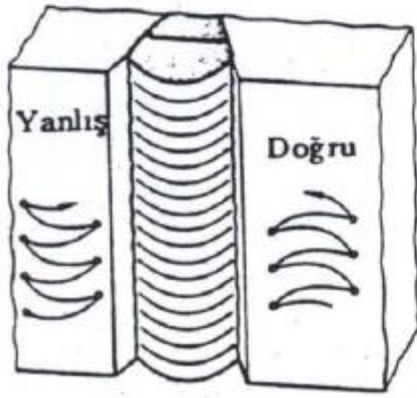


Yanma olukları

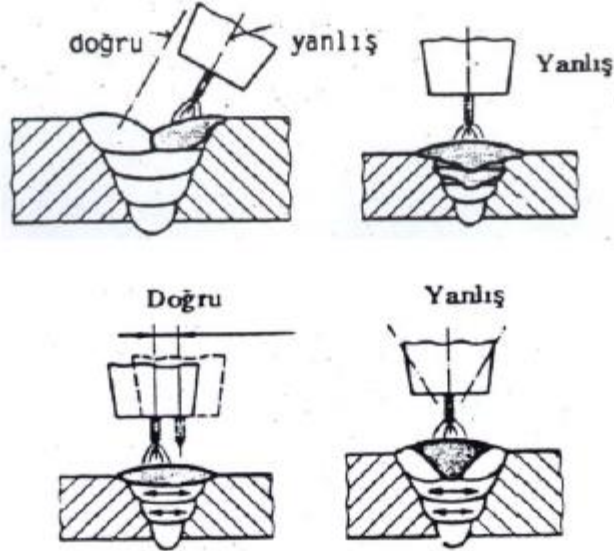
Ark fazla uzun
Kaynak hızı çok yüksek
Havlaç salınım yapmamış
Havlaç dik tutulmamış
Havlaç yana eğik tutulmuş
Kuvvetli oksitleyici bir koruyucu gaz kullanılmış



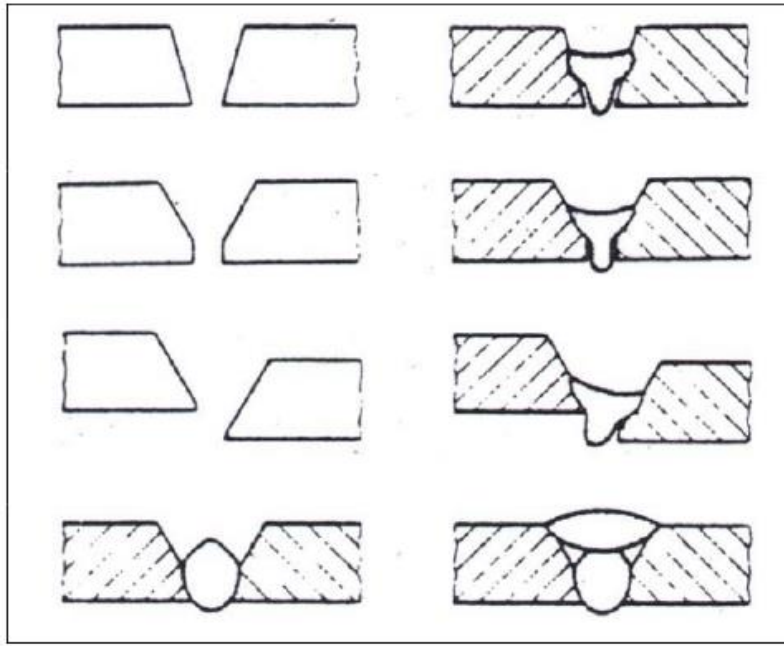
Ark gücü çok fazla
Ark fazla uzun
Tel ilerleme hızı kafi değil
Kaynak hızı çok az
Dikiş fazla kalın
Uygun olmayan kaynak pozisyonu



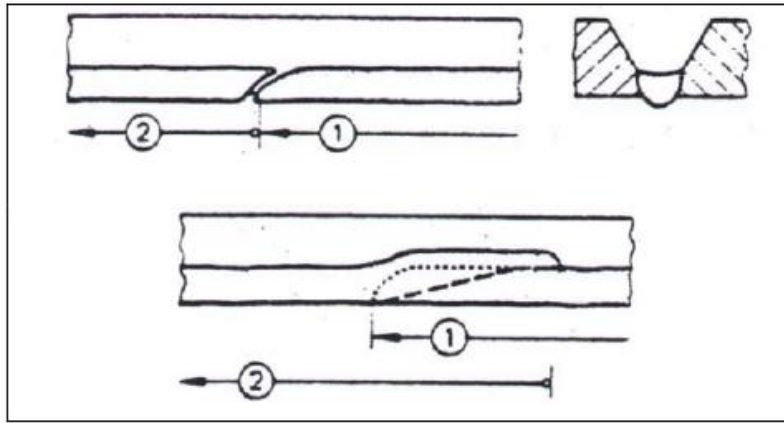
Ark gücü çok fazla
Ark gerilimi çok büyük
Salınım hareketi az
Dikiş kenarında durma az
Havlaç hareketi yanlış
Kaynak hızı fazla



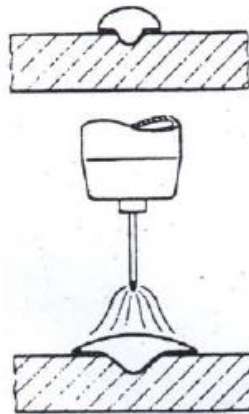
Şekil 4.20. Yanlış kaynak parametrelerinin seçilmesi veya hatalı havlaç hareketinin sebep olduğu kaynak hataları (Ertürk,1987)



Yanlış hazırlanmış
kaynak ağzı

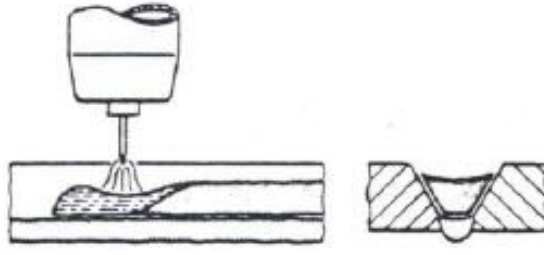


Hatalı bindirme



Kaynak gerilimi az
Akım şiddeti düşük
Kaynak hızı çok
yüksek
Ark boyu fazla uzun

Şekil 4.21. Yanlış kaynak parametrelerinin seçilmesi veya hatalı hamlaç hareketinin sebep olduğu kaynak hataları (Ertürk,1987)



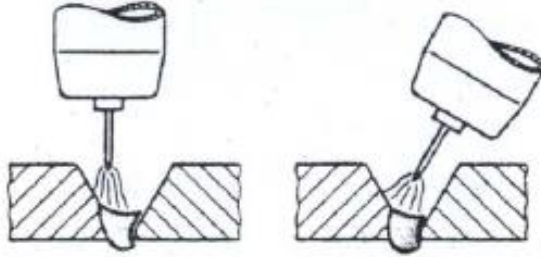
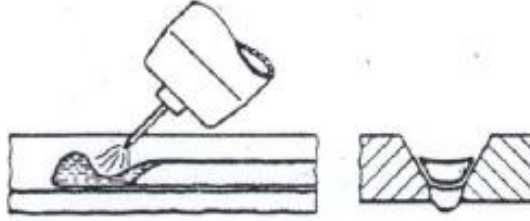
Erime gücü yüksek

Kaynak hızı çok yavaş

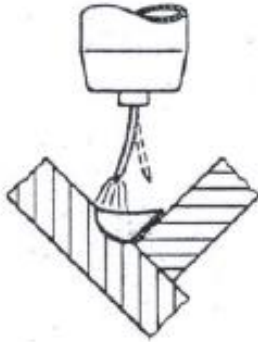
Hamlaç eğimi çok fazla

Parça fazla kalın

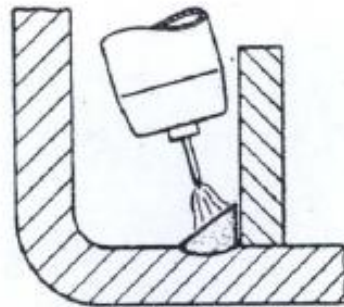
Kaynak ağızı fazla geniş



Hamlaç gereksiz yere yana eğilmiş

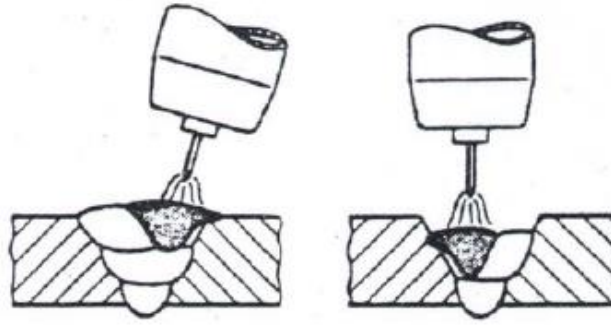


Kaynak telinin uç kısmı eğilmiş

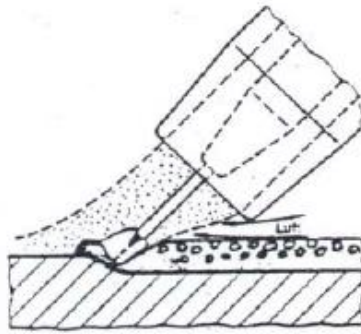


Kaynatılan parçanın konstrüksiyonunun sebep olduğu hata

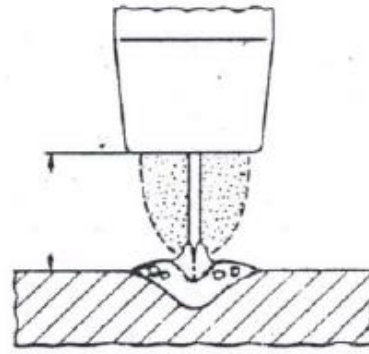
Şekil 4.22. Yanlış kaynak parametrelerinin seçilmesi veya hatalı hamlaç hareketinin sebep olduğu kaynak hataları (Ertürk,1987)



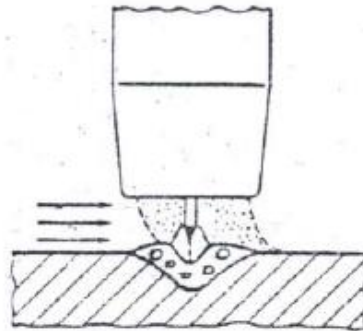
Kaynak pasosunun hatalı çekilmesi



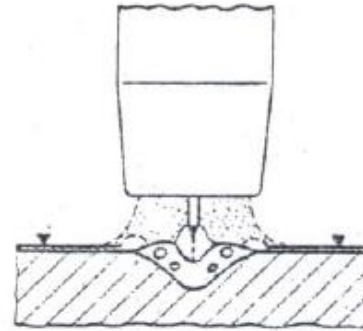
Hamlacın fazla eğik tutulmasının neden olduğu gözenekler



Uzun serbest el boyunun neden olduğu gözenekler

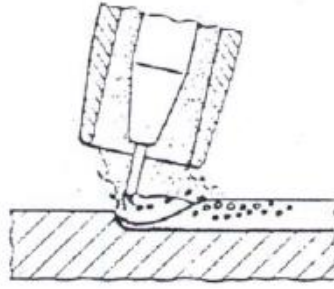


Hava akımının neden olduğu gözenekler

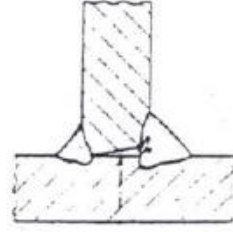


Parça yüzeyindeki kir ve yağın neden olduğu gözenekler

Şekil 4.23. Yanlış kaynak parametrelerinin seçilmesi veya hatalı hamlaç hareketinin sebep olduğu gözenekler ve nedenleri (Ertürk,1987)



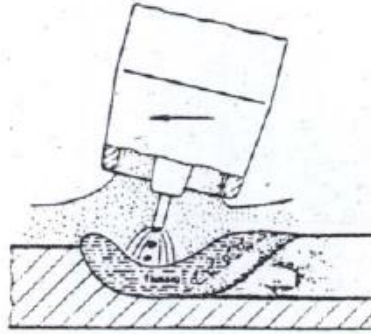
Ark üfleminin neden olduğu gözenekler



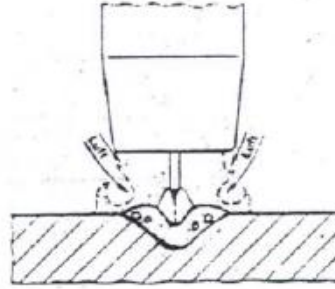
İç kısımda hapsolmuş gazın neden olduğu gözenekler



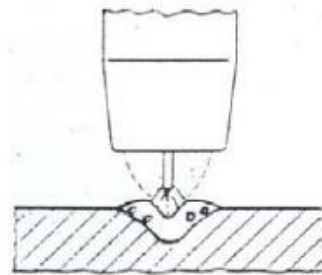
Hatalı paso şeklinin neden olduğu gözenekler



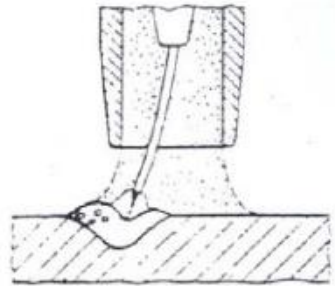
Kaynak banyosunda gözenek oluşumu



Koruyucu gaz debisi fazla

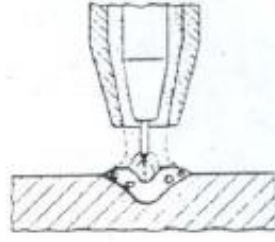


Koruyucu debisi az

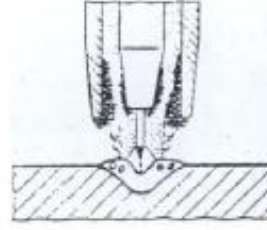


Serbest tel uzunluğu fazla

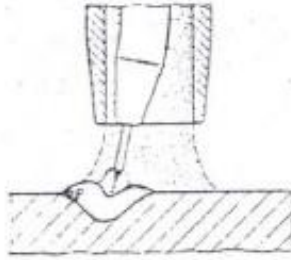
Şekil 4.24. Yanlış kaynak parametrelerinin seçilmesi veya hatalı hımlaç hareketinin sebep olduğu gözenekler ve nedenleri (Ertürk,1987)



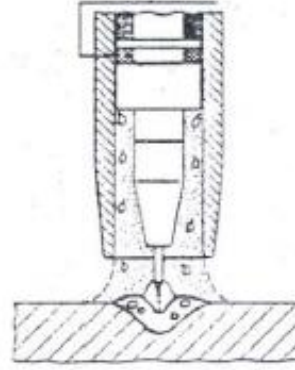
Gaz lülesi ufak



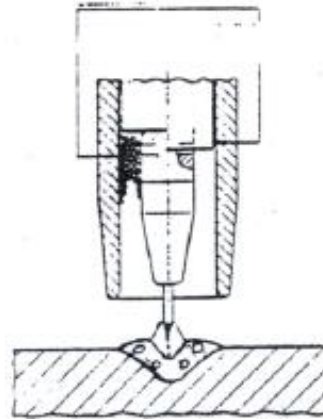
Gaz lülesi tıkanmış



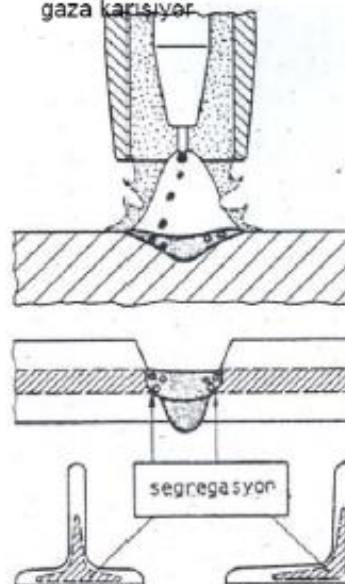
Kontak memesi eğrilmiş



Soğutma suyu koruyucu gaza karışıyor



Lüle, kısmen tıkanmış veya izolasyon ringi hatalı monte edilmiş



Segregasyon bölgelerinin neden olduğu gözenekler

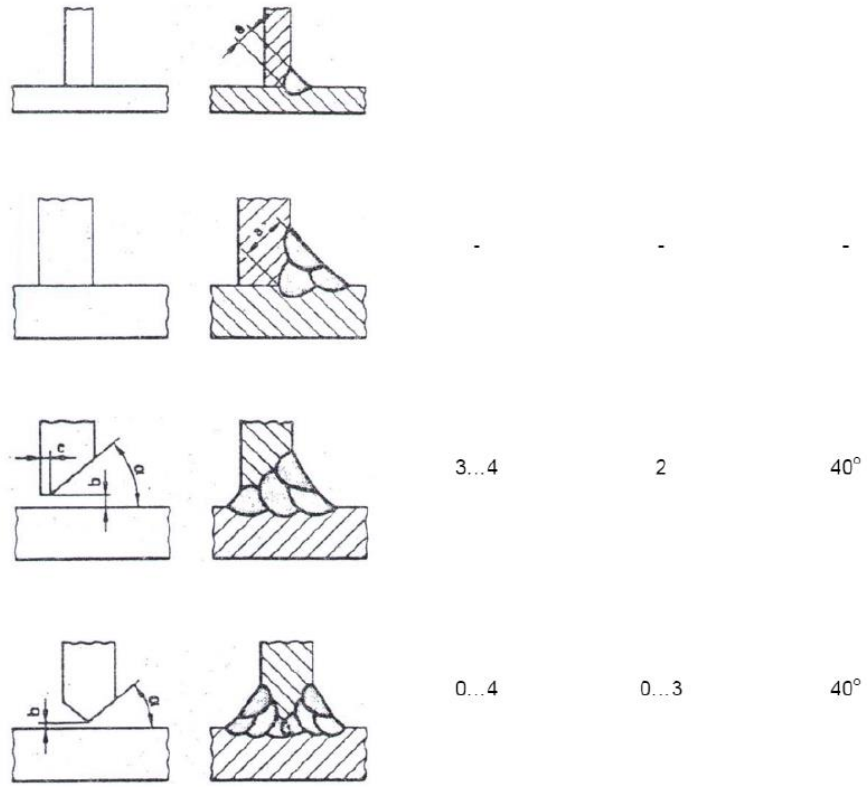
Şekil 4.25. Yanlış kaynak parametrelerinin seçilmesi veya hatalı hamlaç hareketinin sebep olduğu gözenekler ve nedenleri (Ertürk,1987)

S mm			b mm	c mm	a
1...4			0...0,25 s	-	-
5...10			<1,0	-	-
5...12			<1,0	2,5	90°
5...20			<1,0	2,5	60°
>10			<1,0	2,5	90°
>10			<1,0	3	60°
>6			5...10	2	40°
>18			5...7	5	70°
>30			-	-	90°

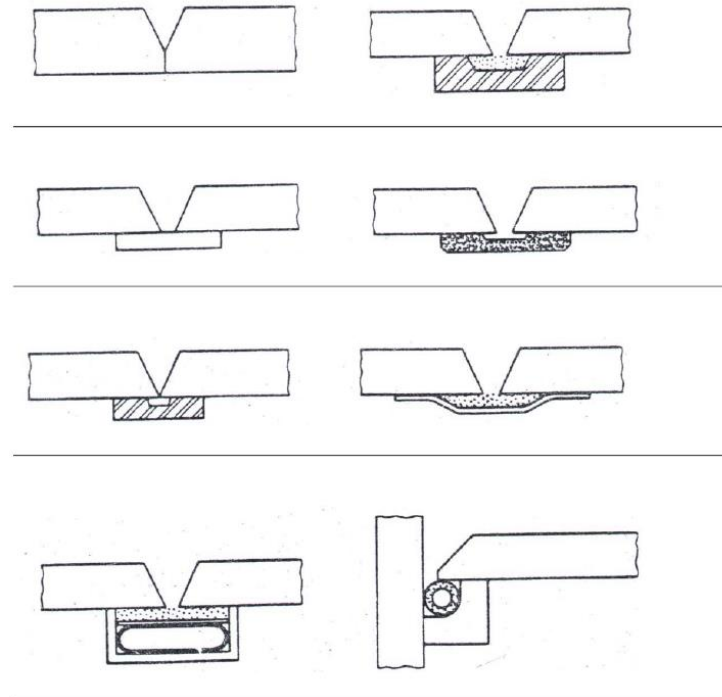
Şekil 4.26. MIG kaynağında kullanılan kaynak ağız şekilleri (Alüminyum için). (Ertürk,1987)

S mm		b mm	c mm	a
<2		-	-	-
<2		-	-	-
<2		2,5 s	-	-
<1,5		-	-	-
<4		0,5 s...1 s	-	-
<10		0...0,5 s	-	-
>4		2,5...4	1	<50°
>8		-	2...4	<50°
>5		>6	-	<50°
>10		0...4	2...4	<50°
>10		-	-	<50°

Şekil 4.27. MAG kaynağında kullanılan ağız şekilleri. (Ertürk,1987)



Şekil 4.28. MAG kaynağında kullanılan ağız şekilleri. (Ertürk,1987)



Şekil 4.29. MAG kaynağı için tavsiye edilen altlıklar (Ertürk,1987)

4.2.3. MIG-MAG Kaynak yönteminin üstünlükleri

Günümüz endüstrisinde en fazla kullanılan tam ya da yarı otomatik olan MIG/MAG ve örtülü elektrot kaynak yöntemleridir. Ancak MIG/MAG kaynağının bir üretim yöntemi olarak kullanılması durumunda örtülü elektrot kaynağına kıyaslandığında şu hususlar çıkmaktadır: (Ertürk,1987)

Kaynak dikişinin ağırlığı;

Tüm elektrik ark kaynak yöntemlerinde, kaynak dikişinin ağırlığı eriyen metal miktarı ile doğrudan bağlantılı olduğu için enerji sarfiyatının bir göstergesidir. Ayrıca kaynak metalinin oluşmasında kullanılan elektrot miktarında kaynak maliyetine etki eden en önemli faktördür. MAG gazaltı kaynak yöntemlerinde tercih edilen kaynak teli, örtülü elektrot ile kıyaslandığında daha ince olması daha dar kaynak ağızlı uygulamalarda çalışma imkânı sunmaktadır. Örtülü elektrot kaynağında kaynak ağız açısını 60° olarak tuttuğumuzda bu açıya uygun elektrot çapı ve kök aralığı aynı parçayı MAG ile yapmamız durumunda kök aralığı ve kaynak açısı dahada küçülmektedir. MAG kaynağında ağız açısı ortalama 45° iken kaynak yapılacak parçaya göre bu değer maksimum 50° minimum 30° olarakta uygulama yapılabilir. Ayrıca MAG kaynaklarında kök aralıkları ortalama 1 mm. civarında alınabilmektedir. Bu veriler göz önüne alındığında kaynak işlemi sırasında eriyen bölge ufalmakta ve nihayetinde de kullanılacak ilave metalden ciddi ölçüde bir tasarruf yapılabilmektedir. Eğer örtülü elektrot kaynak uygulamasında MAG kaynak yönteminde ki gibi 60° 'den daha küçük kaynak ağız açıları kullanılması durumunda dikişin kaynak dikişinin kök kısımlarında cüruf oluşması kaçınılmazdır. (Ertürk,1987)

Elektrik enerjisi tüketimi;

MIG-MAG kaynak uygulamalarında örtülü elektrot kaynak uygulamalarına kıyasla daha küçük hacimli kaynak dikişlerine ulaşılmaktadır. Buda daha az elektrot kullanımı ve buna bağlı olarakta daha az eriyen metal kullanımı dolayısı ile daha az enerji gereksinimi demektir. Buna ek olarak aynı akım şiddetinde, aynı süre zarfında örtülü elektrotun erimesi için enerji ile MAG yönteminde daha fazla kaynak teli erimektedir. MIG-MAG

kaynak yönteminde, örtülü elektrot kaynağındaki gibi kaynak işlemi esnasında elektrot değiştirme kaynak işlemi sonrası ya da pasolar arasında cüruf temizleme gibi zaman alıcı etkenler olmaması sebebiyle kaynak sürekli olmakta dolayısı ile makine boşta çalışmayarak buna bağlı elektrik enerji kayıpları ortadan kalmaktadır. (Ertürk,1987)

Elektrot kaybı;

Örtülü elektrot ile yapılan uygulamalarda kaynak pensinin ucunda kalan elektrotun uç kısmının (koçanın) kullanılmadan atılması ve kaynak işlemi sırasında sıçrama kayıpları sebebiyle %20'ye ulaşan kayıplar ile karşılaşılır. MAG veya MIG kaynak yönteminde kaynak teli sürekli olduğu için kullanılmayan koçan kaybı yoktur, ancak kaynak sıçramalarında ortaya çıkan %3-5 civarında bir kayıp oluşur. Bu yüzdelik dilim örtülü elektroda göre ciddi ölçüde ekonomiklik kazandırmaktadır. (Ertürk,1987)

Cüruf temizleme;

MIG-MAG kaynak yönteminde, kaynak bölgesi gaz tabakası tarafından korunmaktadır. Bu sebepten örtülü elektrottaki gibi kaynak dikişi üzerinde cüruf oluşumu söz konusu değildir. Örtülü elektrot kaynaklarında kaynak üstüne paso atma durumu söz konusu olduğunda bu cürufların temizlenmesi ve ondan sonra kaynak işlemine devam edilmesi gerekirken MAG kaynak yöntemi uygulamalarında dezoksidasyon ve oksidasyon sonucu dikiş üzerinde ince bir tabaka halinde SiO_2 , MnO , FeO , CuO gibi oksitlerden oluşan bir cüruf ile meydana gelse, bu cüruf için herhangi bir temizleme gereksinimi olmaz ve kaynak paso kaynak uygulaması yapılabilir. Örtülü elektrot kaynaklarında cüruf temizlemesi büyük bir zaman kaybına sebebiyet verdiği gibi, işçilik olarak da çok zahmetlidir. Bu zahmetli olmasının en başlıca sebebi bu işlem çok dikkat gerektirir. Özellikle kök pasolarda ve yanma oluklarında meydana gelen cürufları temizlemek çok zordur. Bu cürufun uygun şekilde temizlenmemesi durumunda cüruf kaynak dikişi içinde kalacak buda kaynak mukavemetini ciddi oradan zayıflatacaktır. Bu şekilde dikiş içinde kalmış cüruflardan kaynaklı kaynak hataları ve bu hatalara bağlı diğer işlemlerin olmaması MAG kaynak yönteminin en önemli üstünlüklerinden biridir. (Ertürk,1987)

Uygulama kolaylığı;

Örtülü elektrot kaynak yönteminde kaynak personeli ark boyunun mesafesini tamamen kendi kontrol etmektedir. Ayrıca kaynak işlemi esnasında kaynak bölgesinin üstü cüruf tabakası ile örtülürken bu aşamayı sürekli izlemesi gerekmektedir. Bu uygulama esnasında eğer cüruf kaynak yapılacak olan bölgeye geçmesi durumunda kaynak hatalarına sebebiyet verecektir. Bütün bu sorunların önüne geçebilmek için bu yöntemi uygulayacak personelin nitelikli olması gereksinimi oluşturmaktadır ve bu da sektörde oldukça pahalıya mal olmaktadır. MIG-MAG kaynak yönteminde ise ark boyu kaynak personeli tarafından ayarlandıktan sonra makina tarafından sabit tutulmaktadır. Ayrıca kaynak dikişi üzerinde oluşan cüruf gibi bir sorunu da olmadığından, kaynak personeli bulunması zor olmamakla birlikte yeni personellerin yetiştirilmesi çok daha kısa zamanda gerçekleşmekte ve ucuza mal olmaktadır. (Ertürk,1987)

Örtülü elektrot kaynağında kaynak bölgesi kullanılan elektrotun türüne bağlı olarak kısmen veya tamamen cüruf ile örtülüdür ve bu sebepten kaynak işlemi sırasında kaynak personeli yaptığı ya da oluşan hatayı göremez. Bunu anlayabilmesi için cürufu temizlemesi dolayısı ile kaynak işlemini bitirmesi gerekmektedir. Buda geriye dönük ciddi vakit ve iş gücü kayıplarına sebebiyet vermektedir. Buna karşın MIG-MAG kaynak yönteminde oluşan hata anında kaynak personeli tarafından fark edilir ve geriye dönük işlem yapılmaz. (Ertürk,1987)

MIG-MAG gaz altı kaynak yönteminde akım üreteçleri (40-200A.) kullanılarak örtülü elektrot kaynak yönteminin uygulamasına imkân vermeyen 0,6 – 1 mm gibi ince saclar da rahatlıkla kaynatılabilmektedir. Buna ek olarak ark oluşumu ve tutuşturulması örtülü elektroda kıyasla çok daha kolay olduğundan, noktalama kaynak uygulamalarında kullanılan punta kaynak işlemleri çok daha rahat ve sıhhatli bir şekilde yapılabilmektedir. (Ertürk,1987)

Örtülü elektrot kaynağında kaynak makinasının tipi bakımında her pozisyona uygun gibi gözüküyor olsa da kullanılan elektrot tipi tüm kaynak pozisyonlarına imkân vermemektedir. MAG kaynak yönteminde ise her pozisyonda kaynak yapma imkânı bulunmaktadır. MIG-MAG kaynak yönteminde kalın parçalar örtülü elektrot kaynak yöntemine kıyasla daha az sayıda paso ile kaynatılabildiklerinden, kaynak bölgelerinde meydana gelen distorsiyonlar azalmakta ve dolayısı ile de kaynak işlemi sonra ihtiyaç

duyulan tavlama ile doğrultma işlemleri için sarf edilen zaman ve işçilik azalmaktadır. (Ertürk,1987)

MIG-MAG kaynak yöntemin en belirgin üstünlüklerinden bir tanesi de seri üretimlerde kullanılan otomasyonlarda çok rahat kullanılabilir olmasıdır. Endüstriyel alanında özellikle otomotiv sektöründe çok yaygın kullanılan robotik kollar ile bu yöntem aktif olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda geliştirilen özel hatlar ile birlikte de düz formlarda ezici üstünlüğü bulunan tozaltı kaynak uygulama alanlarında da kendini göstermektedir. Bu robotik uygulamalar önceleri sadece punta kaynakta kullanılmakta iken son zamanlarda çelik konstrüksiyonlarda spesifik kaynaklı parçalarda da kullanılmaya başlanmıştır. (Ertürk,1987)

Örtülü elektrot kaynak uygulamalarında kaynak işlemi sırasında meydana gelen gazlar gazaltı kaynak yöntemlerinde oluşmamaktadır. Bu sebepten bu gazlardan korunmak için kullanılan koruyucu tedbirlere ihtiyaç duyulmaz. (Ertürk,1987)

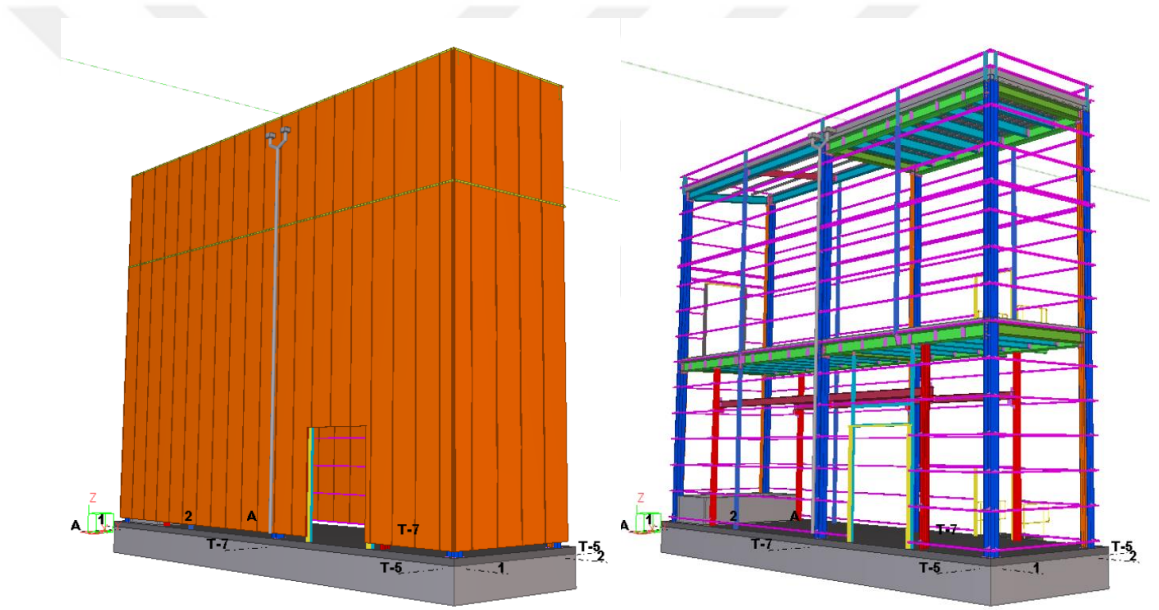
MIG-MAG kaynak yönteminin örtülü elektrot kaynağına göre en önemli dezavantajlarından biri ilk yatırım maliyetidir. Gazaltı kaynak makinaları örtülü elektrot makinelerine kıyasla daha büyük ve daha karmaşık bir düzeneğe sahiptirler. Bu sebeple ilk yatırım maliyeti olarak örtülü elektrot kaynağına göre dezavantajlıdır. Ancak kaynak uygulama esnasında sarf edilen zaman, işçilik ve tamir gerektiren parçalar gibi diğer göz ardı edilen maliyetler göz önüne alındığında kısa sürede maliyeti yüksek gözüke de uzun sürede maliyeti örtülü elektrot kaynak yöntemine göre çok daha avantajlıdır. (Ertürk,1987)

Tüm bunlar bir araya getirildiğinde MIG/MAG gazaltı kaynak yönteminin örtülü elektrot kaynak yöntemine kıyasla çok üstün olduğunu görmekteyiz. Bu sebeptendir ki günümüzde sanayi alanında bilhassa yumuşak çeliklerin kaynağında, geniş çapta uygulama bulmaktadır. (Ertürk,1987)

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Tez Konusu İçin Seçilen Çelik Yapı Projesi

Bu konu için örnek olarak Orman Endüstri sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin MDF Tutkal Mutfak binasının çelik konstrüksiyonunu ele alacağız (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Örnek çelik yapı projesi

Yapının teknik özellikleri şu şekildedir;

- Alan : 780 m²
- Kullanılan çelik tonajı : 44.025 Kg
- Kullanım amacı : Orman endüstri – tutkal hazırlama
- Konum : Türkiye / Karadeniz bölgesi

5.1.1. Projenin tasarımı

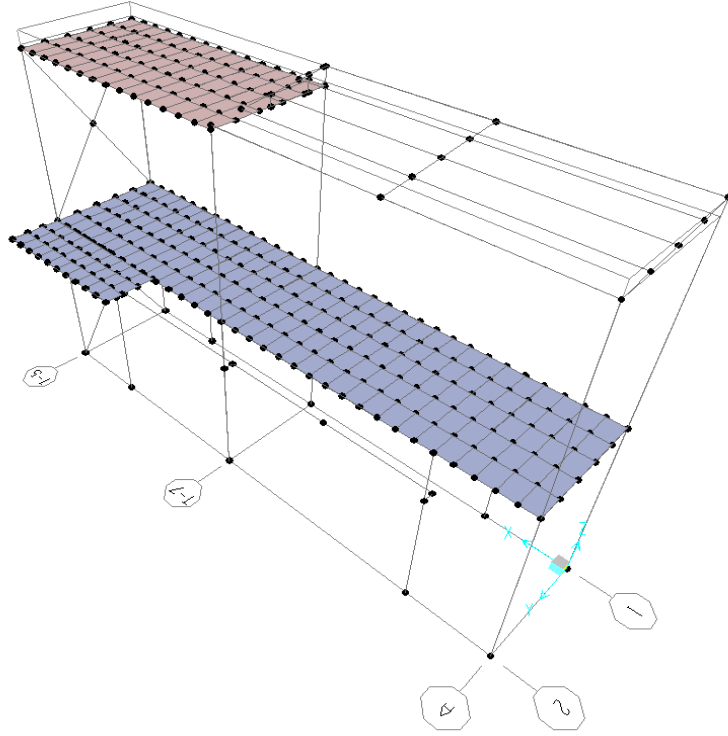
İyi bir tasarım, tasarlanmış çizimin uygulanabilirlik derecesi ile doğru orantılıdır. Bu açıdan bakıldığında projenin en hızlı ve en düşük maliyetle tamamlanmasında ilk adım tasarım süreci olacaktır. Tasarım sürecini Mimari ve Statik olmak üzere iki grup altında inceleyeceğiz.

5.1.1.1. Mimari tasarım

Mimari tasarım her proje için tasarım sürecinin ilk etabını oluşturmaktadır. Bu adımda proje ile alakalı istenilen kullanım amacı ve görsel veriler toplanarak bu veriler doğrultusunda projenin ilk hatları ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak incelediğimiz bu proje endüstriyel kullanım amacı ile tasarlanmış olup 2 kattan oluşmaktadır. Binanın kullanım amacı alt katta tutkal karışımı hazırlamak için gerekli sistemler üst katında ise bu sistemlerin elektrik panoları bulunacaktır. Dış görsellik olarak ise düz formda olacaktır ve panel kaplama kullanılacaktır.

5.1.1.2. Statik hesaplama SAP2000

Tasarımın bu aşamasında mimari tasarımdan çıkan form dikkate alınarak binanın kendi yükü, maruz kalacağı kar yükü ve işletme yükleri de hesaplanarak bina iskeleti ve bu iskelet için en uygun profil cinsleri bulunup ona göre tasarıma devam edilmiştir. Profil cinslerinin belirlenmesinde SAP2000 olarak adlandırılan statik hesaplama programı kullanılmıştır. SAP2000, inşaat sektöründe kullanılan yapı sistemlerinin tasarım ve analizlerinde kullanılan mühendislik programlarından biridir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Statik hesaplamalar yapılan SAP2000 programından bir kesit (Setap, 2018)

Profil cinsleri ve bağlantı tipleri belirlendikten sonra model tamamlanır ve imalat paftalarının hazırlanmasına geçilir. Statik hesaplamalar neticesinde belirlenen malzeme cinsleri ve kaliteleri tablo 5.1'deki gibidir.

Tablo 5.1. Örnek projede kullanılan malzeme cinsleri ve kaliteleri

Malzeme Cinsi	Kalite	Malzeme Cinsi	Kalite
HEB 360	S275JR	RHS 120*5	S235JR
HEB 300	S275JR	RHS 120*60*3	S235JR
HEA 300	S275JR	RHS 100*5	S235JR
HEA 200	S275JR	L 50*5	S275JR
IPE 400	S275JR	CHS 42.4X3.0	S235JR
IPE 300	S275JR	5/6 BAK. DİLİMİ	S235JR
IPE 240	S275JR	PL5*1500*6000	S235JR
IPE 120	S275JR	PL10*1500*6000	S235JR
UNP 160	S235JR	PL15*1500*6000	S235JR
UNP 120	S235JR	PL20*1500*6000	S235JR
UNP 100	S235JR	PL30*1500*6000	S235JR

5.1.2. Projenin imalatı ve projede kullanılan kaynak yöntemleri

Tasarım sürecinin sonuçlanması ile ortaya çıkan proje artık imalata yönelik irdelenmeye hazırdır. Bu aşamada tablo 5.1'deki malzemelerin işlenmesi ile 440 farklı yeni ürün çıkmıştır ve her bir ürüne sahada montaj kolaylığı için ayrı ayrı poz numarası verilmiştir. Her bir poz montaj paftalarında ayrı ayrı belirtilerek sahaya o şekilde sevk edilecektir. Parça poz isimleri, kullanılan malzeme tipi ve görevleri için birkaç örnek şu şekildedir (Tablo 5.2);

Tablo 5.2. Uygulama projesinde kullanılan malzemelerin poz isimleri ve kullanım görevleri

Sıra	Poz No	Adet	Görevi	Malzeme Cinsi
1	MAS	5	ASIK	UNP100
2	MDC	6	D.CAPRAZ	CHS114.3X5.0
3	MDK	8	DIKME	RHS100*5
4	MDR	1	DERE	PL3*750
5	MKK	2	KREYN YOLU	HEA240
6	MKL	4	KOLON	HEA200
7	MKL	6	KOLON	HEA300
8	MKO	3	KORKULUK	CHS42.4X3.0
9	MKP	6	KAPI	RHS120*5
10	MKR	23	KIRIS	IPE300
11	MKR	1	KIRIS	IPE240
12	MKR	6	KIRIS	HEB360
13	MKR	10	KIRIS	HEB300
14	MKU	168	KUSAK	UNP120
15	MKY	5	KAYIT	RHS100*5
16	MPT	5	PLATFORM	PL5*1130

Bu projenin imalatında Gazaltı Kaynak sistemlerinden MAG kaynak yöntemi kullanılmıştır.

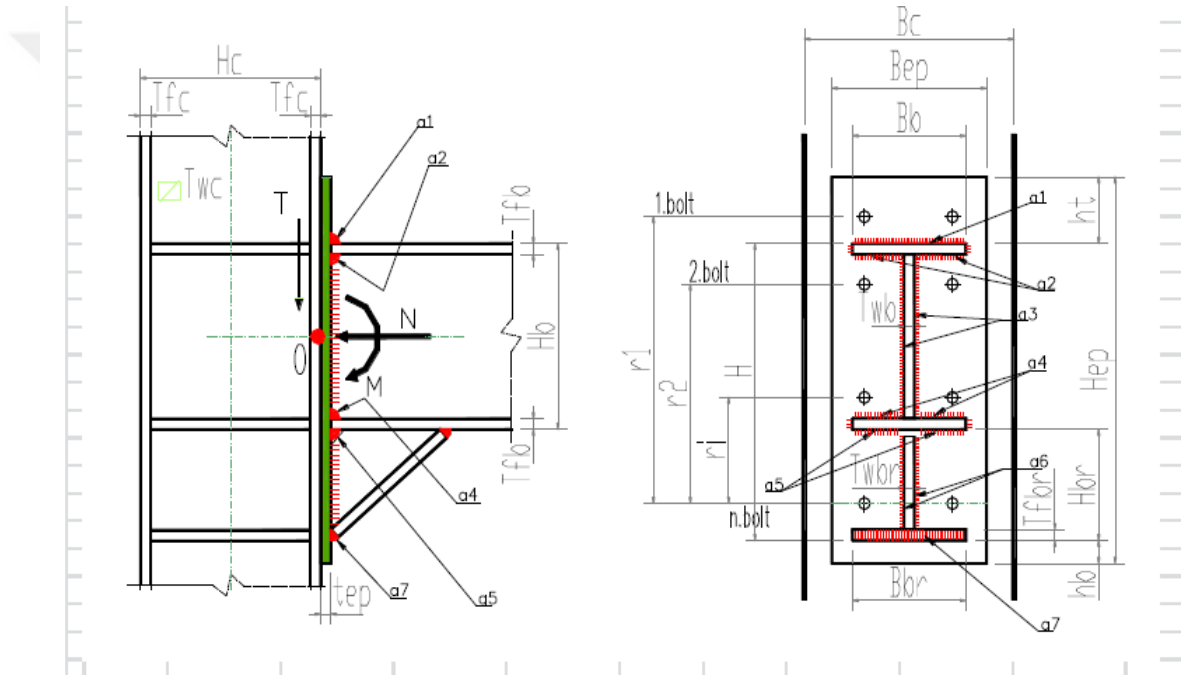
5.1.3. Birleşim noktalarının incelenmesi

Yapılan statik hesaplarda her bir bağlantı tipleri ayrı ayrı belirtilerek detaylandırılır. Bu detaylar dikkate alınarak tasarım tamamlanır. Tablo 5.3'te örnek projede kullanılan bağlantı tip detayları verilmiştir. Bu bağlantı tiplerini üç ana grupta inceleyebiliriz;

- Cıvatalı birleşim
- Perçinli birleşim
- Kaynaklı birleşim

Tablo 5.3. Örnek projede kullanılan bağlantı tip detayları (Setap, 2018)

No	Kaynak tipi	Bağlantı tipi	Adet	Açıklama
Tip 1	Alın kaynağı	Kaynaklı		Profil ek yerlerinde kullanılmıştır.
Tip 2	Köşe kaynağı	Cıvatalı	10	Kolon taban plakalarında kullanılmıştır.
Tip 3	Köşe kaynağı	Cıvatalı	34	Kolon – Kiriş bağlantılarında kullanılmıştır.
Tip 4	Köşe kaynağı	Cıvatalı	21	Kiriş – Kiriş bağlantılarında kullanılmıştır.
Tip 5	Köşe kaynağı	Cıvatalı	4	Kiriş – Kolon bağlantılarında kullanılmıştır.
Tip 6	Köşe kaynağı	Cıvatalı	8	Kolon – Çapraz bağlantılarında kullanılmıştır.



Şekil 5.3. Statik hesaplamada bağlantı detay gösterim örneği (Setap, 2018)

5.1.3.1. Cıvatalı ve perçinli birleşim noktaları

Çelik konstrüksiyon projelerinde sahada en az kaynak işlemi tercih edildiği için parçaların birleştirilmesi için cıvatalı ya da perçinli birleşim kullanılmaktadır. Bu projemizde de cıvatalı birleşim tipi tercih edilmiştir. Tablo 5.3'ten de anlaşıldığı gibi birleşim tiplerinin büyük bir kısmında cıvatalı birleşim kullanılmıştır.

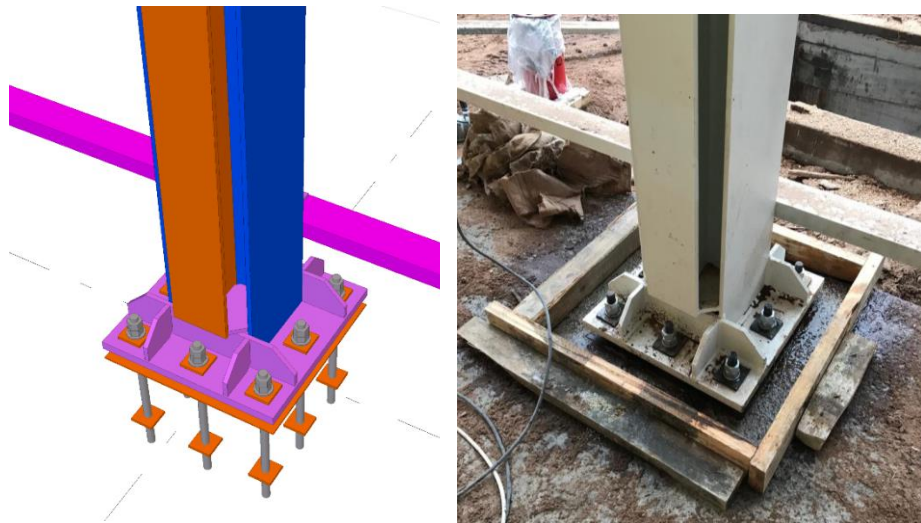
5.1.3.2. Kaynaklı birleşim noktaları

Genel olarak şantiyede kolaylık sağlanması adına cıvatalı birleşim noktaları tercih edilse de bu birleşim noktalarında cıvatalı bağlantı için kullanılan plakanın profil ile birleşiminde kaynaklı bağlantı kullanılmaktadır. Ayrıca projenin gerekliliğine göre profili profile kaynak etmekte gerekmektedir. Bu projede kullanılan kaynaklı bağlantı tiplerini iki grupta inceleyebiliriz;

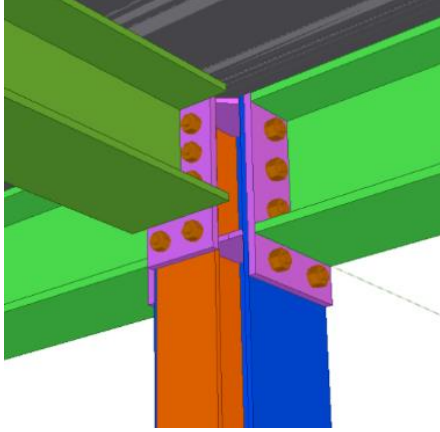
- Alın kaynaklı birleşimler (Şekil 5.4)
- Köşe kaynaklı birleşimler (Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9)



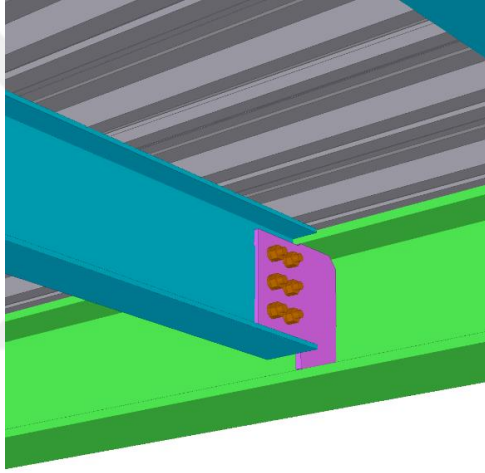
Şekil 5.4. Profil ek yeri (alın bağlantısı – Tip 1)



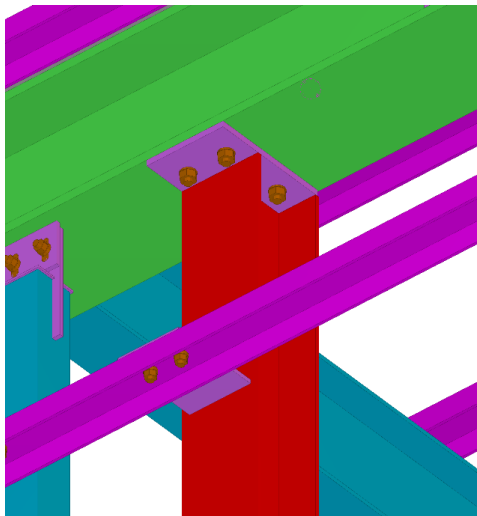
Şekil 5.5. Kolon taban plakası bağlantısı (Tip 2)



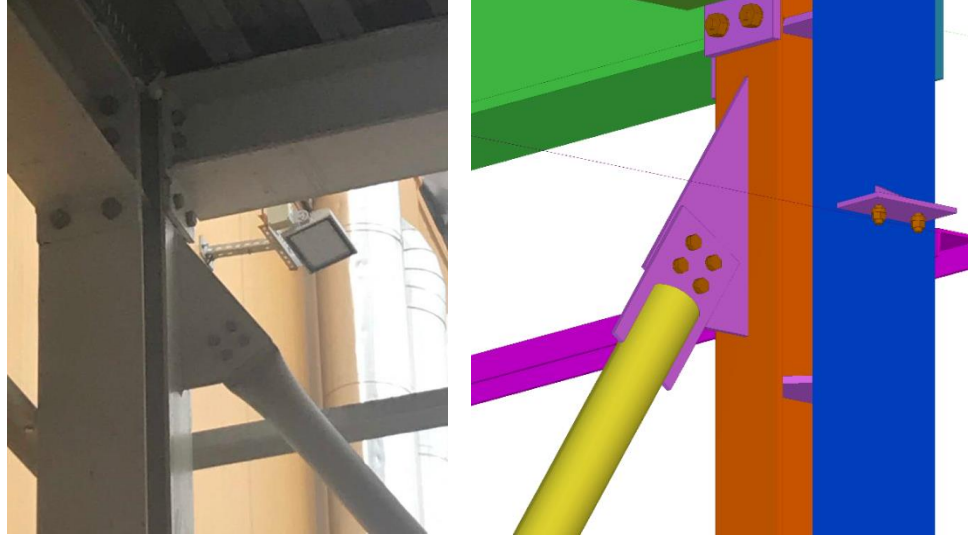
Şekil 5.6. Kolon – Kiriş bağlantısı (Tip3)



Şekil 5.7. Kiriş – Kiriş bağlantısı (Tip4)



Şekil 5.8. Kiriş – Kolon Bağlantısı (Tip5)



Şekil 5.9. Kolon – Çapraz bağlantısı (Tip6)

Kaynak işlemi öncesi belirlenen noktaların kaynakları, imalatı üstlenen işletmece hazırlanan “Kaynak Uygulama Talimatı (WPS) kullanılarak yapılmıştır (Şekil 5.10).

KAYNAK DETAYLARI / Welding Details / Détails de soudage

Kaynak Ağzı / Joint Design / Conception du joint	Pasoların Yerleşimi / Welding Sequences / séquences de soudage																																																																																										
<p> $t_1 = 20-30 \text{ mm}$ $t_2 = 15-50 \text{ mm}$ $b = 2-4 \text{ mm}$ $c = 1-2 \text{ mm}$ </p>																																																																																											
PARAMETRELER / Parameters / Paramètres																																																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Paso/Passes / / Passes</th> <th>Proses/ Process / Processus</th> <th>Dolgu Tipi /Filler Material/ Filler Matériau</th> <th>Amper(A) / Ampere / Ampère</th> <th>Voltaj (V) / Voltage / Voltage</th> <th>DC/AC</th> <th>Tel Hızı / Wire Speed / Vitesse du Fil</th> <th>Kaynak Hızı / Welding Speed / Vitesse de soudage</th> <th>Isı Girdisi / Joule / Joule</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 (Root)</td> <td>135</td> <td>ø 1.2 mm</td> <td>190-200</td> <td>22-24</td> <td>DC (+)</td> <td>6</td> <td>Manual</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>2 (Fill)</td> <td>135</td> <td>ø 1.2 mm</td> <td>240-250</td> <td>26-28</td> <td>DC (+)</td> <td>8</td> <td>Manual</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>3-4-5-6 (Fill)</td> <td>135</td> <td>ø 1.2 mm</td> <td>255-260</td> <td>30-31</td> <td>DC (+)</td> <td>8</td> <td>Manual</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>7-8-9 (Cap)</td> <td>135</td> <td>ø 1.2 mm</td> <td>255-260</td> <td>28-30</td> <td>DC (+)</td> <td>8</td> <td>Manual</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>10-11-12 (Cap)</td> <td>135</td> <td>ø 1.2 mm</td> <td>255-260</td> <td>28-30</td> <td>DC (+)</td> <td>8</td> <td>Manual</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Paso/Passes / / Passes	Proses/ Process / Processus	Dolgu Tipi /Filler Material/ Filler Matériau	Amper(A) / Ampere / Ampère	Voltaj (V) / Voltage / Voltage	DC/AC	Tel Hızı / Wire Speed / Vitesse du Fil	Kaynak Hızı / Welding Speed / Vitesse de soudage	Isı Girdisi / Joule / Joule	1 (Root)	135	ø 1.2 mm	190-200	22-24	DC (+)	6	Manual	-	2 (Fill)	135	ø 1.2 mm	240-250	26-28	DC (+)	8	Manual	-	3-4-5-6 (Fill)	135	ø 1.2 mm	255-260	30-31	DC (+)	8	Manual	-	7-8-9 (Cap)	135	ø 1.2 mm	255-260	28-30	DC (+)	8	Manual	-	10-11-12 (Cap)	135	ø 1.2 mm	255-260	28-30	DC (+)	8	Manual	-																																					
Paso/Passes / / Passes	Proses/ Process / Processus	Dolgu Tipi /Filler Material/ Filler Matériau	Amper(A) / Ampere / Ampère	Voltaj (V) / Voltage / Voltage	DC/AC	Tel Hızı / Wire Speed / Vitesse du Fil	Kaynak Hızı / Welding Speed / Vitesse de soudage	Isı Girdisi / Joule / Joule																																																																																			
1 (Root)	135	ø 1.2 mm	190-200	22-24	DC (+)	6	Manual	-																																																																																			
2 (Fill)	135	ø 1.2 mm	240-250	26-28	DC (+)	8	Manual	-																																																																																			
3-4-5-6 (Fill)	135	ø 1.2 mm	255-260	30-31	DC (+)	8	Manual	-																																																																																			
7-8-9 (Cap)	135	ø 1.2 mm	255-260	28-30	DC (+)	8	Manual	-																																																																																			
10-11-12 (Cap)	135	ø 1.2 mm	255-260	28-30	DC (+)	8	Manual	-																																																																																			

Şekil 5.10. Örnek WPS (Setap, 2018)

Her proje için ayrı hazırlanan WPS’lerde kaynak yapılacak bölgeler detaylandırılır. Bu detaylandırma yapılırken kaynak yapılacak parçaların kalınlıkları, uygulanacak paso sayıları, kullanılacak tel türü, kaynak makinasının Amper ve Voltaj parametreleri ve

kaynak hızı gibi birçok nokta belirtilir. Kaynak işlemini yapacak olan personel bu talimatlara uyararak kaynak işlemini tamamlar.

Kaynak işlemini tamamlandıktan sonra kaynağın kalitesini kontrol etmek için tahribatlı ve tahribatsız olmak üzere 2 tip kontrol yöntemi bulunmaktadır. Tahribatlı testler (Destructive testing, DT) incelenecek malzemenin yapısına zarar vererek yapılan muayene türüdür. Tahribatsız testler (Non-destructive testing, NDT) inceleme yapılacak olan malzeme ya da parçanın bütünlüğüne zarar vermeden yapılan muayene türüdür. Bu muayenenin geçerliliği ise daha önceden yapılmış olan tahribatlı muayenelerin sonuçlarına dayanmaktadır.

5.2. Projede Kullanılan Muayene Yöntemleri

5.2.1. Tahribatsız testler

Kaynak kontrol yöntemlerinde 5 tip tahribatsız test türü bulunmaktadır ve her bir test için ayrı ayrı yetkinlik belgesi zorunludur.

- VT (Gözle Muayene)
- PT (Penetrant Testi)
- MT (Manyetik Partikül Testi)
- UT (Ultrasonik Testi)
- RT (Radyografik Muayene)

5.2.2. Tahribatlı testler

Kaynak kontrol yöntemlerinde 7 tip tahribatlı test türü bulunmaktadır

- Çekme testi
- Eğme testi
- Çentik darbe testi
- Makro yapı incelemesi
- ITAB ve sertlik
- Mikro yapı incelemesi
- Kıрма testi

Alın kaynakları için projede kullanılan kolonların aynı malzemesinden test numunesi hazırlanmıştır (Tablo 5.4 ve Tablo 5.5). Numune hazırlamaya başlarken ilk önce 200mm uzunluğunda iki parça HEA300 profil kesilmiş ve kaynak işlemi uygulanacak bölgeye X kaynak ağzı açılmıştır. İlk önce 150 amper ile kök kaynağı atılmış daha sonra 250 amper ile 8 paso kaynak atılarak ek kaynağı tamamlanmıştır (Şekil 5.11). Kaynak uygulaması tamamlanan parçanın gövde ve flanşından istenilen test numuneleri ölçülerinde parçalar çıkarılmış ve daha sonra istenilen net ölçülere getirilmek için talaşlı imalatları yapıp test numuneleri elde edilmiştir (Şekil 5.18).

Tablo 5.4 Numunelerin HEA300-HEA200 PL10 malzeme özellikleri

Ürün Adı	Kalite	C%	Mn%	Si%	S%	P%	Darbe Testi (Joule) [20°C]	Çekme Muk. [N/mm ²]	Akma Muk. [N/mm ²]	Uzama %
HEA300	S275JR	0,124	0,811	0,129	0,022	0,022	192,6	428	311	33,0
HEA200	S275JR	0,150	0,770	0,200	0,022	0,019		495	365	34,4
PL10	S235JR	0,078	0,661	0,024	0,007	0,013		391	254	37,0

Tablo 5.5 Numune hazırlamadan kullanılan kaynak teli SG2 malzeme özellikleri

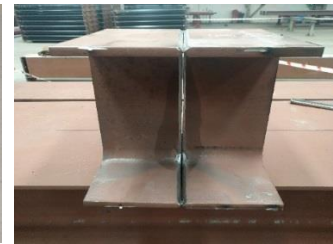
Ürün Adı	C%	Mn%	Si%	S%	P%	Darbe Testi (Joule) [-40°C]	Çekme Muk. [N/mm ²]	Akma Muk. [N/mm ²]	Uzama %
AS SG2	0,068	1,550	0,890	0,005	0,006	85,0	520	433	29,0



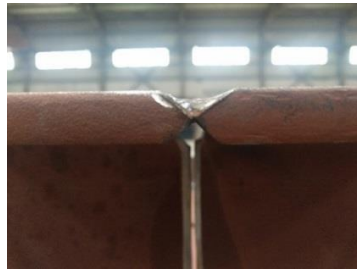
a. Test parçası kaynak işlemi öncesi



b. X Kaynak ağzı açılma işlemi



c. Kaynak işlemine hazırlanmış parça



d. X Kaynak ağzı



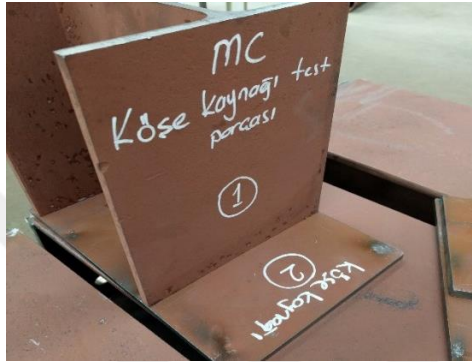
e. Kaynak işleminin yapılması



f. Kaynak işlemi sonlanmış parça

Şekil 5.11. Test numunelerinin hazırlanması – Alın kaynak uygulaması

Köşe kaynakları için projede kullanılmış kirişlerin kolonlar ile olan birleşimde kullanılacak bağlantılardan iki adet test numunesi hazırlanmıştır. HEA200 profil ile 10mm plaka ve 10mm plaka ile 10mm plaka kaynak işlemine tabi tutulmuştur. Bu uygulamada kaynak ağzı açılmadığı için kök kaynak uygulanmamış 250 amper ile tek kat paso kaynağı ile işlem tamamlanmıştır (Şekil 5.12 ve Şekil 5.13). Daha sonra test için istenilen net ölçülere getirilmek için talaşlı imalatları yapıp test numuneleri elde edilmiştir (Şekil 5.18).



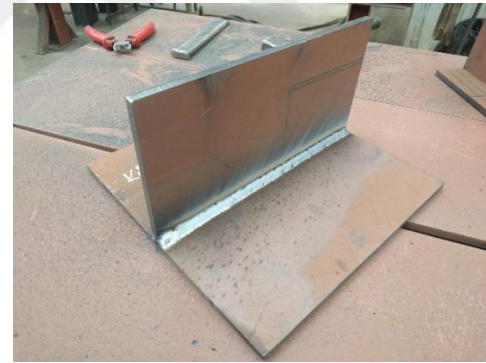
a. Test parçası kaynak işlemi öncesi



b. Kaynak işleminin yapılması

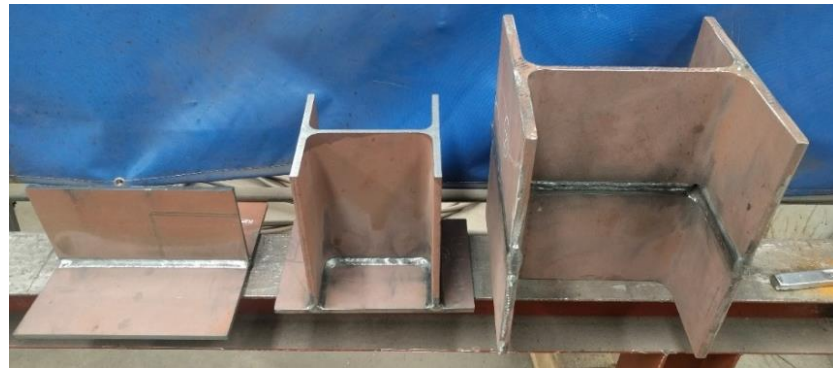


a. Kaynak işleminin yapılması



b. Kaynak işlemi sonlanmış parça

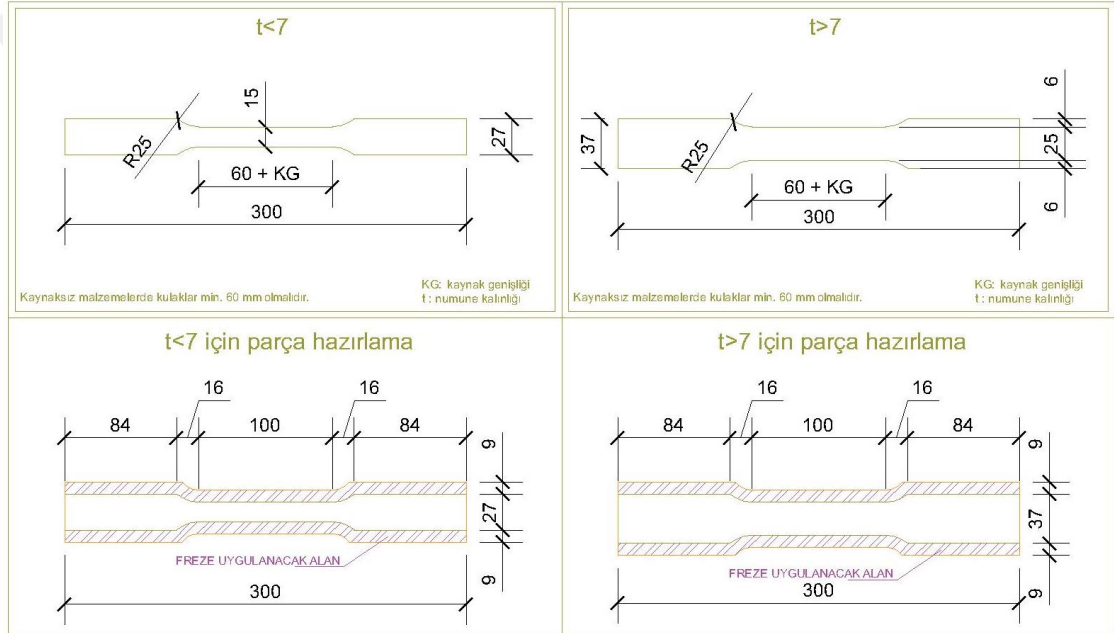
Şekil 5.12. Test numunelerinin hazırlanması – Köşe kaynak uygulaması



Şekil 5.13. Kaynak uygulaması tamamlanmış numuneler

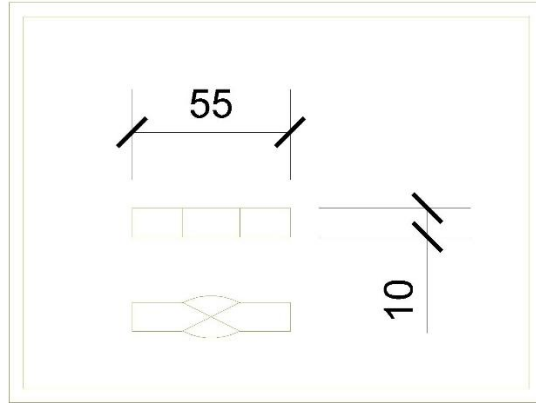
Kaynak işlemleri tamamlanmış olan parçalardan her bir tahribatlı test için ilgili standardına göre test numuneleri alınması işlemine geçilmiştir (Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17). Bu aşamada kullanılan standartlar;

- BS EN ISO 4136:2012 – Kaynak enine çekme muayenesi
- BS EN ISO 5173:2010+A1:2011 – Kaynak eğme muayenesi
- BS EN ISO 9015-1:2011 – Kaynak sertlik muayenesi
- BS EN ISO 9016:2012 – Kaynak çentik darbe muayenesi
- BS EN ISO 17639:2013 – Kaynak makro muayenesi
- TS EN ISO 17639:2003 – Kaynakların makroskopik ve mikroskopik muayenesi

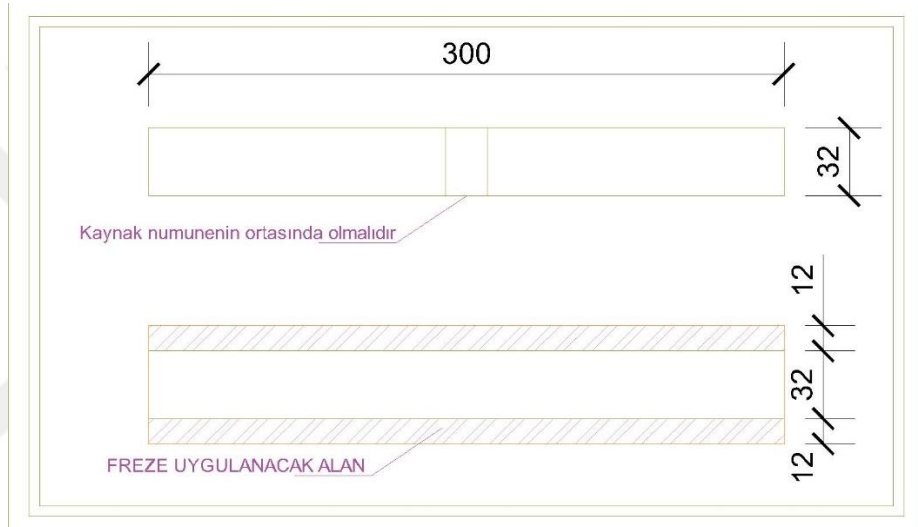


Şekil 5.14. Enine çekme test numunesinin ölçüleri (BS EN ISO 4136:2012)

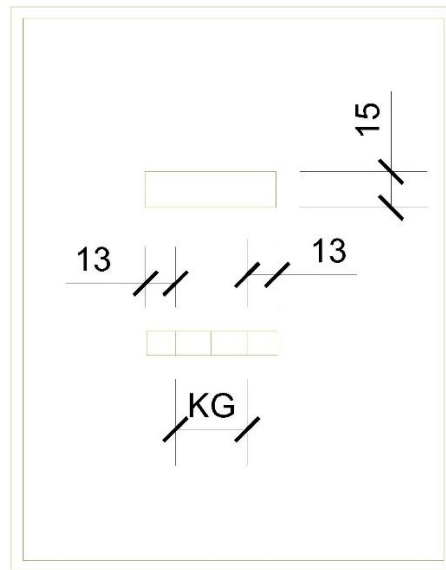
Test numuneleri hazırlanırken eğer ısıtılmış işlem kullanılarak kesim yapılmış ise bu bölgeler test aşamasında yanlış değerler verecektir. Bu sebepten ısıtılmış işleme maruz kalmış bölgelerin freze yardımı ile temizlenmesi gerekmektedir. Şekil 5.14'deki parça düz hatlara sahip olmadığı için plazma yardımıyla (ısıtılmış işlem kullanılarak) kesilecektir. Bu sebepten kenarlarında 8-9 mm kadar malzeme frezelenerek alınması gerekecektir.



Şekil 5.15. Çentik darbe test numunesinin ölçüleri (BS EN ISO 9016:2012)



Şekil 5.16. Eğme test numunesinin ölçüleri (BS EN ISO 5173:2010+A1:2011)



Şekil 5.17. Makro-mikro inceleme ve sertlik test numunesinin ölçüleri (BS EN ISO 17639:2013)



Alın kaynak birleşimli parçanın flanş ve gövdesinden test numunelerinin alınması



Köşe kaynak birleşimli parçadan test numunelerinin belirlenmesi



a. Köşe kaynak test numunelerinin alınması

b. Test numuneleri

Şekil 5.18. Test parçalarının numunelerden alınması

5.2.3. Makro ve mikro yapı incelemeleri

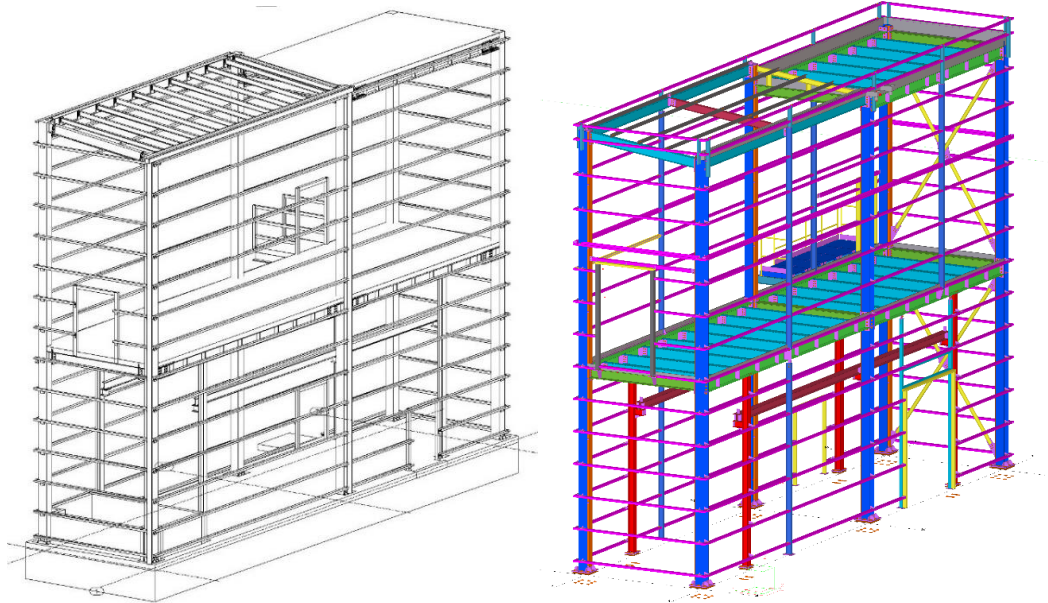
Makro ve mikro yapı incelemeleri için alın kaynaklı birleşimden 1 adet köşe kaynaklı birleşimden ise 2 adet olmak üzere toplam 3 adet numune hazırlanılmıştır (Şekil 5.17). Bu numuneler ısıtıl işlem ile (plazma kesim) parçadan alındığı için ve ısıtıl işleme tabi tutulan yüzeyler makro ve mikro yapı incelemelerinde yanlış sonuçlar vereceği önce bu ısıtıl işleme tabi tutulan yüzeylerden 8-9 mm kadarlık yüzeyi freze ile alınmıştır. Bu işlemi takiben standart metalografik numune hazırlanma kurallarına uygun olarak sırasıyla 200, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik zımparalarla zımparalanmıştır. Zımparalama işleminin ardından dağlama işlemi yapılarak ITAB ve kaynak metali belirgin hale getirilmiştir.

Bu incelemelerden makro inceleme ile kaynak bölgesinin enine kesiti irdelenerek ITAB ve kaynak pasoları incelenmektedir. Mikro incelemede ise kaynak metali, ITAB ve ana metal 500 kata kadar büyütülerek mikro düzeyde incelenmektedir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Statik ve Tasarım Değerlendirilmesi

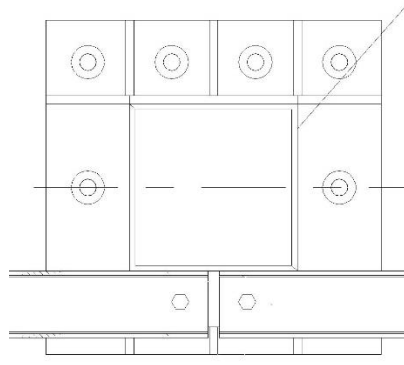
Projesin statik hesaplamalarının tamamlanmasının ardından yapılan incelemede statik hesaplamalarda özellikle tavan vincinin dikkatli irdelenmediği tespit edilmiştir ve tekrardan statik hesap yapılmıştır (Şekil 6.1). Bu hesaplamalarda binaya çapraz takviyesi yapılması gerektiği tespit edilmiştir. İşlevsellik olarak binanın ön ve arka cephelerinde (1 ve 2 aksları) çapraz bağlantı elamanlarının kullanımına imkân olmadığı için mevcut RHS300*10 kutu profil kolonların yerine frame oluşturmak için istavroz veya T kolon olarak tabir edilen kolonların kullanılmasına karar verilmiştir. Bu malzeme için HEA300 ve 1/2IPE400 profilleri tercih edilmiştir (Şekil 6.2). Ayrıca Tavan vincini taşıyacak olan kreyn yolu kirişi IPE240 olarak seçilmişken bunun yeterli olmaması üzerine bu profil HEA240 olarak değiştirilmiştir (Şekil 6.3). Son olarak binanın kullanılmayan cephesine (T-5 Aksı) CHS114.3*5.0 boru profilinden çapraz konulması kararlaştırılmıştır. Bu düzenlemelerin ardından bina statik olarak hazır hale gelmiştir (Şekil 6.4).



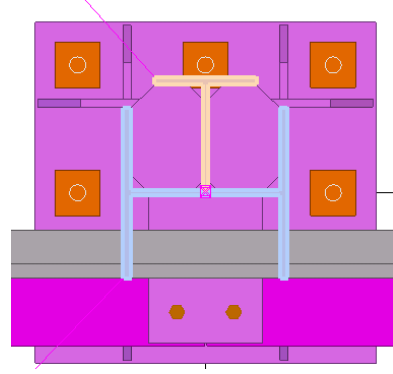
a. İlk yapılan statik hesap sonu bina

b. Statik hesaplamaları düzenlenmiş olan bina

Şekil 6.1. Statik hesaplamaları yenilenmiş binanın önceki ve sonraki halleri

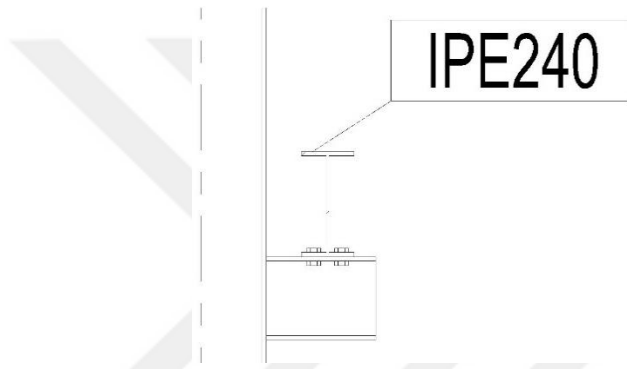


a.. Düzenleme öncesi kolon RHS300*10

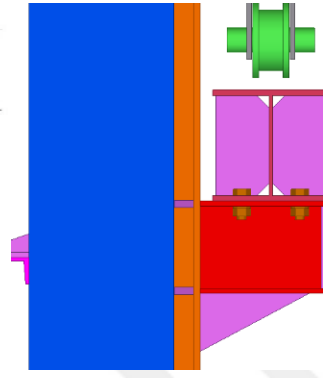


b. Düzenleme sonrası istavroz kolon HEA300 + 1/2IPE400

Şekil 6.2. Statik hesaplamaların yenilenmesi ile değiştirilen kolon tipi

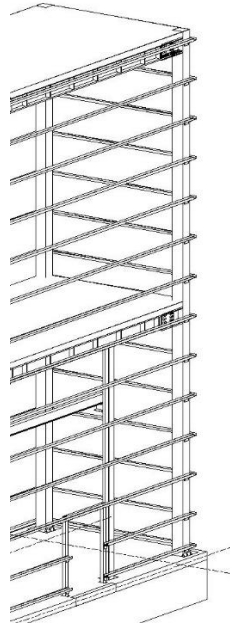


a. Düzenleme öncesi kreyn yolu kirişi

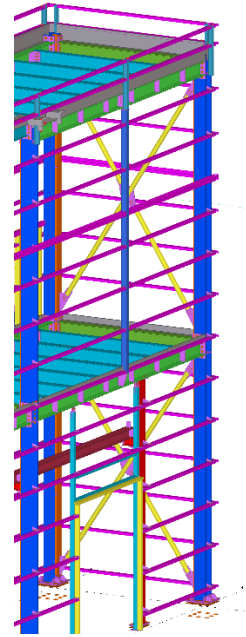


b. Düzenleme sonrası kreyn yolu kirişi HEA240

Şekil 6.3. Statik hesaplamaların yenilenmesi ile yetersiz kesitte olan kreyn yolu kirişinin değiştirilmesi



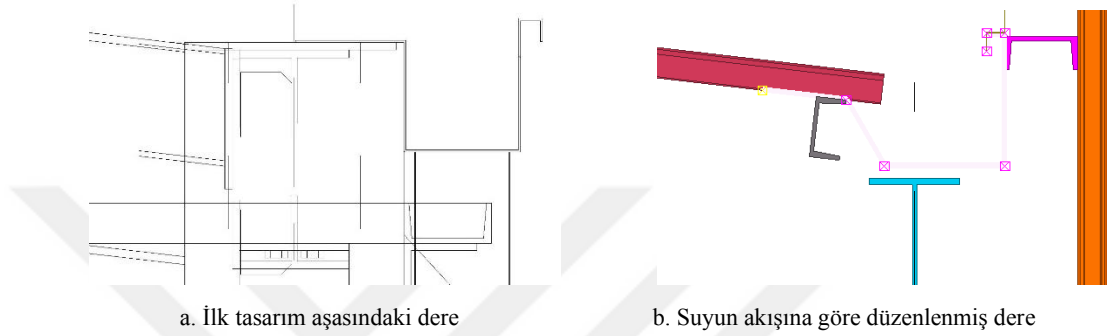
a. Çapraz profillerin olmadığı ilk hesaplama



b. Çapraz profillerin konulması

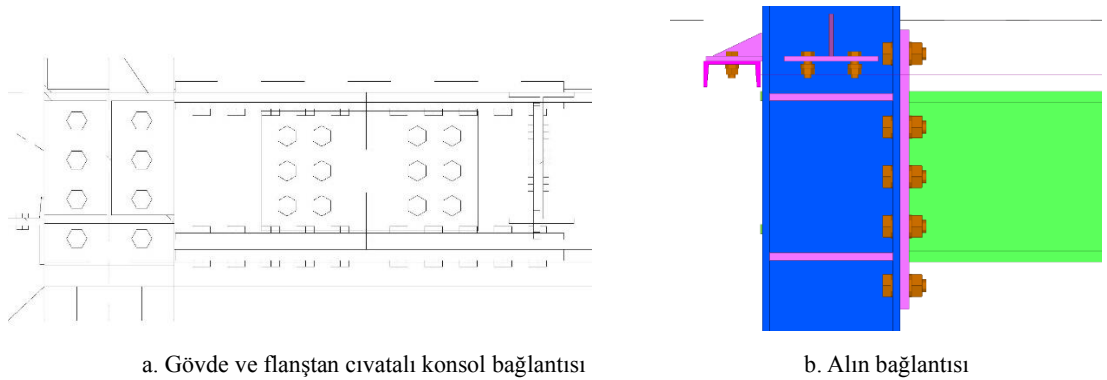
Şekil 6.4. Yenilen statik hesap sonucu çapraz profillerin eklenmesi

Profil cinslerinin belirlenmesinden sonra ikinci adım olarak projenin imalata yönelik modellenmesi gelmektedir. Bu aşamada 2. bölümde de belirtildiği üzere şantiye kaynağının en aza indirgenmiş durumları göz önünde bulundurulacak birleşim noktaları tasarlanır. Projelendirmenin bu ayağında genelde ilk tasarım aşamasında statik açıdan sisteme etki etmeyen ancak imalata yönelik incelendiğinde düzenlenmesi gereken noktalar düzenlenir.



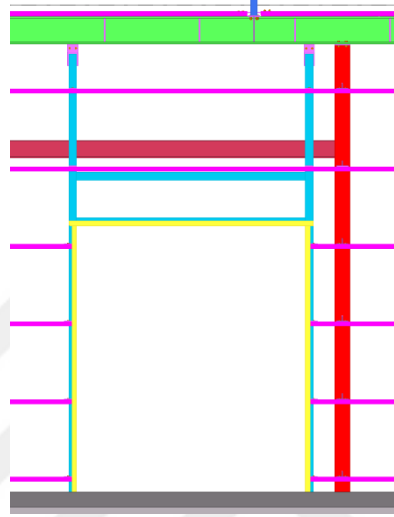
Şekil 6.5. Yağmur oluklarının düzenlenmesi

Yağmur oluklarının tasarımında suyun akış yönü ile uyumlu olmasına dikkat edilmelidir. Şekil 6.5 - a'da gösterildiği gibi tasarlanan derenin önündeki düz alan su birikmesine sebebiyet verecektir. Zamanla o bölgedeki su ve buna bağlı olarak biriken çamur o alanda korozyona sebebiyet verecek ve yalıtımını olumsuz etkileyecektir. Nihayetinde bu bölgede su sızmaları meydana gelecektir. Bu sebeple Şekil 6.5- b'de gösterildiği gibi su direk olarak derenin içine gelecek şekilde tasarım yapılmalıdır. Ayrıca mümkün ise dereninde yağmur iniş giderine doğru hafif meyilli olarak montaj yapılması gerekmektedir. Bu şekilde çatıda ve derede muhtemel su birikmesinin önüne geçilecektir.



Şekil 6.6. Bağlantı tiplerinde yapılan düzenleme

Statik hesaplamaların değiştirilmesi ile bazı bağlantı tiplerinde değiştirilmesi gerekti. şekil 6.6 – a’ da gösterilen kolon – kiriş bağlantı tipinde çok fazla cıvata kullanılmaktaydı. Kolon tiplerinin değiştirilmesi ile bu bağlantı tipine gerek kalmayarak daha az cıvatalı bir bağlantı tercih edilmiştir. Cıvata maliyetlerinin proje maliyetine etkisi göz önünde tutulduğunda bu azalma çok daha önemli hale gelmektedir.



şekil 6.7. Kapı dikmelerinin şantiye kaynağı gerekmeyecek şekilde düzenlenmesi

Kapı dikmeleri gibi başka imalatlar ile ilintili olan parçalar birçok projede bağlanacağı parça ile uyum sorununu en aza indirmek için birleşim tipi olarak şantiye kaynağı olarak tasarlanır. Bu projenin ilk tasarım aşamasında da aynı şekilde tasarlanmıştı. Ancak şantiye kaynağının olumsuz geri dönüşlerinden kaçınmak için bu parçaların birlikte kullanılacağı kalemlerin imalatçıları ile birlikte çalışılıp gerçekte hangi konumda olacak ise o konuma göre ayarlanmıştır. Ayrıca kapı dikmeleri dikey ve yatay olarak ana kolon ve kirişe bağlanarak zamanla kapının kullanımıyla oluşan titreşimin sebep olduğu cephelerdeki açılmaları ve bu açılmalara bağlı yalıtım sorunlarını da en aza indirgenmesi hedeflenmiştir (şekil 6.7).

6.2. Kaynaklı Birleşim Noktalarının Değerlendirilmesi

Bu projenin kaynak kalitesi kontrolleri esnasında 3 tip tahribatsız test ile kontrol yapılmıştır. VT, MT ve UT. Her bir malzeme kaynak işleminden sonra önce VT'ye tabi tutulmuş ardından gerekli görünen yerler için MT ve UT yapılmıştır (Şekil 6.8 ve Şekil 6.9). (Setap, 2018)



Şekil 6.8. UT uygulaması



Şekil 6.9. MT uygulaması

Cihaz / Equipment <input type="checkbox"/> Krautkramer USM 25 <input type="checkbox"/> Krautkramer USK 7D <input checked="" type="checkbox"/> STARMANS DIO 1000				Cihaz Seri No / Equipment serial number <input type="checkbox"/> XQL974e <input type="checkbox"/> 4034 <input checked="" type="checkbox"/> 15-032				Temas Sıvısı / Coupling media <input checked="" type="checkbox"/> Duvar kağıdı yapıştırıcısı/cellulose <input type="checkbox"/> Gres/grease <input type="checkbox"/> Diğer/other <input type="checkbox"/> Su/water						
Muayene Kapsamı / Scope of inspection Full penetrasyon kaynakları				Test Standardı / Test standart EN ISO 17640 Level B				Kabul Standardı ve Seviyesi / Acceptance standard and level EN ISO 11666 Figure A.1 ve A3 Acceptance Level 2						
Muayene Prosedürü-Talimatı / Inspection procedure/instruction 2880E				Malzeme / Material ---				Yüzey Durumu / Surface condition <input type="checkbox"/> Taşlanmış/Grinded <input type="checkbox"/> İşlenmiş/Machined <input checked="" type="checkbox"/> Olduğu Gibi/as						
Kalibrasyon Bloku / Calibration blocks <input type="checkbox"/> K1 <input checked="" type="checkbox"/> K2 <input type="checkbox"/> VM				Kaynak Ağızı ve Açısı / Weld bevel and angle <input type="checkbox"/> X <input checked="" type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/> U				Tarama / Scanning <input checked="" type="checkbox"/> 1 Yüzey 2 Kenar/1 face 2 sides <input checked="" type="checkbox"/> 1 Yüzey 1 Kenar/1 face 1 sides <input type="checkbox"/> 1 Yüzey/1 face						
Boyutlar / Dimensions --				Isıl İşlem / Heat treatment <input checked="" type="checkbox"/> Yok/ no <input type="checkbox"/> Öncesi/ before <input type="checkbox"/> Sonrası/ after				İmalatçı / Manufacturer i.						
Malzeme Sıcaklığı / Material temperature 20-30 °C				Sözleşme Gereklileri / Contract requirements ---				Test Yeri ve Tarihi / Test location & date 1						
Referans Nokta / Reference point --				Prob Pozisyonu / Prob position EN ISO 17640 Figure A1 ve A.2 (A-X-Y)				Standarttan-Şartnameden Sapma / Deviations from standard /specification --						
Prob No	Prob Tipi /MHz	Seri No	X	Test Alanı	<input type="checkbox"/> DGS <input checked="" type="checkbox"/> DAC	<input checked="" type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> PD <input type="checkbox"/> SPD	<input type="checkbox"/> D _{DSR} <input checked="" type="checkbox"/> D _{SDH}	V _J V _v	ΔV _T	ΔV _K	ΔV	V _R		
	Prob Type	Serial number	mm	mm	mm	mm	mm	dB	dB	dB	dB	dB		
1	MWB 70-4	56929-54784	12	150	100%	25-100	Ø 3	51	-	-	+6	57		
2	MWB 60-4	56928-53404	13	100	100%	25-100	Ø 3	45	-	-	+6	51		
Parça No Item No	Kaynak No Weld No	Belirti No Indication No	Tarama pozisyonu Scanning direction	Prob tipi Prob type	Ses mesafesi(PD, SPD) Path distance	Hataların konum ve tanımları Type of defect and location				Sonuç Result		Değerlendirme Evaluation		Açıklamalar Remarks
						Ref Konumdan safe Distance from ref. point	Boyuna (mm) Longitudinal (mm)	Enine (mm) Transverse (mm)	Temas yüzeyinden olan derinlik (mm) Depth from surface (mm)	Hatanın tanımı(ISO 6520 standartına göre) Type defect acc. to ISO 6520	Kayıt seviyesinden olan sapma (dB) Deviation (dB)	Kayıt uzunluğu (mm) Length of indicator	Arka duvar yankısında düşme (dB) Reducing of back wall echo (dB)	
MKR 11	W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OK		
MKL 7	W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OK		
MKK 1	W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OK		
MKL 6	W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OK		
MKL 5	W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OK		
MKL 8	W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OK		
MKR 8	W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OK		
MKL 3	W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OK		
MKL 4	W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OK		
MKK 1	W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OK		2 adet

Şekil 6.10. UT raporları (Setap, 2018)

Şekil 6.10'da 10 adet parçanın alın kaynaklı birleşim noktaları EN ISO 17640 Level B standardına göre UT yöntemi ile incelenmiştir. Test yapılan parçaların ilgili bölgelerinde herhangi bir hata tespit edilmemiştir.

Obje (boyutlar, tanım no) : --- <i>Object (dim., ident no.)</i>	Resim no: --- <i>Drawing no</i>	Revizyon No --- <i>Rev. No</i>
Malzeme (Standart no): --- <i>Material</i>	Prosedür No: 2440 E <i>Procedure No</i>	Revizyon No --- <i>Rev. No</i>
Kaynak ağzı <i>Weld joint.</i> X- <input type="checkbox"/> Y- <input type="checkbox"/> U- <input type="checkbox"/> V- <input type="checkbox"/> Y- <input type="checkbox"/> K- <input type="checkbox"/> Köşe/Fillet- <input checked="" type="checkbox"/>	Kaynak Malzemesi <i>Weld Material</i> ---	Malzeme Kalınlığı <i>Material Thickness</i> ---mm
Kaynak yöntemi <input type="checkbox"/> Elek. Ark <input type="checkbox"/> Tozaltı <input type="checkbox"/> MIG <input checked="" type="checkbox"/> MAG <input type="checkbox"/> Öztlü Tel <input type="checkbox"/> TIG <i>Welding process</i> 111/SMAW 121/SAW 131/GMAW 135/GMAV 136/FCAW 141/GTAW		
Isıl İşlem durumu <input type="checkbox"/> Evet/Yes <input checked="" type="checkbox"/> Hayır/No <i>Heat treated</i>	Yüzey durumu <input type="checkbox"/> Düz <input type="checkbox"/> Yumuşak Geç. <input checked="" type="checkbox"/> Kaba <i>Surface condition</i> Ground Smooth Coarse	
Gri alandaki bilgiler müşteri tarafından verilmiştir./The gray box informations are submitted by client.		
Test Standardı: <input checked="" type="checkbox"/> EN ISO 17638 <input type="checkbox"/> AWS D1.1 <input type="checkbox"/> ASME BPVC Sec. V. <input type="checkbox"/> AD Merk.-HP 5/3 <input type="checkbox"/> Diğer/other* <i>Test Standard</i>		
Mıknatıslanma Şekli <input type="checkbox"/> Akım magnetizasyonu <input checked="" type="checkbox"/> Elektromagnet <input type="checkbox"/> Bobin magnetizasyonu <input type="checkbox"/> Daimi mıknatıs <i>Magnetization Type</i> Current magnetizing Electromagnet Coil magnetizing Permanent magnet		
Manyetik Cihaz Markası&Modeli: PFINDER <i>Magnetic Equipment Brand&Model</i> MY-2 / 1508121	Akım <input checked="" type="checkbox"/> AC <input type="checkbox"/> DC <i>Current</i>	Demagnetizasyon <input checked="" type="checkbox"/> Hayır <input type="checkbox"/> Evet <i>Demagnetization</i> No Yes
Test Yöntemi: <input checked="" type="checkbox"/> Görünür Yöntem (siyah-beyaz) <input type="checkbox"/> Ultraviole Yöntem (floresan) <input type="checkbox"/> Kuru toz <i>Test Method</i> Visible Light method (black and white) Ultraviolet Light method (florescent) Dry powder method		
Manyetik Parçacık Sıvısı Marka ve Tipi: <i>Magnetic Particle Brand & Type</i> Marker/MR76 S Batch no:1151 A	Zemin Boyası Marka ve Tipi: <i>Background Paint brand &Type</i> Marker/MR72 Batch no: 1201 A	MTU blok ile Tespit Ortamı doğrulaması <i>Verification of test liquids with MTU block</i> <input checked="" type="checkbox"/>
Manyetik alan gücü, kA/m 2.0 - 6.0 kA/m <i>Magnetic field strength</i>	Zemin : <input checked="" type="checkbox"/> Beyaz <input type="checkbox"/> Parlatılmış <input type="checkbox"/> İşlem görmemiş <i>Background</i> White Polished Non-Treated	
Işık Şiddeti : <input checked="" type="checkbox"/> Beyaz/White <input type="checkbox"/> Ultraviole/UV-Lamp <i>Light intensity</i> > 1000luxW/m2	Kaldırma Gücü / Bacak Aralığı 4500 gr / 150 mm <i>Lifting Power / Pole Spacing</i>	
Ölçüm Ekipmanı: Lüksmetre-LUTRON(Seri No:Q128207) <i>Equipment</i>		
Aranan Hata Türü: <input type="checkbox"/> Boyuna Hatalar <input type="checkbox"/> Enine Hatalar <input checked="" type="checkbox"/> Bütün Yönler <i>Expected Defects:</i> Longitudinal Defects Transverse Defects All Direction		Test parçası sıcaklığı, °C 10-20 <i>Temperature of test piece °C</i>
Kabul kriteri: <input checked="" type="checkbox"/> EN ISO 23278 Level 2 <input type="checkbox"/> AWS D1.1 <input type="checkbox"/> ASME BPVC Sec. V. <input type="checkbox"/> AD Merk.-HP 5/3 <input type="checkbox"/> Diğer/other* <i>Acceptance criteria</i> * Diğer kutusu işaretlendiyse standardı yazınız / if other box is checked please write the standart		

--	--	--	--	--	--	--

Sıra No	İmalat No	Kontrol Adedi	Kontrol Sonucu	Sürekli Tipi	Tamir Sonrası	Açıklamalar
1	MKL-5	1	OK	-	-	%10 oranında MT yapıldı
2	MKL-6	2	OK	-	-	
3	MKL-7	1	OK	-	-	
4	MKL-8	1	OK	-	-	
5	MKR-11	1	OK	-	-	
6	MKL-3	1	OK	-	-	
7	MKL-1	1	OK	-	-	
8	MKL-2	1	OK	-	-	

Şekil 6.11. MT raporları (Setap, 2018)

Şekil 6.11’da 9 adet parçanın köşe kaynaklı birleşim noktaları EN ISO 17638 standardına göre MT yöntemi ile incelenmiştir. Test yapılan bölgelerde herhangi bir hata tespit edilmemiştir.

Bu projenin kaynak kalitesi kontrolleri esnasında uygulanan tahribatlı testler şu şekildedir.

Alın kaynaklar için;

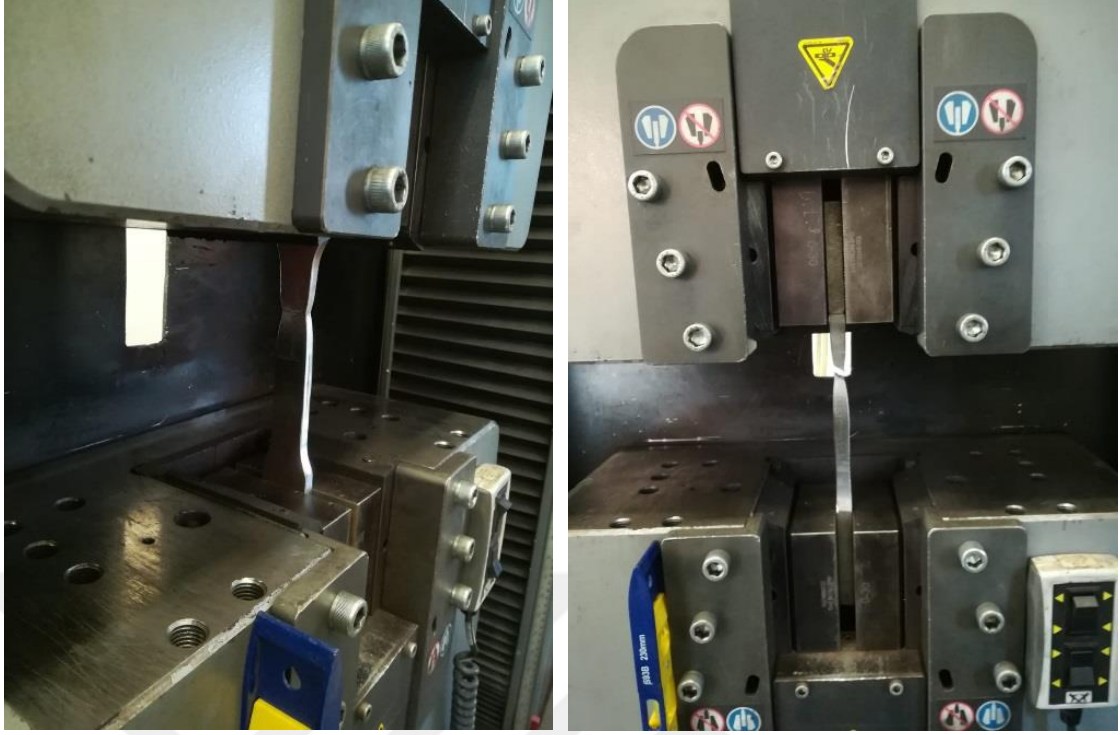
- Çekme testi
- Eğme testi
- Çentik testi
- ITAB ve Sertlik
- Makro yapı incelemesi
- Mikro yapı incelemesi

Köşe Kaynaklar için;

- ITAB ve Sertlik
- Kırma testi
- Makro yapı incelemesi
- Mikro yapı incelemesi

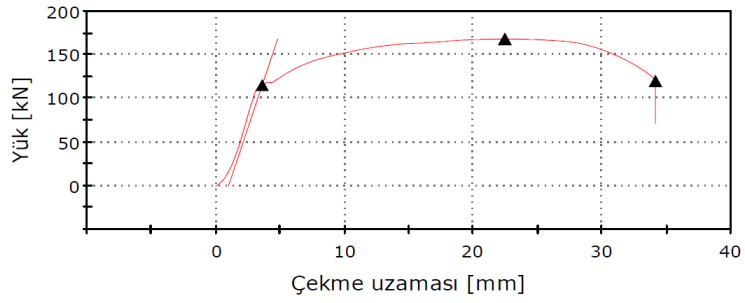
6.2.1. Çekme testi değerlendirilmesi

Bu yöntemde alın kaynaklı bağlantı yapılan parçanın (HEA300) flanşı ve gövdesi için ayrı ayrı test numuneleri alınmış ve BS EN ISO 4136:2012 standartlarına göre teste tabi tutulmuştur (Şekil 6.12). Teste tabi tutulan her iki parçada da kopma ana metalde gerçekleşmiş olup test sonucu elde edilen verilere göre numunenin üretim sertifikasında belirtilen çekme gerilmesi 463 N/mm^2 iken kaynak işlemi sonrası bu değer için 489 N/mm^2 (Şekil 6.13 ve Tablo 6.1) gövde için ise 490 N/mm^2 (Şekil 6.14ve Tablo 6.2) olduğu görülmüştür.



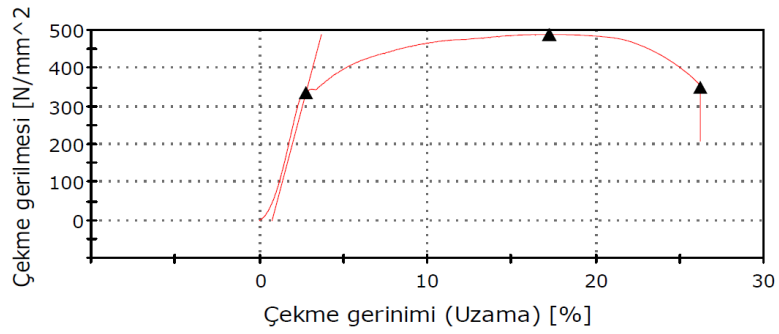
Şekil 6.12. Numunelerin çekme testine tabi tutulması

CT-1 FLANŞ



Numune #
1

CT-1 FLANŞ



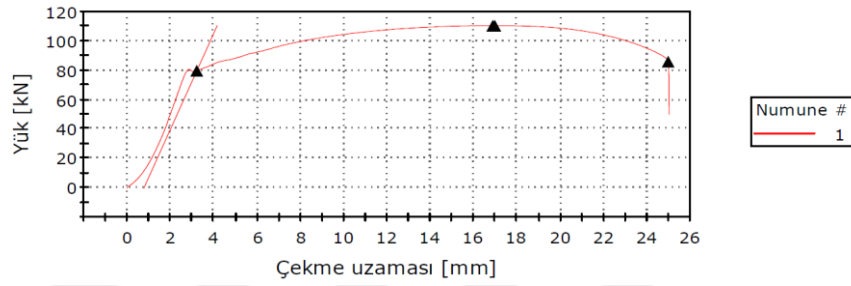
Numune #
1

Şekil 6.13. Çekme testinde flanştan alınan numunenin grafikleri

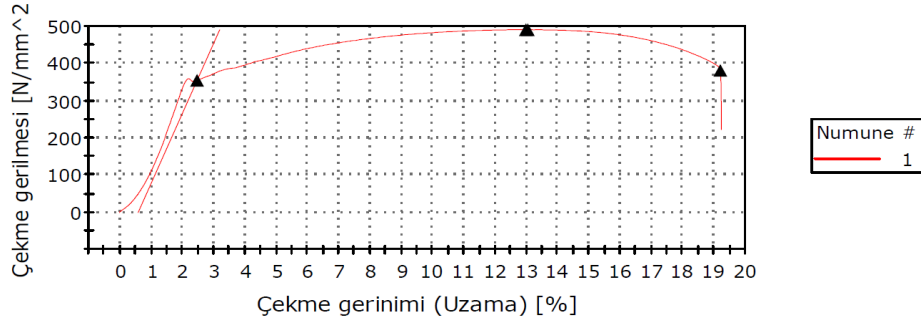
Tablo 6.1. Çekme testinde flanştan alınan numunenin test verileri

Kalınlık [mm]	Genişlik [mm]	Başlama tarihi	Akma Mukavemeti (Ofset 0,1%) [N/mm ²]	Akma Mukavemeti (Ofset 0,5%) [N/mm ²]
13,8	24,9	3.5.2019	330	345
Akma Mukavemeti (Ofset 1%) [N/mm ²]	Akma Mukavemeti (Ofset 0,2%) [N/mm ²]	Çekme Mukavemeti [N/mm ²]	Maksimum Yük [kN]	Yüzde uzama
405	336	489	168	23,1

CT-2 GÖVDE



CT-2 GÖVDE



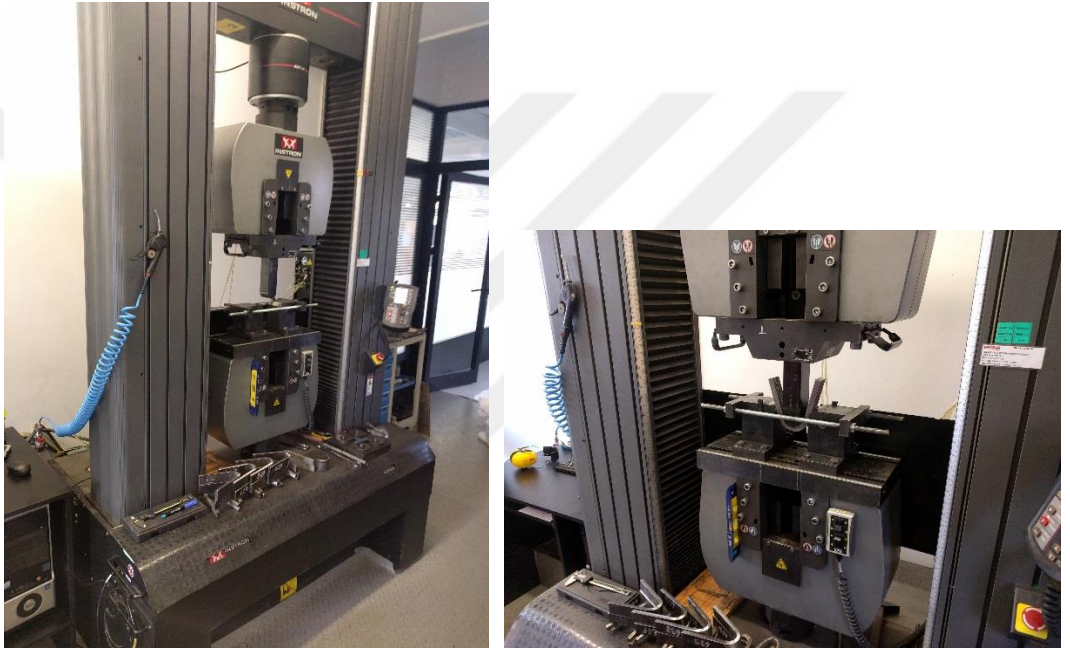
Şekil 6.14. Çekme testinde gövdeden alınan numunenin grafikleri

Tablo 6.2. Çekme testinde gövdeden alınan numunenin test verileri

Kalınlık [mm]	Genişlik [mm]	Başlama tarihi	Akma Mukavemeti (Ofset 0,1%) [N/mm ²]	Akma Mukavemeti (Ofset 0,5%) [N/mm ²]
9	25	3.5.2019	352	366
Akma Mukavemeti (Ofset 1%) [N/mm ²]	Akma Mukavemeti (Ofset 0,2%) [N/mm ²]	Çekme Mukavemeti [N/mm ²]	Maksimum Yük [kN]	Yüzde uzama
416	354	490	110	23,1

6.2.2. Eğme testi değerlendirilmesi

Bu yöntemde kaynak yüzeyinin ve kök kaynağın BS EN ISO 5173:2010+A1:2011 standardına göre eğilme testine tabi tutulması sonucu çatlaklık oluşması incelenmiştir. Test için 2 adedi kök kaynağı 2 adedi kaynak yüzeyi olmak üzere 4 adet numune hazırlanmıştır. Numunelerimizin kalınlığı 14mm olduğu için Ø56 çapında kol kullanılarak eğme işlemi yapılmıştır (Şekil 6.15). Test sonucu yüzeylerde herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir (Şekil 6.16).



Şekil 6.15. Numunelerin eğme testine tabi tutulması



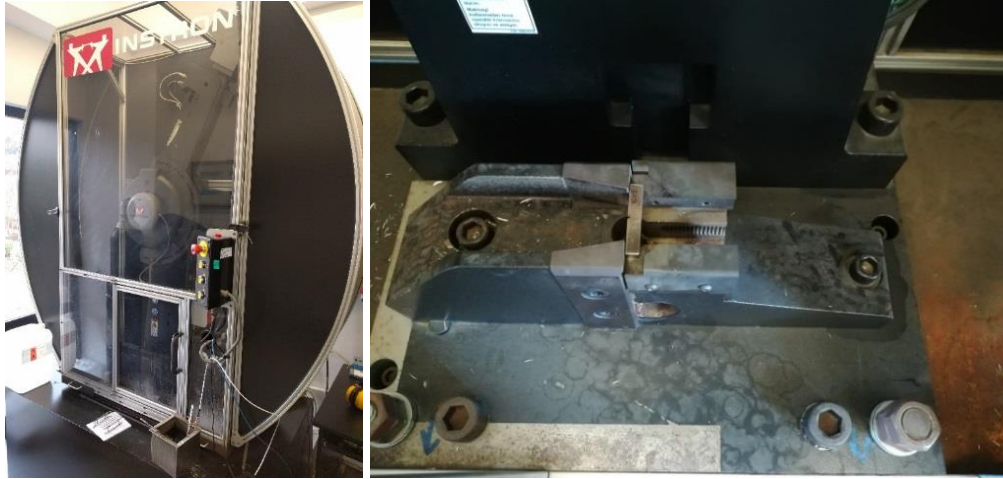
Şekil 6.16. Eğme testi sonrası parçaların yüzeyleri

6.2.3. Çentik darbe testi değerlendirilmesi

Bu yöntemde alın kaynaklı birleşim yapılan parçanın (HEA300) gövdesinden 3 adedi kaynak metali (KM pozlu) için 3 adedi de ITAB (H pozlu) için olmak üzere Şekil 6.17'deki gibi toplam 6 adet test numunesi hazırlanılmış ve BS EN ISO 9016:2012 standardına göre teste tabi tutulmuştur (Şekil 6.18). Test oda sıcaklığına 7,5*10*55 mm parçalar üzerinde gerçekleştirilmiş olup test sonucu değerleri Tablo 6.3'te verilmiştir. Teste tabi tutulan parçalarda herhangi bir hataya rastlanılmamıştır.



Şekil 6.17. Çentik darbe testi için hazırlanan numuneler



Şekil 6.18. Numunelerin çentik darbe testine tabi tutulması

Tablo 6.3. Çentik-darbe test verileri

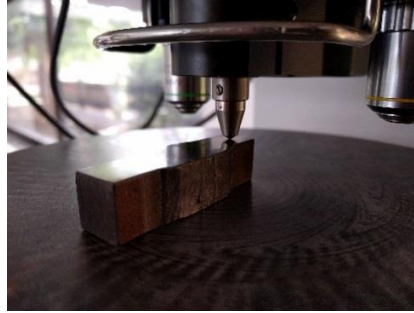
Test numunesi: 7,5*10*55	H/1	H/2	H/3	KM/1	KM/2	KM/3
Darbe Testi (Joule) [20°C]	68,25	64,61	58,45	102,89	104,79	90,88

6.2.4. Sertlik testi değerlendirilmesi

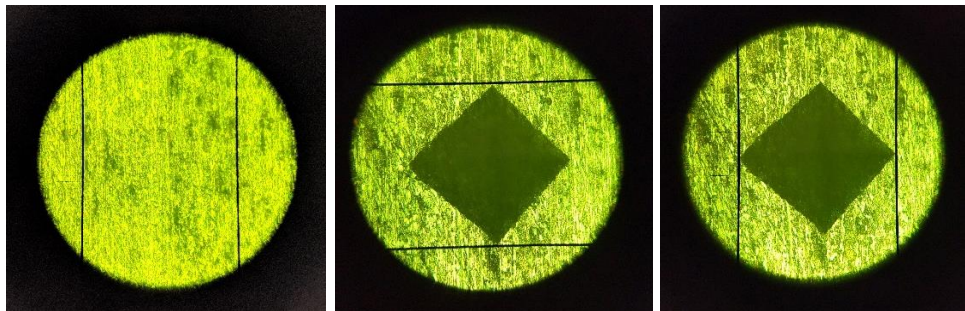
Bu yöntemde BS EN ISO 9015-1:2011 standardına göre kaynak yapılan bölge kesitinde 5 farklı bölgeden 3'er adet noktasal değer alınmıştır (Tablo 6.3, Tablo 6.4, şekil 6.19, şekil 6.20 ve şekil 6.21). Yapılan incelemede ITAB'da emniyet değeri olan 350 HV nin geçilmediği görülmüştür. Ayrıca en yüksek sertlik değerinin kaynak metallereinde ölçüldüğü bunu sırası ile ITAB ve ana metalin izlediği görülmüştür.



şekil 6.19. Sertlik test cihazı HIGHWOOD HWDV-X3s



şekil 6.20. Sertlik testinde numuneye ucun batırılması



şekil 6.21. Sertlik testinde yüzeyde oluşan izin llmesi

Tablo 6.4. Alın kaynaklı birleşim için sertlik ölçümleri alınan nokta konumları ve değerleri

	1-2-3			4-5-6			7-8-9			10-11-12			13-14-15		
	Ana Metal (AM-1)			ITAB-1			Kaynak Metali (KM)			ITAB-2			Ana Metal (AM-2)		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
a	160,9	161,8	166,7	179,5	184,3	190,9	217,4	217,9	215,2	215,1	192,7	181,6	157,2	155,7	156,0
b	149,3	146,8	149,2	173,7	180,0	173,7	203,7	211,8	205,1	178,7	168,3	168,1	149,4	151,0	150,0
c	147,1	147,9	147,2	191,8	189,3	187,1	195,5	183,1	203,9	190,4	185,0	173,3	153,5	144,2	146,1

Tablo 6.5. Köşe kaynaklı birleşim için sertlik ölçümleri alınan nokta konumları ve değerleri

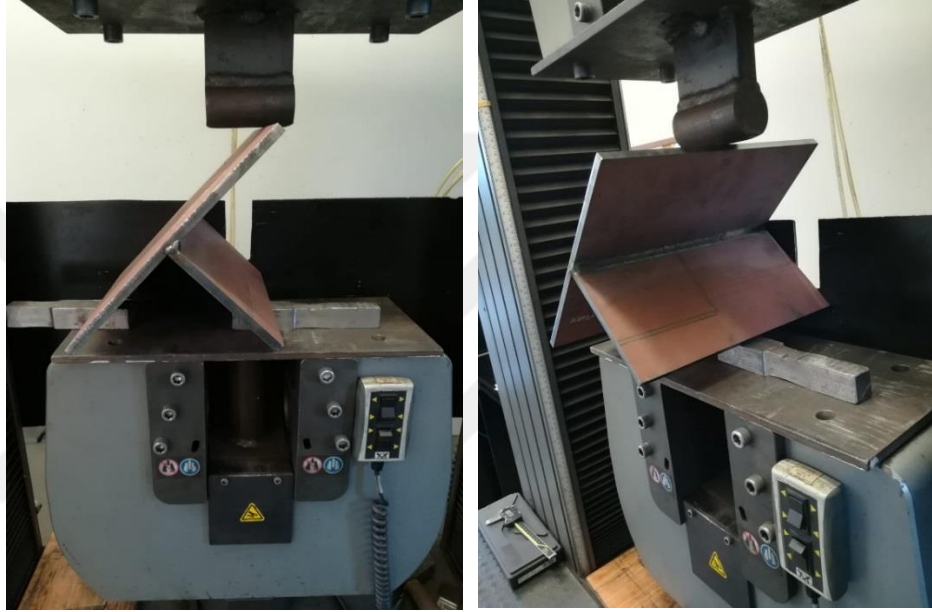
T1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	AM-1			ITAB-1			KM			ITAB-2			AM-2		
a	141,5	149,6	135,7	144,3	159,4	177,1	210,0	202,2	200,3	177,2	156,8	147,0	154,6	152,0	150,8
b	138,3	137,2	139,5	147,6	151,3	157,1	189,7	189,4	196,7	158,3	151,8	144,3	137,5	137,9	142,0

T2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	AM-1			ITAB-1			KM			ITAB-2			AM-2		
a	123,4	123,9	126,1	144,4	158,6	181,3	224,5	207,6	211,4	183,2	174,6	154,9	148,1	145,0	143,1
b	121,6	125,4	132,3	146,8	149,7	163,9	223,9	220,4	210,2	188,7	165,6	146,5	132,7	137,2	129,3

T1: Gövde numunesi, T2: Flanş numunesi

6.2.5. Kırılma testi değerlendirilmesi

Bu yöntemde köşe kaynaklı numunenin kırılma işlemine tabi tutulması ve bunu takiben kırılmanın olduğu bölgeye göre kaynak kalitesi incelenmiştir (Şekil 6.22). Test sonuçlarına göre kaynak her iki metale de yeteri derecede nüfuziyet ettiği ve kaynak metali ile ana metal arasında herhangi bir boşluğa rastlanılmadığı tespit edilmiştir (Şekil 6.23).



Şekil 6.22. Köşe kaynaklı numunenin kırılma testine tabi tutulması

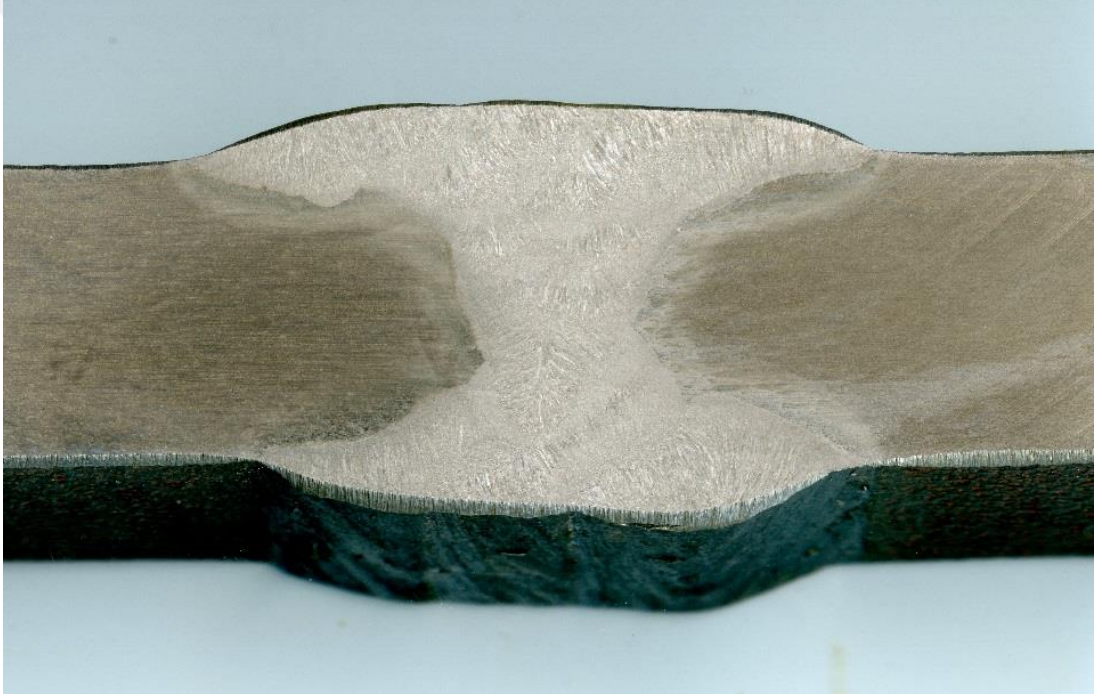


Şekil 6.23. Kırılma testi sonra kaynak bölgesi

6.3. Makro ve Mikro Yapıların Değerlendirilmesi

6.3.1. Makro yapı değerlendirilmesi

Bu yöntemde alın kaynaklı ve köşe kaynaklı parçaların kaynak yüzeyleri BS EN ISO 17639:2013 standardına göre görsel olarak incelenmektedir. Şekil 6.24 ve 6.25’de gözüktüğü gibi her iki tip birleşim yönteminde de kaynak bölgelerinde yırtılma, çatlak, cüruf ya da yanma olukları rastlanmamış olup istenen kaynak nüfuziyetin sağlandığı tespit edilmiştir. Ayrıca 3 fotoğrafta da kaynak metali, ITAB ve ana metalin belirgin bir şekilde gözlemlenebildiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.24. HEA300-HEA300 Alın kaynaklı birleşim için makro yapı incelemesi



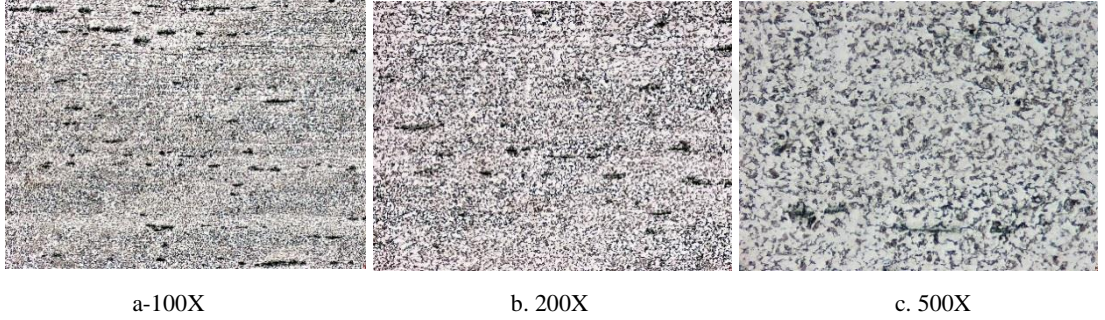
Şekil 6.25. HEA200-10mm plaka köşe kaynaklı birleşimler için makro yapı incelemesi

6.3.2. Mikro yapı değerlendirilmesi

Bu yöntemde alın kaynaklı ve köşe kaynaklı parçaların kaynak yüzeyleri TS EN ISO 17639 standardına göre görsel olarak incelenmektedir. Şekil 6.26, 6.27 6.28’de alın kaynaklı, Şekil 6.29, 6.30 ve 6.31’de köşe kaynaklı birleşimlerin 100X, 200X ve 500X görüntüleri gösterilmektedir.



Şekil 6.26. HEA300-HEA300 Alın kaynaklı birleşim ana metal bölgesi mikro yapı görüntüleri



Şekil 6.27. HEA300-HEA300 Alın kaynaklı birleşim ITAB bölgesi mikro yapı görüntüleri



Şekil 6.28. HEA300-HEA300 Alın kaynaklı birleşim kaynak metal bölgesi mikro yapı görüntüleri



a-100X

b. 200X

c. 500X

Şekil 6.29. 10mm plaka köşe kaynaklı birleşim ana metal bölgesi mikro yapı görüntüleri



a-100X

b. 200X

c. 500X

Şekil 6.30. 10mm plaka köşe kaynaklı birleşim ITAB bölgesi mikro yapı görüntüleri



a-100X

b. 200X

c. 500X

Şekil 6.31. 10mm plaka köşe kaynaklı kaynaklı birleşim kaynak metal bölgesi mikro yapı görüntüleri

Mikro yapı fotoğrafları incelendiğinde ana metale göre ITAB ve kaynak metalinde değişikliklerin olduğu gözlemlenmiştir. Her iki birleşim tipinde de ana metalin tane boyutunun ITAB ve kaynak metalinden daha büyük olduğu, ITAB bölgelerinde ise ısı girdilerinin etkisi ile mikro yapının değişime uğraması ve kaba taneli yapıdan ince taneli yapıya geçişlerin olduğu gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada örnek bir proje eşliğinde çelik konstrüksiyon projelerinin tasarımı statik hesaplamalar ve imalata yönelik modelleme başlıkları altında incelenmiştir. Ayrıca bu projede kullanılan kaynaklı bağlantılarının mekanik özellikleri de incelenmiştir. Statik hesaplama sırasında tüm noktaların hesaba katmaması sebebiyle ilk tasarımın ana taşıyıcı kolonlarının da değişmesine sebep olan yeni tasarıma gereksinim duyulduğu ve yeni tasarım ile ilk tasarımdan çok daha farklı bir taşıyıcı iskelet sistemine ulaşıldığı tespit edilmiştir. İmalata yönelik modelleme aşamasında da aynı şekilde ilk tasarım aşamasında göz ardı edilen ufak noktalar düzenlenmiştir. Bu düzenlemeler göstermiştir ki proje imalat aşamasına geçmeden önce olabilecek düzenlemeler daha sonra çok da büyük sorunları çok daha kolay çözüme ulaştırmaktadır. Çelik konstrüksiyonda kullanılan bağlantı tiplerinden kaynaklı ve cıvatalı birleşim yöntemleri kıyaslandığında alın kaynaklı birleşimler kaynak öncesi hazırlık işlemi ile birlikte ortalama 6 saat sürerken aynı bağlantı yöntemi cıvatalı olarak tasarlandığında cıvata deliklerinin olduğu plakanın köşe kaynağı 1 saat sürmektedir. Bu aradaki fark iş gücü ve zaman sarfiyatı başlıkları altında incelendiğinde imalatçı firmalara çok ciddi kazanımlar sağlamaktadır.

Deneysel çalışmalarda ise kullanılan parçalar MAG yöntemi ile kaynatılmış olup alın kaynaklı ve köşe kaynaklı birleşimler için gerekli standartlar referans alınarak 16 adet test numunesi hazırlanmıştır. Bu numuneler ile makro, çekme, ezme, çentik ve sertlik testleri yapılmıştır. Bu testlerde yapılan incelemede kaynak metali ve ITAB'ta herhangi bir soruna rastlanılmamıştır.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen önemli bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- a. Genel olarak yapılan testlerde gözle muayene sonucu sıklıkla rastlanan yanma olukları, gözenek ve yetersiz nüfuziyet gibi sıklıkla rastlanan hatalar tespit edilememiştir.

- b. Makro yapı incelemesi yapıldığında, ana malzeme, ITAB ve kaynak metalinin birbirinden ayırt edilir şekilde olduğu görülmüştür. Ayrıca herhangi bir kaynak hatasına rastlanılmamıştır.
- c. Mikro yapı incelemesinde tane yapılarının ana metalde büyük olduğu ısı girdiği artan ITAB ve kaynak metalin ise daha küçük olduğu gözlemlenmiştir.
- d. Alın kaynaklı bağlantıların mikrosertlik değerleri göz önünde tutulduğunda kaynak metalleri ort. 206 HV, ITAB-1 ort. 187 HV, ITAB-2 ort. 183 HV, Ana metal-1 ort. 153 HV ve Ana metal-2 ort. 151 HV sertlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür.
- e. Köşe kaynaklı bağlantıların mikrosertlik değerleri göz önünde tutulduğunda ise kaynak metalleri ort. 216 HV, ITAB-1 ort. 157 HV, ITAB-2 ort. 155 HV, Ana metal-1 ort. 141 HV ve Ana metal-2 ort. 145 HV sertlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür.
- f. Her iki bağlantı yönteminde de ve elde edilen veriler kıyaslandığında kaynak metalinin en sert yapıya sahip olduğu ve bunu sırası ile ITAB ve ana metalin takip ettiği gözlemlenmiştir.
- g. Çekme testlerinde kırılma noktaları kaynak metali ve ITAB'da değil ana metalde gerçekleştiği görülmüştür.
- h. Çekme testi sonuçlarının incelendiğinde gövdeden alınan numunenin çekme mukavemeti 489 N/mm^2 iken flanştan alınan numunede 490 N/mm^2 olduğu gözlemlenmiştir. Her iki numunede %23 uzama değerleri okunmuştur.
- i. Kırma testlerin kaynağın her iki plaka uygun ölçüde nüfuziyet sağladığı görülmüştür
- j. Eğme testlerinde kaynak yüzeylerinde herhangi bir çatlak ya da deformasyona rastlanılmamıştır.
- k. Mekanik test sonuçları, birleştirme işleminin uygun bir şekilde yapıldığını göstermektedir.

KAYNAKLAR

Arcelor Mittal Ürün Kataloğu – 2018

BS EN ISO 4136:2012 - Kaynak enine çekme testi standardı

BS EN ISO 5173:2010+A1:2011 - Kaynak eğme testi standardı

BS EN ISO 9015-1:2011 - Kaynak sertlik testi standardı

BS EN ISO 9016:2012 - Kaynak çentik darbe testi standardı

BS EN ISO 17639:2013 - Kaynak makro inceleme sttandardı

Çelik Çizimleri 581MSP055. İnşaat Teknolojisi. (2011). Ankara: Millî Eğitim Bakanlığı.

Çelik Üretimi ve Çeliklerin Sınıflandırılması. (2009). Gedik.

Ertürk, Gazaltı Kaynak Teknikleri. (1987). Ankara

Eryürek, Gazaltı Ark Kaynağı. (2007). İstanbul

EN ISO 17640 Level B – UT tahribatsız testi standardı

EN ISO 17638 – MT tahribatsız testi standardı

Hekim profil ürün kataloğu. (2019) Erişim tarihi: 14.02.2019 Erişim adresi:

<http://www.hekimprofil.com/celik-profil>

İmalat Tasarımı ve Hazırlığı. Metal Teknolojisi. (2013). Ankara: Mili Eğitim Bakanlığı.

Kahraman, Gülenç, 2017. Modern Kaynak Teknolojisi Kitabı. (2016). Ankara

Setap Yapı Mühendislik Kalite Kayıtları. (2018)

Tama, Y.S. Çelik yapı uygulamalarında kullanılan kaynak yöntemleri, üstünlükleri ve sakıncalı yönleri. (2016). Denizli.

Tekla Structures Component Catalog. (2017)

TS EN ISO 17639:2003 – Metalik malzemelerdeki kaynaklarda tahribatlı muayene – kaynakların makroskopik ve mikroskopik muayenesi

Yardımcı, Çelik Yapıların Tasarımı ve Tasarım Yöntemleri. (2005). İstanbul

4B Makine ürün kataloğu. (2019). Erişim tarihi: 07.03.2019 Erişim adresi:

<http://4bmakine.com/portfolio/boru-ve-kutu-profil>

ÖZGEÇMİŞ

Mahmut Çağlar, 1986'da İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2004 yılında Kadriye Moroğlu Lisesi'nden mezun oldu. 2005 yılında başladığı Mustafa Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2009 yılında bitirdi. 2010 yılında özel sektörde Makine Mühendisi olarak çalışmaya başlamış olup değişik sektörlerde deneyimleri oldu. 2013 yılında çelik konstrüksiyon imalatı sektörüne başlamış olup halen aynı sektörde çalışmaya devam etmektedir. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başlamış olup eğitimini sürdürmektedir.