T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK KÖPRÜLERDE KULLANILAN ASTM A709 50W(345W) ÇELİĞİNİN ÖZELLİKLERİ VE KAYNAK PERFORMANSLARI

Levent OYMAEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Doç. Dr. Yılmaz ÇAN

2013
EDİRNE

ÇELİK KÖPRÜLERDE KULLANILAN ASTM A709 50W(345W) ÇELİĞİNİN ÖZELLİKLERİ VE KAYNAK PERFORMANSLARI

Levent OYMAEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2013

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL ve ONAY SAYFASI

T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

.....……..

Prof.Dr. Mustafa ÖZCAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

……..

Prof.Dr. Taner TIMARCI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımca (tarafımızca) okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

…….....

Doç.Dr. Yılmaz ÇAN

Tez Danışmanı

Bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvan, ad, Soyad):	İmza
Doç.Dr. Yılmaz ÇAN	……..
Prof. Dr. Mümin ŞAHİN	……..
Doç. Dr. Ertan ARDA	……..

17/09/2013

TEZ DOĞRULUK BEYANI
T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

17/09/2013
Levent OYMAEL

Yüksek Lisans Tezi

Çelik Köprülerde Kullanılan ASTM A709 50w(345w) Çeliğinin Özellikleri ve Kaynak Performansları

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Kimyasal bileşim ve ısıl işlemler çeliğin fiziksel, kimyasal ve mekaniksel özellikleri üzerinde etkilidir. Bu husus çeliğe uygulanacak kaynak tipleri ile doğrudan ilişkilidir. Kaynak çelik köprülerin en önemli unsurlarından biridir. Çelik köprülere standartlara uygun kaynak tiplerini, uygulama yöntem ve tekniklerini uygulamak önemlidir. Çelik köprülerin çok çeşitleri vardır. Basınç, çekme, dinamik kuvvetler ve dış tesirler gibi fiziksel ve mekaniksel zorlamalara maruz çelik köprüler için en uygun malzeme seçimi, kaynak teknikleri ve kaynak testleri önemlidir.

Bu çalışmada, çelik köprülerde kullanılacak malzemelerin özellikleri, sınıfları, şartnameleri, imalat – kaynak standart tanımlamaları ve testlerine yer verilmiş, çelik köprülerin inşasında kullanılacak "ASTM-A709 50W(345W) çeliğinin özellikleri ve bu çeliğin kaynak performansını incelemek adına numune parça kaynatılarak tahribatlı ve tahribatsız testler yapılmış ve test sonuçları değerlendirilmiştir. Çelik malzemelerin seçimi ve uygulanmasında Avrupa'da (EN) ve Amerika Birleşik Devletleri'nde (ASTM) normları esas alınmıştır.

Yıl : 2013

Sayfa : 77

Anahtar Kelimeler : Köprüler, Çelikler, Çelik Özellikleri, Kaynaklar, Kaynak Özellikleri, Kaynak Testleri

MS Thesis

Material Properties andWelding Performance of ASTM A709 50w (345w) Steel Used in Steel Bridges

Trakya Universty Institute of Natural Science

Mechanical Engineering Department

ABSTRACT

Chemical composition and heat treatments are effective on the physical, chemical and mechanical properties of the steels. This matter is directly related with the welding types to be applied. Welding is one of the most important component of steel bridges. It is very important to perform approriate welding type, welding method and technic. There are many types of steel bridges. It is very critical to choose most appropriate material, welding types and their tests for the steel bridges which are under mechanical and physical stresses like compression, tension, dynamic forces and other exterior effects.

In this study, types, properties and specifications, manufacturing – welding standard identification and tests of the materials, which are used in steel bridges, have been explained, and in order to investigate the welding performance of "ASTM A709 50W(345W)" steel, which is used in the construction of the steel bridges, a sample has been prepared, welded and destructive and non-destructive tests has been performed on it. Steel choosing and application reference codes are EN in Europe and ASTM in USA.

Year : 2013
Pages : 77
Key Words : Bridge, Steel, Welding, Welding Properties, Steel Properties

ÖNSÖZ

Büyük bir endüstriyel değere sahip olan çelikler, çeşitli sektörlerde farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Bunlar arsında köprü inşaatları karakteristik arz etmektedir. Çeliğin çekme mukavemetinin fazlalığı, yapılarda kolon kiriş gibi elemanların kesit ölçülerinin az çıkmasına, büyük açıklıkların geçilmesine olanak sağlar.

Bu çalışma, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans çalışması olarak hazırlanmıştır. Çalışmalarımda ilgi, destek ve hoşgörüsünü hiçbir zaman esirgemeyen, çalışmalarımın her aşamasında değerli önerilerini ve eleştirileri ile beni yönlendiren tez danışmanım Doç.Dr. Yılmaz ÇAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sn. Doç. Dr. Yılmaz ÇAN'a ve öğretim üyelerine, Gülermak Ağır Sanayi İnş. Taahhüt A.Ş. Yön. Kur. Bşk. Sn.Necdet DEMİR'e, Genel Müdür Kemal GÜLERYÜZ'e, Astaldi-Gülermak Ortak Girişimi Haliç Metro Geçiş Projesi Müdürü Doğan DEMİR'e, Proje Md. Yrd. Alper UZMAN'a, Yapım Müdürü Osman SARI'ya, Türk Loydu İktisadi İşletmesi Proje Sorumlusu Murat DEVREZ'e, Gülermak Ağır Sanayi İnş. Taahhüt A.Ş. Kalite Kontrol Şefi Abdullah ERASLAN'a ve Ulaş BAYAR'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince gösterdiği büyük sabır, ilgi ve hoşgörü için minik yavrum Selin'in annesi sevgili eşim Kimyager Derya OYMAEL'e, çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Levent OYMAEL

İÇİNDEKİLER

ÖZET **i**

ABSTRACT **ii**

ÖNSÖZ **iii**

İÇİNDEKİLER **iv**

SİMGELER DİZİNİ **vi**

ŞEKİLLER LİSTESİ **vii**

TABLOLAR LİSTESİ **x**

BÖLÜM 1 **1**

GİRİŞ 1

BÖLÜM 2 **3**

GENEL BİLGİLER 3

2.1. Literatür Taraması 3

2.2. Çelik Malzemesinin Tarihsel Gelişimi 5

2.3. Köprülerin Tarihsel Gelişimi 8

2.4. Çelik Köprü Tasarım Standartları 9

2.5. Çelik Köprülerin Karşılaştırılması 16

2.6. Köprülerin Projelendirilmesi 25

2.7. Köprülerde Yükler ve Analizi 26

2.7.1. Tasarım yüklerinde (F) yorulma faktörü 26

2.7.2. Kopma güvenliği 32

2.7.3. Çentikler ve gerilme konsantrasyonu 33

2.7.4. Kopma emniyeti 37

2.8. Köprülerde Çelik Malzemenin Kullanılması 37

2.9. Uluslararası Standartlara Göre Yapısal Çelik Tipleri 38

2.9.1. Amerikan ASTM normlarına göre yapısal çelik tipleri 38

2.9.1.1. ASTM A709 50W (345W) çeliği 41

2.9.1.2. Atmosferik korozyona dayanıklı çelikler 42

2.9.1.3. Avrupa standartlarına göre yapısal çelik tipleri 43

2.9.1.4. EN 10025 standardında bulunan çelik tipleri 44

2.10.1. Çelik köprülerde kaynak tipleri 47

2.10.2. Kaynak birleşim detayları 54
2.10.2.1. Çelik köprülerde ön yeterliliği olan kısmi nüfuziyetli kaynak birleşim detayları 55
2.10.2.2. Çelik köprülerde ön yeterliliği olan tam nüfuziyetli kaynak birleşim detayları 56
2.10.2.3. Yasaklanmış kaynak ağzı ve kaynak birleşim tipleri 58
2.10.2.4. Kaynak bağlantı birleşim detaylarının yeterliliği 59
2.10.2.5. Ön yeterliliği haricinde kullanılacak olan diğer kaynak birleşim şekilleri ve doğrulanma testleri 59
2.10.2.6. Kaynak yöntem şartnamesi doğrulanma testleri 59
2.10.2.7. Kaynak test numunelerinde adet, tip ve hazırlık 60
2.10.2.8. Kaynak yöntem şartnamesi doğrulanma testlerindeki tahribatsız muayeneler 64
BÖLÜM 3 **65**
3.1. Çalışmada Kullanılan Araç ve Gereçler 65
3.1.1. Gaz altı kaynak makinesi 65
3.1.2. AWS 5.29 E81T1-W2C dolgu malzemesi 65
3.2. Numunelerin Hazırlanması 66
3.3. Deney kriterleri ve kaynak yöntem şartnamesi (WPS) 65
3.4. Kaynak Yöntem Doğrulama Kayıtları (WPQR) 66
3.5. Çekme Testi 66
3.5.1. Bütün metal-kaynak çekme testi 66
3.5.2. Azaltılmış kesit çekme testi 67
3.5.3. Yan eğme testi 67
3.5.4. Darbe çentik testi 67
3.5.5. Test numunesi tahribatsız muayeneler 68
BÖLÜM 4 **69**
SONUÇ ve ÖNERİLER **70**
4.1. Sonuçlar 70
4.2. Öneriler 71
KAYNAKLAR **72**
ÖZGEÇMİŞ **77**

SİMGELER

ASTM	**Amerika Birleşik Devletleri standartları**
BR	**Fren ve Hızlanma Yükü (Braking and acceleration force)**
BR	**Tasarıma esas olan (BR) Fren Ve Hızlanma Yükü (Force) şöyledir:**
DC	**Ölü Yük (Dead Load)**
DIN	**Almanya standartları**
DL	**Artırılmış Ölü Yük (Superimposed Dead Load)**
EN	**Avrupa Birliği standartları**
LL	**Araç Canlı Yükü (Vehicle live load from moving train)**
Tg	**Termal değişkenlik**
Tu	**Standart değişiklik arz etmeyen sıcaklık etkileri**
TU	**Sıcaklık (Uniform temperature)**
WS	**yapıdaki Rüzgar Yükü (Wind load on structure)**

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	Kemer köprü	10
Şekil 2.2	Betonarme perde mesnetler üzerinde çok kirişli çelik köprü	10
Şekil 2.3	Betonarme perde mesnetler üzerinde kafes kirişli çelik köprü	11
Şekil 2.4	Beton kolonlor üzerinde kemer köprü	11
Şekil 2.5	Su yüzeyinde beton kazık temeller üzerinde çok kirişli köprü: Donghai köprüsü	12
Şekil 2.6	Çelik asma köprü	12
Şekil 2.7	Hareketli (açılır kapanır) çelik köprü	13
Şekil 2.8	Hareketli (döner) çelik köprü	13
Şekil 2.9	Kablo askılı çelik köprü	14
Şekil 2.10	Kablo askılı ve döner köprü	14
Şekil 2.11	Tabliyeli ve kemerli köprü	18
Şekil 2.12	Dökme çelikten yapılan kafes sistemli kemer köprü	19
Şekil 2.13	Kirişli köprü	19
Şekil 2.14	Kablo gergili köprü	20
Şekil 2.15	Kablo gergili köprü	20
Şekil 2.16	Çıkmalı köprü: Forth Köprüsü	21
Şekil 2.17	Çıkmalı köprü	22
Şekil 2.18	Ana kablosu tabliye altında olan asma köprü	23

Şekil 2.19	Asma köprünün elemanları	23
Şekil 2.20	Kuleler arası asma köprü örneği: Clifton köprüsü	23
Şekil 2.21	Yorulma elemanı bileşenleri	31
Şekil 2.22	Kaynaklı birleştirme şekline göre kuvvet akışı ve çeşitli kesitteki gerilme dağılımı	33
Şekil 2.23	Köprülerde kazık temel ve kazık başlığı ara birimi	33
Şekil 2.24	Köprülerde kazık temelde gerilme dağılımı	34
Şekil 2.25	Kaynak kesit numunelerinin analizi	34
Şekil 2.26	Kaynak numunelerinin gerilme analizi	35
Şekil 2.27	Kaynak numunelerinin gerilme analizi	35
Şekil 2.28	Kaynak numunelerinin gerilme analizi	36
Şekil 2.29	Kaynağın gerilme analizi	36
Şekil 2.30.	Atmosfere dayanıklı ve karbon çeliklerinin korozyon kayıplarının şematik gösterimi	43
Şekil 2.31	Çelik birleşim yerinde kaynak uygulaması	48
Şekil 2.32	Kaynak yapılabilen bölgeler	48
Şekil 2.33	Köşe kaynağı	49
Şekil 2.34	Metot köşe kaynağı	50
Şekil 2.35	Bütün çevresel köşe kaynağı	50
Şekil 2.36	Bindirme şekli ile köşe kaynağı	50
Şekil 2.37	Alın kaynağı	51
Şekil 2.38	Tam nüfuziyetli alın kaynağı	51
Şekil 2.39	Kısmî nüfuziyetli alın kaynağı	52
Şekil 2.40	Tipik bir köşe ve “T” birleşim kaynağı	53
Şekil 2.41	Tam nüfuziyetli birleşim kaynaklarında en az bir çentik etkisi yaratan “T” kaynakları	53
Şekil 2.42	Çok fazla gerilim altında olmayan elemanların “T” birleşim kaynağı	54

Şekil 2.43	Delik veya kanal içine yapılan köşe kaynakları	54
Şekil 2.44	Ön yeterliliği olan kısmî nüfuziyetli kaynak birleşimleri	55
Şekil 2.45.a	Ön yeterliliği olan tam nüfuziyetli kaynak birleşimleri	56
Şekil 2.45.b	Ön yeterliliği olan tam nüfuziyetli kaynak birleşimleri	58
Şekil 2.46	Bütün kaynak/metal çekme numunelerinin hazırlanması	61
Şekil 2.47	Azaltılmış kesit çekme numunelerinin hazırlanması	61
Şekil 2.48	Yan bükme test numunelerinin hazırlanması	62
Şekil 2.49	Kök ve alın bükme numunelerinin hazırlanması(Sadece kaynakçı kalifikasyonu için gerekli)	62
Şekil 2.50	Elle metal ark kaynağı, metal aktif gaz kaynağı, aktif gaz korumalı boru göbekli elektrotlu metal ark kaynağı (özlü tel ile) ve toz altı ark kaynağı test numunesi hazırlanması	63
Şekil 2.51	Azaltılmış kesit çekme deneyi sonuçlarının grafik olarak gösterilmesi	67

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1	Hafif trafik durumu	26
Tablo 2.2	Köprüde hizmet sıcaklıkları	27
Tablo 2.3	Yorulma, kırılma analizi	28
Tablo 2.4	Yorulma, kırılma analizi	28
Tablo 2.5	Yorulma, kırılma analizi	29
Tablo 2.6	Yük kombinasyonları	30
Tablo 2.7	Yorulma kapasitesi	31
Tablo 2.8	Pilon, kazık ve ankrajlarda yorulma gerilmesi	32
Tablo 2.9	Tabliyede yorulma gerilmesi	32
Tablo 2.10	ASTM Standartlarına göre yapısal çelik tipleri	39
Tablo 2.11	Çeliğin akma dayanımı ve sınıfına ilişkin değerler	41
Tablo 2.12	Sıcak haddelenmiş yapısal çelikler için Nominal akma (fy) ve çekme (fu) mukavemet değerleri	45
Tablo 2.13	Parça analizi, kimyasal bileşimi	46
Tablo 2.14	Çeliğin ortam sıcaklığındaki akma dayanımı ile kalınlık ilişkisi	46
Tablo 2.15	Çeliğin çekme dayanımının kalınlıkla ilişkisi	47
Tablo 2.16	Çeliğin kopmadan sonraki asgari uzama değeri (%)	47
Tablo 2.17	Çeliğin asgari enerji emme değerinin kalınlıkla ilişkisi	47
Tablo 2.18	Kaynak yöntem şartnamesine göre diğer deney kriterleri	66
Tablo 2.19	Azaltılmış kesit çekme deneyi sonuçları	67
Tablo 2.20	Yan eğme testi sonuçları	68

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İçinde bulunduğumuz çağda demir ve çelik köprülerde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Zaman içinde taş, ahşap demir ve çelik köprüler yapılmışsa da, çeliğin kendine has özel avantajlarının olduğu, uygulamalara artı olanaklar kattığı anlaşılmıştır. Çeliğin ucuzlaması bunun daha da yaygın kullanılmasını sağlamıştır. Ayrıca kaynak tekniğinin ilerlemesi daha sağlam birleşme yerlerinin teşkilini sağlamıştır. Çeliğin mukavemetinin yüksekliği, taşıdığı yükün ağırlığına oranı yüksekliği, üretiminde değişik çelik alaşımlarının kullanılması, daha yüksek mukavemetli, dış tesirlere daha dayanıklı çelik köprülerin inşa edilmesini sağlamıştır.

Çelik köprülerin inşasında pek çok faktörler vardır. Bunlar; tasarım, malzeme, malzemelerin birleşim detayları, uygulama, çeliğin korunması ve kalite kontrol unsurlarıdır. Çelik köprü tasarımlarında kalite kontrolü kaynak [1]'de verilen standarda göre yapılır.

Çelik köprülerin inşasında kullanılacak malzemelerin seçimi de ayrı bir öneme sahiptir. Çeliğin tanımlamaları genellikle Almanya tanımlamaları DIN standartlarına, Japon tanımlamaları JIS standartlarına, uluslararası tanımlamaları ise ISO standartları ile yapılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri çelik standartları bakımından oldukça ileri olup, ilgili standartları ASTM adıyla yayımlanmıştır. Söz konusu standartların oluşumunda konuyla ilgili imalatçıların ve kullanıcılarının fikirleri alınmıştır. ASTM'de çelikle ilgili tanımlamalar, ebatlar, tolerans değerleri ile sınır limit değerleri gibi özellikler "AISI elle çelik üretim standart pratikleri" ile benzer özellikler göstermektedir.

Köprülerde kullanılacak malzeme özellikleri ve sınıflandırmalar, şartnameler, imalat – kaynak standart tanımlamaları ait olduğu ülkeye ait standartlarda değişiklik

gösterebilmektedir. Çelik köprülerde kullanılan çelik malzemeler, Avrupa'da (EN) ve Amerika Birleşik Devletleri'nde (ASTM) normlarına göre seçilmektedir.

- Amerikan standartlarına göre köprü imalatlarında AWS D1.5:1.5M Köprü Kaynak Kodu (Bridge Welding Code) standardı [2] kullanılmaktadır. Bu standarda göre; yapılacak köprüye ait şartname dokümanlarında, kullanılacak malzeme özelliklerinin ve sınıflandırmasının belirtilmesi zorunludur. Aksi belirtilmediği takdirde, standart teknik ve şartnamelere göre kaynak yapılacak ve planlar üzerinde tanımlanacak malzemelere ait özelliklerin, AASHTO M270M'de [M270] [3] ile [4] belirtilen gereklilikleri karşılaması zorunludur. ASTM A709M [A709] [4] standardı köprülerde kullanılacak karbon ve yüksek mukavemetli düşük alaşımlı olan yapısal profilleri ve plakaları, dolu profilleri ile yapısal plakaları için su verilmiş ve temperlenmiş alaşımlı çeliklerini kapsamaktadır.

Çelik köprülerin uygulamaları ayrı bir öneme sahiptir. Burada en uygun detay ile uygulama yöntem ve tekniğinin seçimi önemlidir. Bir malzeme ve detay ne kadar ideal olursa olsun, niteliksiz ellerde o malzeme kalitesiz duruma düşebilir. Burada kaynak tipleri uygulandıkları birleşim bölgesinin kaynak tipleri oldukça karakteristiktir. Örneğin çelik köprü kaynak birleşim detaylarında yaygın olarak; kaynak [2] ile [5]'te belirtilen farklı standart uygulamaları söz konusudur. Bu iki standarttan birincisi sadece kaynak birleşim detayları değil, köprü imalatı ile ilgili diğer bütün imalat detaylarını da içermektedir.

Tezin amacı, üzerinden gereğinde yüzlerce ton geçecek olan çelik köprülerin inşasında kullanılacak "ASTM-A709 50W(345W) çeliğinin özellikleri ve kaynak performansları" standardını ortaya koyarak, uygulanacak köprülerde kullanılıp kullanılamayacağına açıklık getirmektir.

Tez çalışması literatür ve deneysel çalışma olarak yapılmıştır. Literatür ve deneysel kısmında, İstanbul'da Haliç Metro Geçiş Köprü Projesi'nde edinilen bilgilere ağırlıklı olarak yer verilecektir. Bu husus çalışmanın karakteristiğini oluşturmaktadır.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1. Literatür Taraması

Erciyes [6] yaptığı çalışmada, uzun açıklıklar için diğer bir köprü şekli de kemerlerdir. Kemerler düşey reaksiyonların yanı sıra, yatay reaksiyonlar tarafından da desteklenen yapılar olduğunu, yatay reaksiyonlar belirli bir itme sağlayacak kapasitede de olması gerektiğini, eğer bu olmazsa kemer eğik kiriş gibi çalışacağını vurgulamıştır. Eğik kirişlerde yüksek eğilme momentleri oluşurken, kemerlerde düşük eğilme momentleri oluşacağını, buna göre düzgün yayılı yük altında merkez ekseni parabol olan bir kemerde eğilme momenti olmayacağını ifade etmiştir.

Lee, Kim ve Choi [7, 8] çelik köprülerin tasarım sürecinde imalatın sadece çelikle sınırlı olmadığını, köprülerde betonarmenin de kullanıldığı yerlerin olduğunu, betonarme kısımların köprünün tasarımında dikkate alınması gerektiğini, literatürde çelik köprülerle ilgili farklı analiz yaklaşımlarını içeren çalışmaların varlığını işlemiştir.

Uzgider, Çağlayan ve Kaya "boyutları gerçek olan çelik köprü elemanlarındaki yorulma ve yorulma ömrünün tespitine yönelik yaptıkları test çalışmalarında [9], Türkiye'de gerek demiryolu gerekse karayolu köprüsü olarak önemli miktarda çelik köprü stoğu olduğu gerekçesinden hareketle, bunların yorulma ömürlerinin saptanarak artık yorulma ömürlerinin belirlenmesine, yorulma ömürlerinin sonuna yaklaşmış olanların ömrünü arttırıcı tedbirlerin alınması gerektiğine dikkat çekmiştir. Bunun için gerekli nümerik yöntemlerin varlığı yanında gerçek boyutlu köprü eleman ve birleşimlerini test edebilecek bir yorulma laboratuarının ve bu konuda tecrübe kazanmış bir araştırma grubunun varlığının önemini vurgulamıştır. Gerçek boyutlu elemanlar için laboratuarda yorulma deneyleri, NATO SfS "Science for Stability" (Kararlılık için

Bilim) programınca destekli TUBRIDGES “Rehabilitation of Old Railway Bridges” (Eski Demiryolu Köprülerinin Rehabilitasyonu) konulu araştırma projesi kapsamında ele alındığını belirtmiştir.

Yapılan bir çalışmada [10], köprüler doğanın ve çevrenin zorlu ve yıpratan koşullarında kaldıkları için korozyona karşı son derece kaliteli ve dayanıklı kaplama malzemeleriyle korunması gerektiği vurgulanmıştır. Çalışmada, kemerli ve kirişli köprülerde basınç ve eğilmeye karşı hareket sistemleri bulunduğu, kafes sistemli kemer köprülerin genellikle elemanlarında çekme kuvveti bulunduğu, diğer bazı elemanlarında da basınç etkilerinin olduğu, bu hususun çeşitli kemer köprü elemanlarına olan yansıması işlenmiştir.

Wikipedia’da, köprülerin inşa edildiği tarihten günümüze kadar tarihsel gelişimi konusunda bilgiler, çelik dışında üretilmiş diğer malzeme kökenli köprülerle harmonize edilerek, tarihsel gelişimi hakkında bilgiler yer almaktadır. Söz konusu kaynakta [11] ilk köprünün Çin'de yapıldığı, oradan Hindistan'a yayıldığı belirtilmekte ayrıca köprülerin MÖ 4000 yıllarında Mezopotamya'da, MÖ 3000 yıllarında da Mısır'da ilk kemere benzer şekilde inşa edildiği belirtilmektedir. Çalışmadan, Romalıların yaptıkları ilk köprünün MÖ 621'e kadar uzandığı, ahşap kafes sistem köprünün ilk defa İsviçre'de (1750), demir köprünün de yine ilk defa İngiltere'de (1779) imal edildiği anlaşılmaktadır. Çalışmada, köprülerdeki ilerlemenin 1950'lerden sonra ön gerilmeli betonun uygulanmağa başlanması ile ivme kazandığı vurgulanmaktadır.

Avrupa Yapısal Çelik Birliği (ECCS) tarafından düzenlenen “Avrupa Çelik Köprü Ödüllerine” ilişkin organizasyona ait bilgileri içeren kaynakta [12], söz konusu yarışmanın ilkinin 2008 yılında, ikincisinin 2010 yılında gerçekleştirildiği yer almaktadır. Yazıda, çelikten veya kompozitlerden imal edilmiş köprülerin tanıtılması, yapım ve üretim aşamasında, ekonomik ve mimari değerlerinin vurgulanması, kullanıcılara, mimar ve mühendis kökenli teknik elemanlarla inşaat sektörüne çelik kullanma benimsetilerek, çelik sektörünün rekabet edebilir hale getirilmesi vurgulanmıştır. Yarışmada, “yol ve demiryolu köprüleri”, “yaya köprüleri” ve “var olan bir köprünün çelik kullanılarak yenilenmesi” sınıflamasında projeler yer almıştır.

Çeliğin avantajlı yönlerini ön plana çıkararak, daha zarif, sanat değeri olan, daha büyük açıklıkların geçilebildiği, yaz kış imal edilebilen, depreme karşı daha dayanımlı çözümlerin üretildiği ECCS Çelik Köprü Yarışması ile ilgili bilgiler içeren kaynakta

[13] son yüzyılda çelik yapı teknoloji ve tasarımında büyük gelişmeler olduğu yansıtılmaktadır. Söz konusu yarışma şu kategorilerde yapılmıştır: 1. Karayolu, otoban ve demiryolu köprüleri, 2. Yaya ve bisiklet köprüleri / üst geçit, 3. Mevcut köprünün çelik kullanılarak yenilenmesi. Yarışmada; "Karayolu, otoban ile demiryolu köprüleri kategorisinde" "Maine nehri üzerinde Confluence Bridge (Fransa)" projesinin "takdir" belgesi aldığı, " Yaya ve bisiklet köprüleri / üst geçit kategorisinde "Akrobaten Bridge (Norveç)" projesinin "birincilik" ödülü aldığı, "mevcut köprünün çelik kullanılarak yenilenmesi" kategorisinde" Nové Sedlo'da R6 karayolu üzerinde Locket Bridge (Çek Cumhuriyeti) projesinin "takdir" belgesi aldığı vurgulanmaktadır.

2.2. Çelik Malzemesinin Tarihsel Gelişimi

Yeryüzünde en fazla demir (Latincesi ferrumdur.) bulunur. Arzın merkezi demir-nikel alaşımlıdır. Demir diğer elementlerle tepkimeye daha kolay girdiği içindir ki, doğada bileşikler halinde yer alır. Diğer metaller arasında en çok kullanılandır. Tarih boyunca da hep büyük öneme sahip olmuştur. Eski çağlardan beri toplumlarda demirle uğraşanlar hep seçkin bir yere pozisyonda olmuşlardır. Bu, halkların mitolojisine de yansımıştır. Örneğin, Yakutların ilk atası olan Elliei ilk demirci idi. Sibirya halkları arasında demirci oldukça prestijli bir konuma sahiptiler. Demircilerin özel ruhlarca korunduğuna inanılırdı. Şamanların kıyafetlerindeki demirler demirci ustalarınca yapılırken ve demir dövülürken kötü ruhların kovulduğuna inanılır. Ayrıca Moğol boylarının destansı şiirlerinde ve Türklerde demirci (tarkhan); 'kahraman' ve 'yalnız atlı savaşçı' anlamında kullanılmıştır. Ergenekon Destanı'na göre Türkler; Ergenekon'dan çıkmak için yol ararken, bir demircinin tavsiyesi üzerine dağdaki demir madenini eritip geçit açmaya karar verirler [14]**.** Dolayısıyla metalik özelliklere sahip alaşımdır. Çelik alaşımını oluşturan ögelerden biri demir, diğeri karbondur. Metal olan demir ile ametal olan karbon çeliğe kendi karakteristiklerini yansıtır. Çeliğin bileşimindeki karbonun azlığı veya çokluğu çeliğin özelliklerini önemli derecede değiştirir. Çok az miktardaki karbon bile çeliği farklı özelliklerde yapmaya yeterlidir. "İçerisinde %1,7 ye kadar karbon, %1'e kadar mangan, %0,5'e kadar silisyum bulunan kükürt ve fosfor oranı da %0,05'ten az olan demir karbon alaşımıdır" demek daha doğru olur. Çelik alaşımı sadece demirle karbon ağırlıklı olarak düşünüldüğünde bile, özellikleri son derecede farklı çok fazla sayıda bir kimyasal yapıyla karşılaşılır. Oysa kullanıcının

gereksinimlerine uygun düşecek şekilde çelik imalatı, bileşime başka metal ve ametallerin eklenmesini gerektirir. Burada alaşıma ilâve edilecek her bir katkı maddesi, çelik özelliğinde değişmeler yapar. Bu demektir ki bir çeliğin özelliklerinin, bileşimini meydana getiren elementlere ve ametallere göre, değişiklik gösterdiği söylenebilir [15]**.**

Temel alaşımı demir (Fe) ve karbon (C) olan çeliğin alaşımında, karbondan başka elementler de vardır. Çeliği çekme ve korozyon dayanımı gibi özelliklerini geliştiren, içerdiği elementlerin kimyasal bileşimleri yani çeliğin iç mineral yapısıdır. Çeliğe değişik % miktarlarda elementler katılarak ve çeşitli iyileştirme ve normalleştirme işlemleriyle içyapıları kontrol edilerek, kullanıcı isteklerine uygun çeşitli karakteristiklerde çelikler üretilebilir. (Mn), fosfor (P), kükürt (S) ve silisyum (Si) üretim sırasında hammaddeden kaynaklanan elementler olup, çelik bünyesinde belirli oranlarda bulunur. Diğer elementler ise, (Cr, Ni vs.) ferro-alyajlar halinde istenilen miktarlarda çelik bünyesine ilave edilir. Çelikler çoğunlukla ısıl işlemlerle değişikliğe uğrarlar. Uygulanan ısıl işlemlerin sonunda çeliğin sertliği, mekanik dayanımı, fiziksel ve elektriksel özellikleri ile korozyona dayanım özelliklerin tam olarak değiştirilebilir. Çeliklerin değişik yöntemlerle metallerle kaplanabilir, üzerine emaye yapılabilir, boyanabilir veya plastik maddelerle kaplanabilir. Kimyasal bileşimi uygun olan çeliklere yine uygun türde kaynak işlemleri yapılabilmektedir. Çelikler içyapılarının elverdiği sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında ancak arzu edilen şekillenme özelliğine kavuşur [16]**.**

“İngiltere'de Dunley, önce demir cevherinin içindeki oksijeni yok etmek gerektiğinden hareketle odun kömürünü kullanarak ve maden cevheri içinden oksijeni ayrıştırarak karbonik gaz yapmıştır. Yani işlem sırasında odunkömürü ikili bir rol oynamaktadır. Önce reaksiyona gerekli ısıyı sağlamakta, sonra da kimyasal bir madde rolü oynayarak reaksiyona girmektedir. Hatta demirin içinde eridiğinde üçüncü bir rol daha oynamaktadır. Eğer miktarı (yüzde 1,5′dan azsa) demiri "çelik", (yüzde 3 ya 5 olursa) "döküm" haline getirmektedir. Darbyler taşkömürünü damıtarak kok haline getirmeyi buldu. Abraham Darby (1677-1717), bölgedeki demir ve madenkömürü çokluğundan dolayı, İskoçya'ya giderek taşkömürünü kok haline getirmeye ilişkin deneyler yaptı. Çalışmaları 1709′da başarıya ulaştı. Odun kullanmadan demiri ilk elde eden oğlu II. Abraham Darby oldu (1735). Böylece uygarlığın ve İngiltere'nin kaderini değiştirecek olan "çelik çağı" açılmış oldu. (1704-1776) yıllarında Doncasterli

Benjamin Huntsman adında bir İngiliz istenen nitelikte çeliği imal etmeyi başardı. Bu, büyük bir kabın içinde semantasyonlu çeliği erittikten sonra, buna su verme yöntemini uyguladı.. Eritilme sonucu su verilen çelik, endüstriyel değeri artırılmış, imalat sektöründe kullanılabilecek nitelikteydi [17].

Çeliğin tarihçesinde, 1784 yılında İngiltere'de Cort isimli bir araştırmacının puddler isimli fırını devreye sokmasıyla dövme çeliklerin üretimi yapılmış ve hatta kafes ve kemer sistemli, dolu gövdeli ve kafes kirişli çelik köprülerin inşası devreye girmiştir [6, 18].

Çelikte karbon oranının önemini fark eden Henry Cort, dökümü karbonundan arıtmak için oksitleyici bir maddeyle karıştırıp kor haline gelinceye kadar ısıttı. Böylece fazla karbonu giderdiğinde, elde ettiği maddeyi, köpüğünden arıtmak için dövdü. Cort'un fırınına "Uzun alevli fırın" ve kullandığı yönteme de "puddlage" (dökme demiri ocakta tavlama) adı verilir. Böyle bir icat ile endüstrinin ihtiyaçlarını karşılayabilecek kadar kaliteli çelik ürünleri üretilebildi.

Çeliklerin çeşitleri şunlardır:

- Karbon imalat çelikleri,
- Kalıp çelikleri,
- Islah çelikleri,
- Sementasyon çelikleri,
- Çelik çekme boru çelikleri,
- Transmisyon milleri çelikleri,
- Soğuk çekme lama çelikleri,
- Lama çelikleri,
- Radüslü lamaların çelikleri,
- Soğuk çekme kare çelikleri,
- Çelik kareler,
- Altı köşe çelikleri,
- Rulman çelikleri,
- Yay çelikleri,
- Paslanmaz Çelikler,
- Takım çelikleri,

2.3. Köprülerin Tarihsel Gelişimi

"Köprü imalatlarının ilk defa Çin'de yapıldığı, oradan da Hindistan'da yaygınlaştığı üzerine görüşler vardır. İmalatlarda ayaklar yapılarak çok gözlü çelik köprüler inşa yoluna gidilmiştir. MÖ 4000 ve MÖ 3000'li yıllarda önce Mezopotamya'da sonra da Mısır'da kemere benzer strüktürlü köprüler görülmüştür. Kemer köprü sisteminin esası, yapıya gelen yüklerin kemerlerce taşınması ve yönünün değiştirilerek basınç kuvveti olarak kemere aktarılmasıdır. Köprülerde ayaklara gelen yükler zemine aktarılır. Kemer köprüler günümüze kadar klasik köprü şekli olarak aktarılmıştır. İlk ahşap köprünün MÖ 621'lerde Romalılarca yapıldığı görülmektedir. Taş köprülerin inşası yanında ahşap olanları da yapılmıştır. Söz konusu taş köprülerden bugüne kadar gelenler de vardır. Kemerlerin şekli genellikle daire şeklinde olmuştur. Taş köprülerde taşlar birbirine harç olmaksızın bağlanmış olup, ayaklar çok rijit olarak inşa edilmiştir. Bunda dolayıdır ki, herhangi bir köprü gözünün çökmesi halinde diğer gözler zarar görmez. Nehrin ortasına isabet eden köprü ayaklarına özel olarak özen gösterilmiştir. Orta ayakların inşası sırasında bitişik kazıklar çakarak, su ve zemini, sağlam zemin buluncaya kadar boşaltmışlar, ayağı daha sonra inşa etmişlerdir. Ancak 13. asırda taş kemer köprü inşası Avrupa yanında Orta Doğu'da ve Çin'de yaygınlaşmıştır. Kemerler, Romalılara nispetle daha basık inşa edilmiştir. Andrea Palladio'nun teorik olarak ortaya attığı ve Leonardo da Vinci'nin uygulamaya geçirdiği gerilme prensibi ile kısa ahşap elemanlarla kafes sistem meydana getirilerek büyük açıklıklar geçilebilmiştir. İlk ahşap kafes sistemle köprü inşası İsviçre'de (1750) ve ilk demir köprü de İngiltere'de (1779) inşa edilmiştir. Köprü inşası konusunda 19. yüzyılda oldukça ilerlemeler kaydedilmiştir. Yapıldıkları malzemelere göre köprü çeşitleri şunlardır: 1. Ahşap köprüler, 2. Taş köprüler, 3. Demir ve çelik köprüler, 4. Modern köprülerdir. Bu tür köprülerde on dokuzuncu yüzyılda önceleri taş ve ahşap köprü yapım tekniğine uygun demir ve çelik kullanılmışsa da, daha sonra bu tür malzemelerin avantajlarının ağır bastığı anlaşılmıştır. Bu köprülerin bir türü olan asma köprülerde, köprü tabliyesi, iki ayağa bağlı çelik halatlara asılı olarak taşınır. Diğer avantajlı bir tür de kafes taşıyıcı sistemi olan çelik köprülerdir. Bunların özelliği yüksek titreşimlere dayanıklı olmasıdır. Çeliğin fiyat bakımından ucuzlaması bunun daha yaygın kullanılmasını teşvik etmiştir. Özellikle kaynaklı birleştirme tekniklerinin gelişmesi ile daha güçlü birleşme ek yerleri teşkil edilebilmiştir. Çeliklerin cinsine bağlı

olarak çekme mukavemetlerinin yüksekliğinden dolayı, taşıdığı yükün gerilmesi de o oranda fazla olmuştur. Değişik çelik alaşımları ile çelik köprülerin yük ve dış çevre koşullarına daha dayanıklı olarak imalatları mümkün olabilmiştir. Her ne kadar alüminyum kullanılmasıyla, daha hafif köprüler elde edilebilirse de pahalı olması bunların yaygınlaşmasını önlemiştir. Ancak daha sonra betonarme yapı türünün gelişmesi ve 1950'lerden sonra ön gerilmeli betonun uygulanması, köprü inşaatında önemli adımların atılmasına yol açmıştır. Köprü inşaatında önemli gelişmeleri ayrıca matematiksel ve deneysel araştırmalar, bilgisayar kullanımı hızlandırmıştır. Bu tür metotları kullanarak, mühendisler statik ve dinamik yükler altında köprüde ortaya çıkacak gerilmeleri daha kesin elde edebilecek duruma gelmişlerdir. Böylece büyük açıklıklı narin köprüler inşa edilmiştir [11] ".Çelik köprülerin çeşitleri şunlardır:

- Kemer köprüler (Arch bridges) (Şekil 2.1)
- Kafes kirişli köprüler (Box girder bridges) (Şekil 2.4)
- Kablo askılı köprüler (cable stayed bridges) (Şekil 2.9)
- Hareketli (açılır kapanır) köprüler (moveable bridges) (Şekil 2.7)
- Çok kirişli köprüler (Multi beam bridges) (Şekil 2.2; 2.5)
- Asma köprüler (suspension bridges) (Şekil 2.6)
- Takviye iskeletli köprüler (truss bridges) ()
- Kablo askılı ve döner çelik köprü (Şekil 2.10)
- Tabliyeli çelik köprü (Şekil 2.11)
- Çıkma köprüler (Şekil 2.16)

2.4. Çelik Köprü Tasarım Standartları

Amerika ve Japonya'da çelik köprülerin tasarımında aşağıdaki standartlar dikkate alınır:

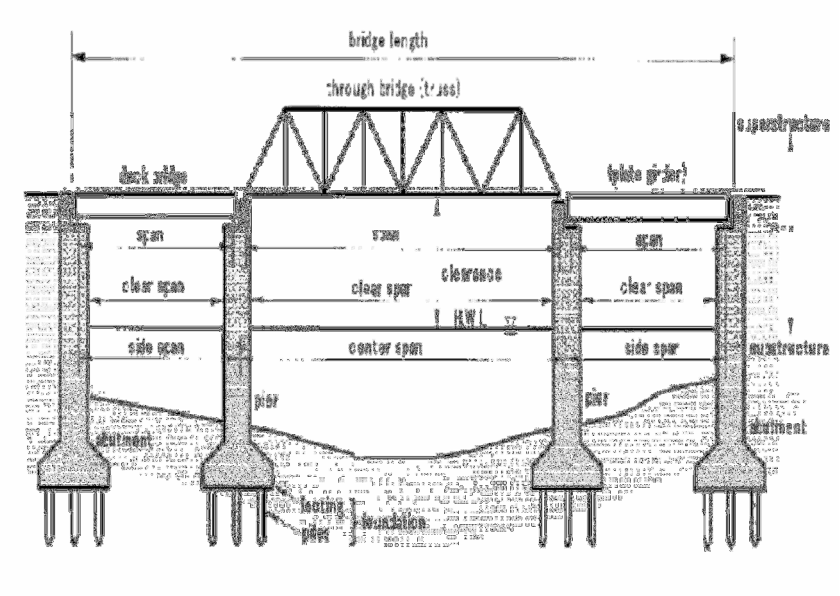
- AASHTO LRFD bridge design specifications, SI units,
- AASHTO guide specifications for lrfd seismic bridge design, 2007
- NCHRP 12-49 comprehensive specifications for LRFD seismic bridge design, 2001
- API RP 2A LRFD recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms
- JRA specifications for highway bridges, part v seismic design
- AREMA, manual for railway engineering volume 2, 2005



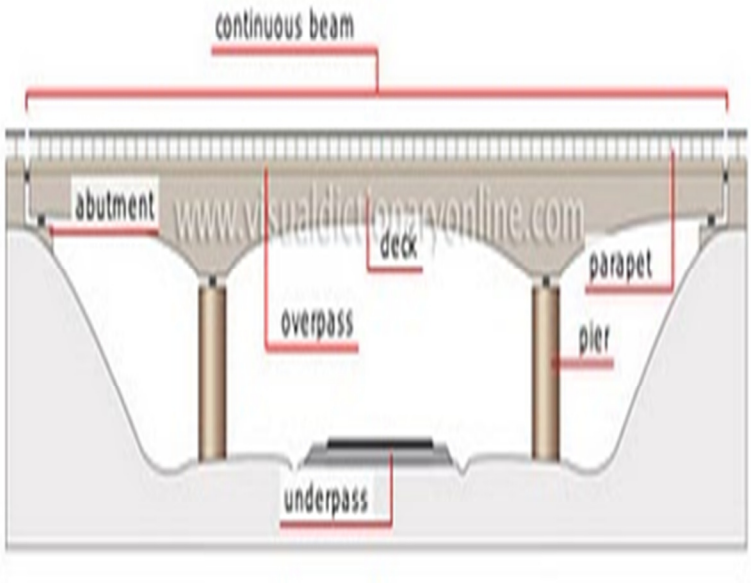
Şekil 2.1 Kemer Köprü [19]



Şekil 2.2. Betonarme perde mesnetler üzerinde çok kirişli
çelik köprü [20]



Şekil 2.3. Betonarme perde mesnetler üzerinde kafes kirişli çelik köprü [21]



Şekil 2.4. Beton kolonlor üzerinde kemerli köprü [22]



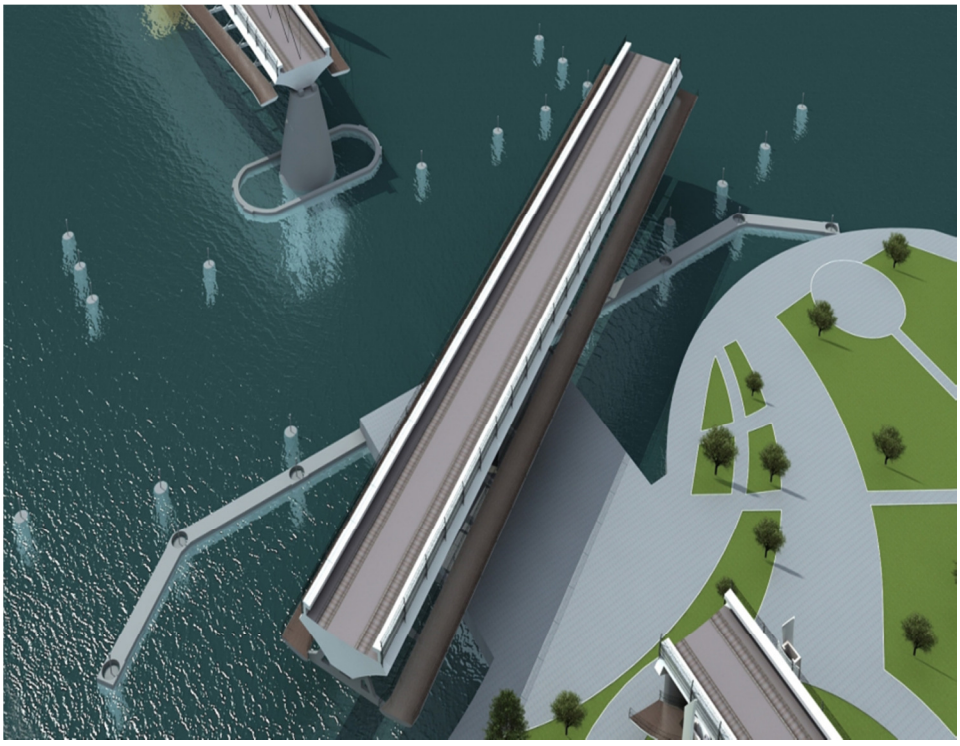
Şekil 2.5. Su yüzeyinde kazık temeller üzerinde çok kirişli köprü: Donghai köprüsü [23]



Şekil 2.6. Çelik asma köprü [24]



Şekil 2.7. Hareketli (açılır kapanır) çelik köprü [25]



Şekil 2.8. Hareketli (döner) çelik köprü [26]



Şekil 2.9. Kablo askılı çelik köprü [27]



Şekil 2.10. Kablo askılı ve döner köprü [26]

Avrupa'da çelik köprülerin tasarımında aşağıdaki standartlar dikkate alınır:

- Eurocode 1 – Actions on structures
- Eurocode 2 – Design of concrete structures
- Eurocode 3 – Design of steel structures
- Eurocode 7 – Geotechnical design
- Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance

Çelik köprülerin dizaynı ile ilgili standartlarda limit durumları (States) şöyle ifade edilmektedir:

- Kuvvet Limit Durumu (Strength Limit State)
- Şiddetli Limit Durumu (Extreme Limit State)
- Servis Limit Durumu (Service Limit State)
- Yorulma Limit Durumu (Fatigue Limit State)

Bir köprünün tasarımına esas olmak üzere aşağıdaki hesaplar yapılır:

- Global analysis
- 3D structural analysis
- Global buckling analysis
- Non linear time history analysis
- Non linear push over analysis
- Non linear seismic analysis
- Fatigue – fracture analysis
- FEM (finite element) analysis
- Pile foundation model analysis

Tasarım yükleri ile ilgili bazı kriterler vardır. Yük durumları AASHTO standardına [1, 3] paralel olarak tanımlanmaktadır. Hesaplarda kalıcı ve geçici yükler aşağıda tanımlandığı şekilde tasarımda dikkate alınmaktadır.

Kalıcı yüklere ait bazı örnekler:

DC: Ölü Yük (Dead Load)

DL: Artırılmış Ölü Yük (Superimposed Dead Load)

Geçici yüklere ait bazı örnekler:

LL = Araç canlı yükü (Vehicle live load from moving train)

BR = Fren ve hızlanma yükü (Braking and acceleration force)

WS = yapıdaki rüzgar yükü (Wind load on structure)

TU = Sıcaklık (Uniform temperature)

Tasarıma esas olan (BR) fren ve hızlanma yükü (force) söz konusudur. AREMA 2005 [28] 2. bölümünde (Yapılar), madde 1.3.12'te tasarım kriteri olarak metro hatları köprülerine en zararlı olan Cooper E80 ray yükü hesabında "hızlanma kuvveti = %15, fren kuvveti = %15 verilmektedir.

Tasarım yüklerinde sıcaklık faktörü (tu) şöyledir: Tasarım yüklerinde sıcaklık faktörü (tu) söz konusudur. Standart değişiklik arz etmeyen sıcaklık etkileri (Tu) ve termal değişmeler (Tg) dikkate alınmalıdır. Köprünün bulunduğu yerdeki meteorolojik kaydedilmelidir. Haliç Metro Geçiş Köprüsü için beklenen değerler aşağıdaki gibidir:

Tabliye ve Pilonlar	**Aşırı**	**Normal**
Isı Yükselmesi	30°C	20°C
Isı Düşmesi	-30°C	-20°C
Kablolar	Aşırı	Normal
Isı Yükselmesi	25°C	12.5°C
Isı Düşmesi	-25°C	-12.5°C

2.5. Çelik Köprülerin Karşılaştırılması

"Çelik köprüler çeşitli formlarda tasarlanmış olabilir. Bunların birbirleriyle mukayese edildiğinde avantajlı veya dezavantajlı yönleri söz konusudur. Aşağıda bazı ana karakterli köprülerin mukayeseleri verilmiştir:

- **Kemer köprüler:**

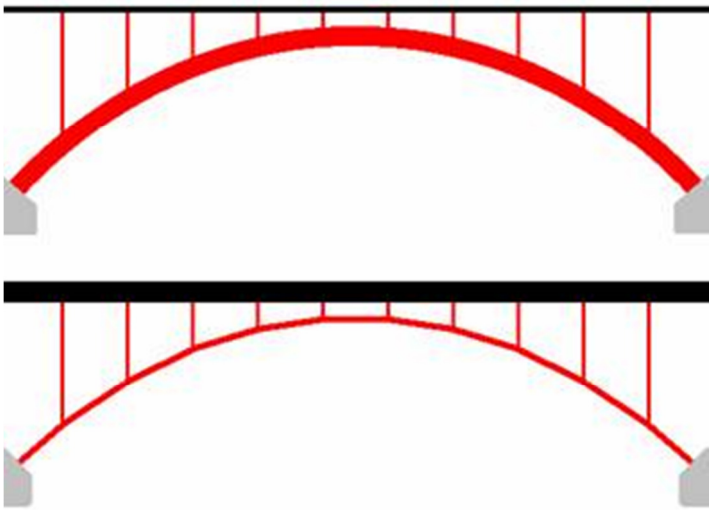
Kemer köprüler yalnız basınç etkisinde bulunur. Bu köprülerde hareketli yüklerin haricinde eğilmede çekme gibi bir durum bulunmaz. Bundan dolayı taşlarla, dökme çeliklerle (Şekil), veya beton gibi çekmeye dayanımı az olan malzemelerle inşa edilebilirler. Günümüzde tuğladan, ahşaptan, alüminyumdan ve dövme çelikten imal edilmiş kemer köprüler vardır. Kafes sistem esasına göre inşa edilmiş olan kemerlerin bazı elemanlarında çekme gerilmesi bulunabilir. Ancak ana elemanlarda daima basınç etkisi görülür. Bu ana elemanlar çapraz elemanlara göre daha kalın kesittedir. Rijit tabliyeli kemerlerde tabliye kemerden çok daha kalın inşa edilir. Çünkü kemerin sadece basınç zorlamasına tabi tutulabilmesi için tabliye eğilmede çekmeye ve burkulmaya

çalışır. Bu tür köprülerde yük kemere aktarıldığından tabliye kalınlığı aynı açıklık için gerekli olan tek açıklıklı basit bir kirişten çok daha incedir. Yani kemer de tabliye tarafından güçlendirildiğinden, basit kemerli bir köprü için gerekli olan kalınlıktan daha incedir. Bu özellikler ışığında denilebilir ki, kemerlerin açıklıkları kirişlerin açıklıklarından daha fazla olabilir. Kemer tabliyeli tasarlanan köprü Şekil 2.11'de dökme çelikten köprü Şekil 2.12'de görülmektedir.

Kemer köprülerin tasarımındaki eğriliğin nedeni, onun basınç etkilerine dayanımının sağlanmasıdır. Bu eğrisel kemerin tasarımının her bir noktasında tüm kuvvetlerin tam denge içinde olması esastır. Öyle ki, bu denge kemer eğrisini ne azaltacak ne de artıracak yönde olmaz. Kemer köprülerde eğrinin şekli, kemere gelen ağırlığın kemer üzerindeki dağılımı, kemerin açıklığı, yüksekliği ve mesnetlerin arasındaki yükseklik farkı ile ilişkilidir. Asma ve kemer köprüler zincir eğrisine yakın formlara sahiptir. Kemerlerin bu formları taşıt trafiği için uygun olmadığından dolayı genellikle üzerine oturtulan veya altına asılan düz bir tabliye ile birlikte kullanılırlar.

Kemer köprülerde ağırlık kuvvetleri iki özellik gösterir. Üzerine yük gelen bir kemerde kesitin bir tarafında bulunan kemerin zati ağırlığı ile diğer düşey kuvvetler kemeri aşağı doğru çekerken kesitte bulunan yalnızca basınç kuvveti kemeri alttan yukarıya doğru ittirir. Üzerinde yük bulunan kemerlerin çeşitli noktalarındaki düşey kuvvetler farklı olacağından, kesit içindeki kuvvetler aynı doğrultu üzerinde bulunamazlar (Şekil 2.11; 2.12). Bu yüzden aradaki açı farkı kemerin eğri olmasını gerektirir. Basit kirişte ise düşey yükler eğilme ve kayma gerilmelerinin birleşimi ile karşılanacağından kesit doğru eksenli olabilmektedir. Kemer köprülerin neden eğri olması gerektiği böyle açıklanabilir.

Bu tür köprülerde tüm kemer basınç altındadır. Bu basınç dayanaklara aktarılmakta ve zemin gerilmesi tarafından karşılanmaktadır. Kemerlerde çekmenin olmayışı basit kirişlere göre çok daha fazla açıklıkların aşılabileceği ve çekme dayanımı



Şekil 2.11 Tabliyeli ve kemerli köprü [29]

olmayışı basit kirişlere göre çok daha fazla açıklıkların aşılabileceği ve çekme dayanımı olmayan malzemeler ile inşa edilebileceği anlamına gelmektedir. Bir kemerin tamamının inşa edilip bitirilmeden kendi kendini taşıyıcı kabiliyette olmaması, kemer inşasının tamamlanma sürecinde bir kalıbın üzerinde kalması, ya da çıkma tasarımlı kemerlerin kabloyla asılmayı gerektirmesi kemer köprülerin dezavantajlarındandır. Büyük kemerlerde büyük itki kuvvetleri oluşur. Bu itki kuvvetlerinin önemli yanal kayma metdana getirmeden köprü dayanaklarınca taşınabilmesi için yatay bir bileşeni olur. Köprü altlarından bir yolun geçmesi durumunda, gereksinim duyulan temiz iç yüksekliğin sağlanabilmesi için kemerin yuvarlaklığının açıklığının daha fazla olması gerekmektedir(Şekil 2.12).

- **Kirişli köprüler:**

Bu tür köprülerin çalışma prensibi kemerlerden daha basittir. Burada zemine aktarılan bir kuvvet vardır fakat bu kuvvet yalnızca düşey doğrultudadır, yatay yönde bir birleşeni yoktur. Kirişli köprülerin bu kadar basit olmasına karşın, kemerli köprülerin yapılmasının nedeni, aynı yük ve açıklığa sahip kirişlerde çok daha büyük iç kuvvetlerin oluşmasıdır. Büyük kuvvetlerin sebebi kirişlerin eğilmeyi çalışmasındandır. Bir kirisin eğilmeye çalışabilmesi için kesitin üst bölgelerinde basınç, alt bölgelerinde ise çekme gerilmelerinin oluşması gerekir. Kiriş ortasından kesilip oluşan kuvvetler bakıldığında yüklerin kirişi aşağıya doğru ittiği ve mesnet etrafında döndürmeye çalıştığı görülür. Buna karşın kesitteki çekme ve basınç kuvvetleri bu etkilere karşı

koyacak yönde oluşurlar. Bu çekme ve basınç kuvvetlerinin büyüklüğü yükten çok kirişin yüksekliğinin açıklığa oranıyla ilişkilidir. Köprüyü oluşturan kirişlerin basit olarak tek başlarına çalışmalarındansa (Şekil 2.13) belirli bir şekilde birleştirilerek beraberce çalışmaları gerilmelerin daha düzenli olarak yayılmasını sağlar.



Şekil 2.12. Dökme çelikten yapılan kafes sistemli kemer köprü [29]



Şekil 2.13. Kirişli köprü [29]

Kirişler mesnetlerin üzerine, kiriş sehim yaptığında kolayca dönebilecek şekilde, basit olarak oturtulur. Fakat kirişler bir ya da iki uçlarından ankastre olarak ta bağlanabilirler. Şayet bir kiriş iki ve daha fazla mesnet üzerine oturuyorsa, birleşim yerleri eğilmede çekme moment dağılımlarını azaltabilecek şekilde düzenlenmesi mümkündür.

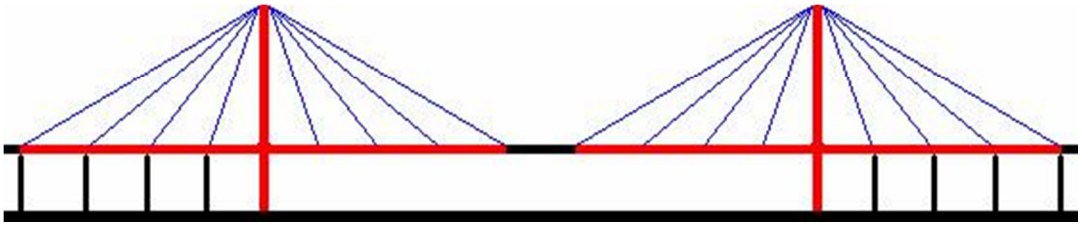
Kirişler mesnetlerin üzerine basit kayabilecek şekilde oturtulduğundan meydana gelebilecek ısıl genleşme ve zemin hareketlerinden kolay etkilenmez. Mesnetlerin basitçe, düşey yükler için tasarlanabilmesi mümkündür. Kirişler önceden prefabrikasyon olarak üretilip getirtilip vinçlerle yerlerine konulabilmeleri mümkün olduğundan iskele kurulmasına gereksinim duymazlar. Kiriş köprülerde dezavantajlara gelince; eğilmede çekme, basınç ve kayma gerilmelerine karşı zorlandığı görülür. Kirişlerde meydana gelen içsel kuvvetler, üzerine etkiyen yükten daha fazladır. Bu

sebeple kirişler genelde dolu gövdeli ve ağır olurlar. Açıklıkları fazla olan kirişlerde ancak kafes sistem kiriş düzenlemeleriyle ağırlıkların azaltılması mümkündür.

- **Kablo gergili köprüler:**

Kablo gergili köprüler çıkma köprüler ile bağlantılıdır. Burada kablolar çekme gerilmesine tabliye ise basınç gerilmesine maruz kalır. Açıklıklar orta noktada birleşene kadar asma olarak yapılabilir. Kablo gergili köprüler ile çıkma köprüler arasındaki en büyük fark tabliyelerin asılı olarak durmasıdır.

Kablo gergili köprülerin, kafes çıkma köprülerdeki gibi çok büyük rijitliğe sahip değildir ancak sürekli kiriş düzenleri bu eksikliği bir ölçüde azaltmaktadır. Bununla birlikte büyük ve uzun bir gergili köprünün inşası sırsında iki uç kirişleri ortada birlesene kadar olası salınımlar büyük sorunlar oluşturmaktadır. Gergi kabloları yüksek mukavemetli çeliklerden yapılmaktadır. Birkaç örnekte de bu gergiler beton kılıf ile sarılmıştır. Kuleler ise genellikle betonarme yapılmakta bazen de çelik olmaktadır. Kablo gergili köprülere ilişkin örnek Şekil 2.14 ve 2.15'te verilmiştir.



Şekil 2.14. Kablo gergili köprü [29]

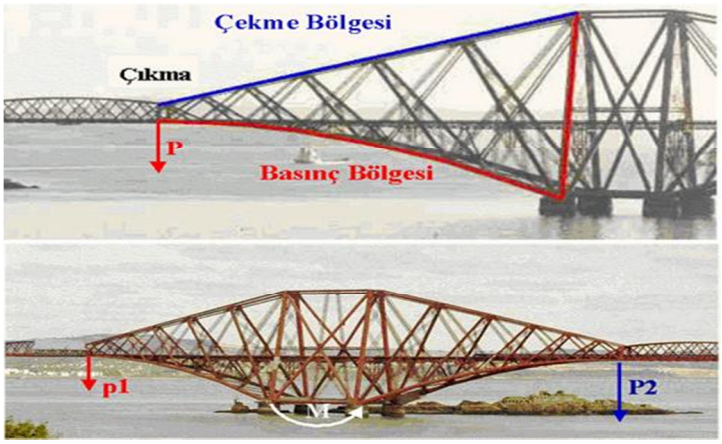


Şekil 2.15. Kablo gergili köprü [29]

Bir köprüde iki yarı uç kısımlardan dışarı doğru çıkma yapabilir. Kuvvetli yatay kuvvetleri dengeleyebilmek için ankrajlamalara gerek bulunmamaktadır. Çünkü köprünün tabliye kısmı basınca çalıştırılarak bu kuvvetleri kendi içinde dengeleyebilmektedir. Belli bir açıklığa kadar asma köprülere göre imalat maliyeti daha düşük olur. Köprü simetrik olarak ta tasarlanabilir. Kablo gergili köprülerin inşa sürecinde fazla açıklıklı çıkmaların, rüzgârın yaratacağı salınımlara son derece hassas olması, kabloların korozyona ve diğer dış etmenlere karşı korunması gerektiği dezavantajlar olarak görülebilir.

- **Çıkma köprüler:**

Kirişli ve kemer köprülerde mesnetleme genellikle kirişin iki ucundan olmaktadır. Çıkma köprülerde ise mesnetleme iki uçtan değil ortadan yapılmaktadır. Kirişlerdeki çıkmaları bir insanın kollarını iki yana açarak bir ağırlığı kaldırması gibi düşünülebilir. Bu yükün kaldırılmasında dengeleme sağlanabilmesi için kaldırılan yükün her iki kolda da eşit ya da birbirlerine yakın olması önemlidir. Kolların üzerinde oluşan kesme kuvvetleri ile moment değerleri değişken olur. Şekil 2.16'da iki tür çıkma

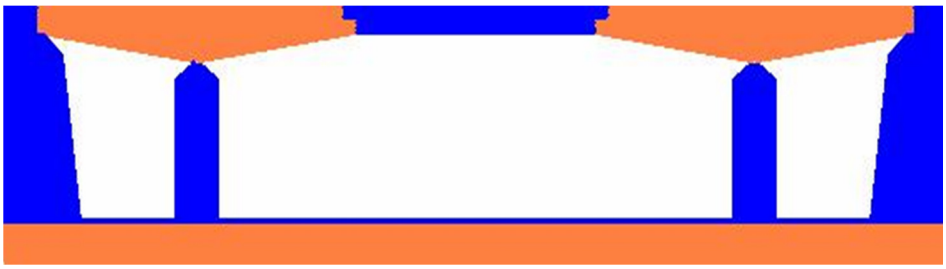


Şekil 2.16. Çıkmalı köprü: Forth köprüsü [29]

görülmektedir. Birinci durumda koldaki dengelemeyi sağlayan kuvvet duvardan gelmekte olan moment tarafından karşılanmaktadır. İkinci durumda ise sağ taraftaki kuvveti dengelemek için sol kolda daha fazla kuvvet gerekmekte fakat mesnette moment oluşmamaktadır. Şekil 2.16'da görülen Forth Köprüsü'nün her iki kolunda, uçlarından boş olduğu için, dengenin sağlanması gözetilmiştir. Şayet iki kol arasında ağırlık farkı varsa o da mesnet kuvvetlerince karşılanması söz konusudur.

Çıkmalı köprülerin pek çoğunda iki istikamette çıkan kollara iki uçlardan asılı bir adet basit kiriş bulunur. Tek yönde çıkan ve yine bu çıkmaların ucuna oturan bir kiriş ile yapılan bir köprü örneği Şekil 2.17'de verilmiştir. Bu köprüler genellikle betonarmeden ön gerilmeli olarak üretilir. Ancak çeliklerle uzun açıklıklar geçilebilir.

Köprünün iki uçtan inşa edilebilme sürecinde alttan seyredecek trafik olumsuz etkilenmez. Çıkma kısımların uçlarına başkaca kiriş eklenebileceği için, basit kirişlerle geçebilecek açıklıklardan çok daha fazlasını geçebilmek mümkün olur. Kiriş kolların üzerine basit olarak oturduğundan ısıl genleşme ve zemin sarsıntılarından fazlaca etkilenmez. Mesnet dengelemelerinin diğer taraftan yapıldığı zaman sadece düşey



Şekil 2.17. Çıkmalı köprü [29]

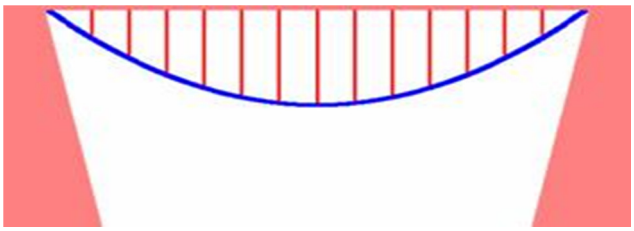
yükleri taşırlar. Çıkma olarak yapılan kollar kalın oldukları içindir ki fevkalade rijitlerdir. Çıkma köprülerde kesitlerin büyük çıkması dezavantajlar arasındadır. Bunun nedeni, kirişlerde boyutlandırma yapılırken kesitteki ters yönlü basınç ve eğilmede çekme kuvvetleri ile kayma gerilmelerinin dikkate alınmasıdır. Büyük açıklıkların geçilmesinde kafes sitem çözümlemelere yönelinmesi yapının ağırlığını azaltarak maliyeti aşağılara çekecektir.

- **Asma köprüler:**

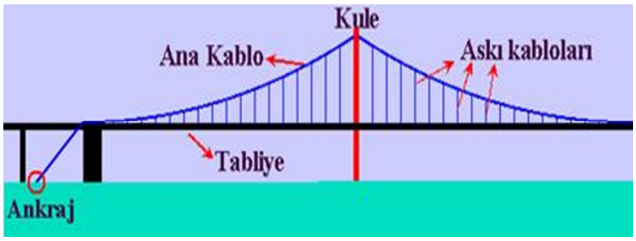
Asma köprülerde ayni açıklıktaki kemer köprülere nazaran taşıyıcının ince olması için kablo kullanılarak çekmeye çalıştırılır. Burada taşıt trafiğinin akması için bir de düz tabliyeye ihtiyaç duyulur. Şekil 2.18'de görüldüğü üzere, tabliyenin kabloların üstünde bulunması dengesiz bir durum yaratmaktadır. Bu düzen yalnızca kısa açıklıklar için tabliyenin oldukça rijit olduğu durumlarda kullanılabilir.

Şekil 2.19'da asma köprü elemanları görülmektedir. Burada ana kabloların yükü kuleler tarafından taşınmaktadır. Ankrajlar ana kablonun gergin kalabilmesi için kabloyu dışarıya ve aşağıya doğru çekerler. Tabliyelerdeki yükler askı kabloları marifetiyle ana kabloya aktarılır. Kulenin Ana kabloların oluşturacağı yatay yükleri

taşıyabilmek için kulelerin yeterli sağlamlıkta olması gerekir. Kulelere sabit olarak bağlanan kablolarda gerek yüklerin ve gerekse sıcaklık etkilerinden kaynaklanan bollaşma değişimlerine izin verecek çözümlemelere dikkat edilir.



Şekil 2.18. Ana kablosu tabliye altında olan asma köprü [29]

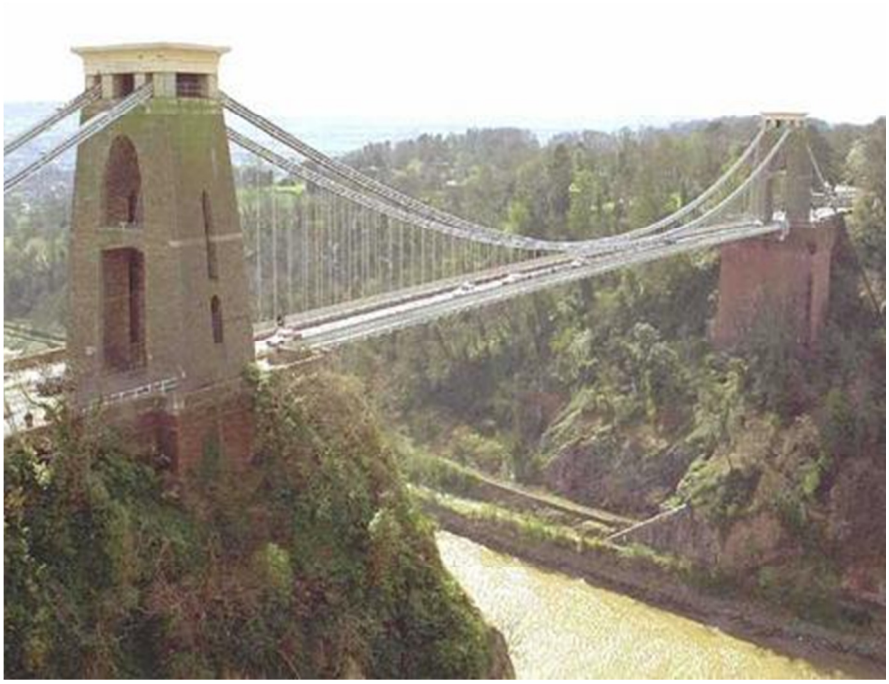


Şekil 2.19. Asma köprünün elemanları [29]

Kablolarda meydana gelebilecek fevkalade büyük gerilme kuvvetlerine dayanabilecek ankrajlama işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Çok sağlam kaya zeminlerde ankraj doğrudan zemine yapılır. Zayıf zeminlerde beton ağırlık şeklinde ankrajlama yoluna gidilebilir. İnşa sürecinde kablolardaki gerilmenin gereğinde ayarlanması gerekebilir. Bunun için gerekli mekanizmanın oluşturulması dikkatlerden uzak tutulmamalıdır.

Askılar tabliyelerden gelen yüklerin ana kablolara aktarılmasında önemli bir işleve sahiptir. Bu fonksiyonunun yerine getirirken çok fazla esnememesi gerekir. Ayrıca titreşimlere, korozyona ve rüzgarın getireceği tozların yaratabileceği aşınma etkilerine karşı da mukavemetli olmalıdır. Tabliye platformları trafik şeridi yüklerinden kaynaklanan eğilmeyle burulma momentlerine karşı koyacak kadar sağlamlık aranırken mümkün olduğunca da hafif olması istenir. Bu demektir ki, tabliyelerin her yönden gelebilecek anlık ve sabit rüzgar etkilerine emniyetle dayanabilmesi aranır. Köprüde

salınımlarının arzu edilen değerlerde tutulabilmesi için belirli bir rijitlikte olması gereklidir. Askı kablolarında salınımı sönümlemek için çeşitli ağırlıkların bağlanması yoluna gidilebilir. Kulelerin inşası çelik veya betonarme ile olabilir. Clifton Köprüsü'nde (Şekil 2.20) görüldüğü gibi, eski yapılarda kule için taş malzemesi de kullanılmıştır. Tabliyeler genelde çelik kafes sistem ya da rüzgarın etkisini azaltabilmek için aerodinamik biçimli kutu kesitli olabilir.



Şekil 2.20. Kuleler arası asma köprü örneği: Clifton köprüsü [29]

Asma köprülerde ana taşıyıcı sistemi oluşturan kablo veya zincirler her zaman çekme altında olduğu için burkulma yapmayacağından rijitliği önemli değildir. Kabloların eğilmede çekme kuvvetini taşıyabilecek kadar bir kesite sahip olmaları yeterli olur. Kulelerin tasarımı daha kolaydır. Çünkü tamamen basınç altında bulunurlar. Büyük açıklıkları geçebilirler. Söz konusu köprülerin demiryolu gibi ağır taşıtlar için pek uygun olmaması, inşa aşamasında kabloları ve kulenin rüzgârdan oldukça fazla etkilenmesi, ankrajlarda kaldırma kuvvetinin yanında oldukça fazla yatay kuvvetin de meydana gelmesi, kuleler arasına kablo çekilmesinin uzun bir süreç gerektirmesi dezavantajlı yönüdür. Bu durumda rüzgârın oluşturacağı aerodinamik yüklerin ve yayaların oluşturacağı küçük ama periyodik yüklerin etkisinin araştırılması yapılmalıdır.

2.6. Köprülerin Projelendirilmesi

Köprüleri projelendirirken ve inşa ederken ilk iş, köprünün ne derece gerekli olduğunun tespit edilmesidir. Burada ekonomik ön planda tutulur. Daha sonra inşa edilecek alanın istimlak edilmesi gerekir. Bu adımla mühendislik çalışmaları başlar. Önce arazinin topografik haritası çıkarılır, ardından temele esas olmak üzere zemin sondajları yapılır. Ancak bundan sonra köprü tasarımına geçilebilir. Köprünün tipi; yerine, amacına, açıklığına, kullanılacak malzemeye ve çevre ile uyumuna bağlı olarak seçilir. Ekonomik olması yönünden, kiriş köprüler 6-300 m; kemer köprüler 60-300 m; kafes sistem köprüler 60-450 m; konsol köprüler 150-550 m ve asma köprüler 300-1500 m arasında tercih edilir. Köprünün tasarımında dış çevresel faktörlerin yapıya olan olası tesirlerinin iyice analizi yapılır. Dış yükler, köprü ağırlığı gibi statik yükler olabildiği gibi, trafik yükü gibi dinamik de olabilir. Dinamik yüklerin ağırlıklarından çok meydana getirebilecekleri sarsıntılar önemlidirler. Rüzgar yükünün büyük önemi vardır. Köprü ayaklarının inşası özellikle dikkat isteyen bir husustur. Ağır yükleri taşımalarının yanında akıntılara, dalgalara ve buz kütlesi hareketlerine karşı durmaları istenir. Köprü tasarımlarında bilgisayarlar artık daha etkin kullanılmaktadır. Bir köprünün çeşitli yükler altındaki davranışı, analizi artık bilgisayarlarla yapılabilmektedir. Modellemeleri ve simülasyonu yapılabilmektedir. Köprü temellerinin inşasında maliyet oldukça fazla olabilir. Su içinde temel inşasının zorluk derecesi oldukça fazladır. Temel inşasında uygulanan en eski yöntemlerden biri köprü ayağı kadar bir yerin önce kazıklarla çevrilmesi sonra içindeki suyun boşaltılmasıdır. Bir başka inşa yöntemi ise, altı açık bir kutunun temel zeminine indirilip, basınçlı hava ile suyun itilip, temelin yapılmasıdır. Bir köprünün ayağı, zemine çakılan kazık temeller üzerine de oturtulabilir. Köprü ayaklarının inşası bittikten sonra iş üst yapının yapılmasına gelir. Bu özellikle köprünün tipine bağlıdır. İskele yapılarak köprü iskele üzerine inşa edilir, sonra iskele kaldırılır. İskelenin yapılmasının mümkün olmadığı durumlarda ikinci bir yöntem de köprü parçalarının yüzdürülerek getirilip, daha sonra monte edilmeleridir. Özellikle konsol köprülerde, köprü adım adım inşa edilerek ilerler. Yeni kısımlar, eski kısımlara taşıttırılır. Kafes sistem köprülerde ise, köprü karada inşa edilir. Daha sonra diğer kıyıya sürülür. Asma köprülerde ise inşa, ayaklardan başlar ortaya doğru asma kabloya bağlı olarak ilerler [29].”

2.7. Köprülerde Yükler ve Analizi

2.7.1. Tasarım yüklerinde (F) yorulma faktörü

Yorulma detay gerilme kategorisine göre yorulma stresinin sınırlandırılması, yorulma çatlaklarının meydana gelmemesini sağlamakta ve dolayısıyla, kopma ve olasılıkla müteakiben felakete neden olacak arızanın meydana gelmesini engellemektedir. Yorulma yükü günlük ortalama tren yüklerinden alınmaktadır. İşveren tarafından net olarak tren yükünün verilmemesi durumunda, tren geçiş frekansı "Eurocode 1 – Actions on structures, Part 2: Traffic Loads on Bridges" standardından [30] alınmıştır. Metro tren yükü söz konusu standardın (Eurocode 1), Bölüm 4.4'te 193.6 T olarak belirtilmiştir. Tasarım kriteri olarak bu standarda en yakın tren kütlesi olarak 296T, frekans olarak ise 190 tren/gün alınmıştır. Tren işleme saatlerinin sabah 6.00 ve gece 24.00 arasında ve yaklaşık 5-6 dakikada bir tren geçeceği farz edilerek güvenli tarafta kalınmıştır.

AASHTO-LRFD 3.6.1.4.2 standardı [30], tek bir trenin ortalama günlük trafiğine göre yorulma yükünün frekansını şöyle vermektedir (Tablo 2.1):

ADDTs = p*ADTT Burada ADTT = 190 tren/gün alınır.

Tek yüklü tren için p=1, çift yüklü tren için p=0.85

75 yıl dizayn ömrüne göre çevrim sayısı şöyledir:

N = 365*75*ADDTs. formülünden hareketle;

Bir yüklü tren için: N1 = 365*75*190 = 5.2e6 çevrim

İki yüklü tren için: N2 = 0.85*190*365*75 = 4.4e6 çevrim olarak bulunmaktadır.

Sınır değer: Light traffic mix with axles ≤22.5 t (225 kN)*

Tablo 2.1. Hafif trafik durumu [31]

Train Type	Nummer of train/day	Mass of train (t)	Traffic volume (10^6 t/year)
1	10	663	2.4
2	5	530	1.0
5	2	2160	1.4
9	190	296	20.5
	207		25.3

Yorulma ile kırılma arasında ilişki vardır. Yorulma-kırılma analizinde (fatigue – fracture analysis) tanım olarak kopma, bileşenin topyekün deformasyonu, işlev kaybı veya kullanılabilirliği veya komple ayrılmasına neden olan çekme kırılması veya bir çatlağın hızla genişlemesidir. Yorulma olayında; köprüde kopmalara neden olabilecek düzeyde çekme bileşenlerinin olması ve normal gerilmelerin tekrarlanan varyasyonları, çatlakların başlamasına ve yayılmasına neden olur.

Yorulma-kırılmada, AASHTO-LRFD kodundaki [1] yaklaşım, bir başka deyişle yüksek kopma dayanımına sahip çelik malzemesinin belirlenmesi ve yorulma gerilmesinin 8 farklı detay kategorisine göre sınırlandırılması suretiyle kopmanın önlenmesi şeklinde olduğudur. Belirtilen ve mekanik olarak test eden çeliğin sıcaklığı ne kadar düşük olursa, beklenen hizmet sıcaklığında kopma olmaksızın dayanabileceği kritik çatlak boyutunun da o derecede yüksek olduğuna dikkat edilmelidir.

Kopma hususlarıyla ilgili mevcut standart (AASHTO) tasarım yaklaşımı şu şekildedir:

a) Kopmaya karşı dayanıklı uygun çelik malzemenin AASHTO M270/ASTM A709M) [4] standardından seçimi,

b) Zorunlu charpy V-çentikli deneyinin yapılması,

c) Kopma açısından kritik zonların (tüm FCM'ler) yorulma analizi/tasarımı.

Kopma değerleri söz konu olduğundan, yukarıdaki (b) bendine ek olarak, kod ayrıca tüm FCM'lerin AASHTO-LRFD kodu Madde 6.6.2 [1] uyarınca daha katı imalat gerekliliklerine tabi tutulmasını gerektirmektedir. Uygulamalarda hizmet sıcaklıkları daima göz önünde bulundurulmalıdır. Buna ilişkin değerler Tablo 2.2'de verilmiştir. Yorulma kırılma analizleri Tablo 2.3 ile 2.9 arasında verilmiştir.

Tablo 2.2. Köprüde hizmet sıcaklıkları

Minimum Hizmet Sıcaklığı	Sıcaklık Zonu
-18°C ve üstü	1
-19°C ila -34°C	2
-35°C ila -51°C	3

Tablo 2.3. Yorulma, kırılma analizi [1]

AASHTO Tanımı	M270M Sınıfı 250	M 270M Sınıfı 345	M270M Sınıfı 345S	M 270M Sınıfı 345W	M270M Sınıfı HPS 345W	M270M Sınıfı HPS 4X5W
Eşdeğer ASTM Tanımı	A 709M Sınıfı 250	A 709M Sınıfı 345	A 709M Sınıfı 345S	A 709 M Sınıfı 345W	A 709M Sınıfı HPS 345W	A 709M Sınıfı HPS 4K5W
Sacların kalınlığı, mm.	100'e kadar, 100 dahil	100'e kadar, 100 dahil	Geçerli değil	100'e kadar, 100 dahil	100'e kadar, 100 dahil	100'e kadar, 100 dahil
Şekiller	Tüm Gruplar	Tüm Gruplar	Tüm Gruplar	Tüm Gruplar	Geçerli değil	Geçerli değil
Minimum Çekme Dayanımı, F_u, MPa	400	450	450	485	485	585
Belirtilen Minimum Akma Sınırı veya Belirtilen Minimum Akma Dayanımı Fy, MPa	250	345	345	345	345	485

Tablo 2.4. Yorulma, kırılma analizi

KAYNAKLI VEYA MEKANİK SABİTLEME	SINIF (Y.P./Y.S.)	KALINLIK § (mm)	KOPMA AÇISINDAN KRİTİK				KOPMA AÇISINDAN KRİTİK DEĞİL		
			MİN. TEST DEĞERİ ENERJİSİ (Joule)	ZON 1 (°C'de sıcaklık)	ZON 2 (°C'de sıcaklık)	ZON 3 (°C'de sıcaklık)	ZON 1 (°C'de sıcaklık)	ZON 2 (°C'de sıcaklık)	ZON 3 (°C'de sıcaklık)
KAYNAKLI	250	t≤100	27	34@21	34@4	34 @ 12	20@21	20@4	20@-12
	345/345S/345W	t≤50	27	34@21	34@4	34@—12	20@21	20<t 4	20@-12
		50<t≤100	33	41@21	41@4	41@12	27@21	27@4	27@-12
	HPS 345 W	t≤100	33	41@-12	41@-12	41@—12	27@-12	27@-12	27@-12
	HPS 485 W	t≤100	38	48@-23	48@-23	48@—23	34@-23	34@-23	34@-23
	690/890 W	t≤65	33	45@1	45@18	48@34	34@-1	34@-18	34@34
		65<t<100	49	68@-1	68@-18	Tanımlanmamış	48@-1	48<t -18	48@-34

Tablo 2.5. Yorulma, kırılma analizi

SINIF	MADDE	KAZIKLAR	KAZIK BAŞLIKLARI	KAZIKLAR/PİLONLAR	ANA TABLİYE	YAYA YOLU	SB EXTRADOS
MALZEME TİPİ	TASARIM SPESİFİKASYONU	M270(A709)	M270W(A709)	M270W(A709)	M270W(A709)	M270W(A709)	M270W(A709)
	TEDARİK VE İMALAT	S355J0	M270W(A709)	M270W(A709)	M270W(A709)	M270W(A709)	M270W(A709)
	TEDARİK NUMUNESİ	pl 20-40mm					

DAYANIM (MPa)	TASARIM SPESİFİKASYONU						
	AKMA	345	345	345	345	345	485
	ÇEKME	450	485	485	485	485	585
	YÜKLENİCİ TARAFINDAN TEDARİK EDİLEN MALZEMELERDE TEST VE İNCELEME BELGELERİ						
	AKMA	>345, ort. 430	> 345, ort. 390				>485,ort: 530
	ÇEKME	>450, ort. 570	> 450, ort. 550				>585, ort.640
	KONTROL						
	AKMA	TAMAM					
	ÇEKME	TAMAM					

Darbe (V-çentik)	TASARIM SPESİFİKASYONU						
	JOULES @ °C	34 @ 4 (Z2)	41 @ 4 (Z2)	41 @ 4 (Z2)	34 @ 4 (Z2)	34 @ 4 (Z2)	48 @ -23(Z2)
	YÜKLENİCİ TARAFINDAN TEDARİK EDİLEN MALZEMELERDE TEST VE İNCELEME BELGELERİ						
	JOULES @ °C	>34,ort. 180 @ 4	80 to 100 @ -18°C				
	KONTROL	TAMAM	TAMAM	TAMAM	TAMAM	TAMAM	TAMAM

Yorulma dayanımı gerekliliklerinin yerine getirilmesi için (AWS Kısım 12) (Bölüm 6.6.1) şunları ön görmektedir:

- Çekme ve/veya gerilme geri dönmesinde etkili gerilme döngüleri için canlı yük aralığı dikkate alınmalı,
- Net çekmeli bileşenler/elemanlar için yorulma tasarımı yapılmalı,
- Kalıcı basma gerilmesi (etkensiz) < net çekme gerilmesi olmalı,
- Yorulma kontrolü konusunda 8 sınıf/grup (Tablo 6.6.1.2.5) dikkate alınmalı,
- Kalıcı gerilme dikkate alınmamalıdır (Bölüm 6.6.1.2.1).

Tablo 2.6. Yük kombinasyonları [1]

Yük kombinasyonları:

Yük Kombinasyonu Limit durumu	DL SDL	LL WK LF NF	WP	ws	WL	TU CR/SH	TG	SE	EQ	RU	SI	SN
Dayanım I	γ_p	1.75	1.00	-	-	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
Dayanım II	γ_p	1.35	1.00	-	-	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
Dayanım III	γ_p	-	1.00	1.40	-	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
Dayanım IV	γ_p/1.50	-	1.00	-	-	0.50/1.20	-	-	-	-	-	-
Dayanım V	γ_p	1.35	1.00	0.40	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
Aşırı durum I	γ_p	γ_{EQ}	1.00	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-
Aşırı durum II	γ_p	0.50	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00
Hizmet I	1.00	1.00	1.00	0.30	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
Hizmet II	1.00	1.30	1.00	-	-	1.00/1.20	-	-	-	-	-	-
Hizmet III	1.00	0.80	1.00	-	-	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
Hizmet IV	1.00	-	1.00	0.70	-	1.00/1.20	-	1.00	-	-	-	-
Yorulma	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Kaynak detayı için uygulanan toplam gerilme seviyesi önemli değildir. Kalıcı gerilme dolaylı olarak gerilme aralığı yorulma tasarımına dahil edilmiştir.

Canlı yük "L" aynı zamanda, dolaylı olarak araç yükü ve yaya yükünün kritik etkisini içermektedir. Yorulma tasarımı kombinasyonlarında komple yaya köprüsü boyunca 2,5 kPA yaya yükü dikkate alınmaktadır. Yorulma elemanı/bileşen kapasitesine gelince; A2-1: Öngörülen 75 yıllık tasarım ömrü için döngü sayısıdır. Bu kod, tek şeridin ortalama günlük trafik kamyon canlı yükünü dikkate almaktadır. Bu uygulamada, canlı yük bir tren yüküdür. Trenin sabah 6:00 ile gece 12:00 arasında işletimi varsayıldığında, temkinli bir hesaplama ile tren geçiş sıklığı yaklaşık olarak 3 dakikadır.

Bir tren yükünün ortalama günlük trafiği ise; ADTT = 18*60/3 = 360 tren/gündür. AASHTO-LRFD 3.6.1.4.2'den [1], yorulma yükünün sıklığı tek bir trenin ortalama günlük trafik döngü sayısı (N) üzerinden 75 yıllık döngü sayısı şöyle hesaplanır:

ADDTs = p*ADTT burada,

Tek yüklü tren için p=1, iki yüklü tren için p=0.85 alınmaktadır.

Öngörülen 75 yıllık tasarım ömrü için, N = 365*75*ADDTs bulunur. Dolayısıyla,

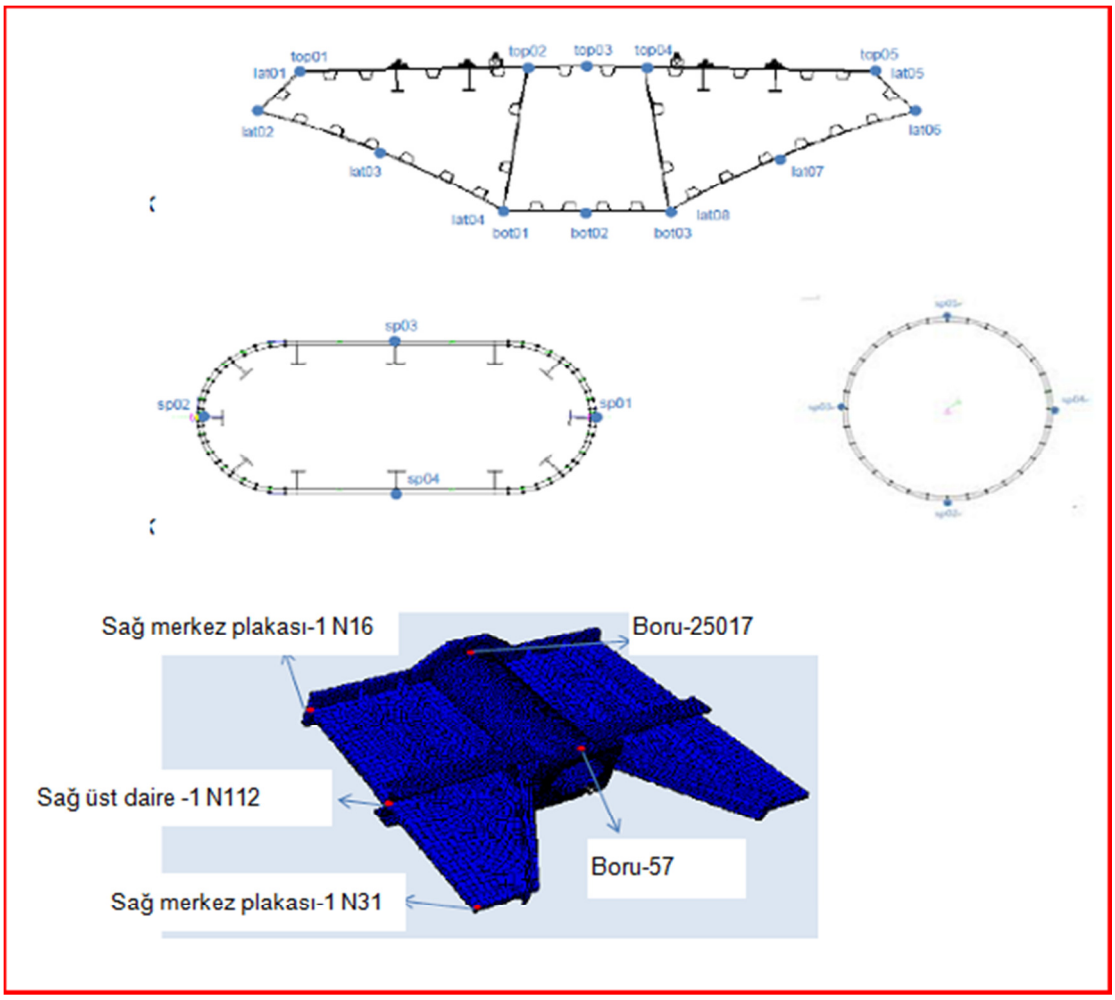
Bir yüklü tren için N1=1.00*360*365*75=9.86e6 döngü

İki yüklü tren için N2= 0.85*360*365*75= 8.38e6 döngü olur.

Tablo 2.7. Yorulma kapasitesi [1]

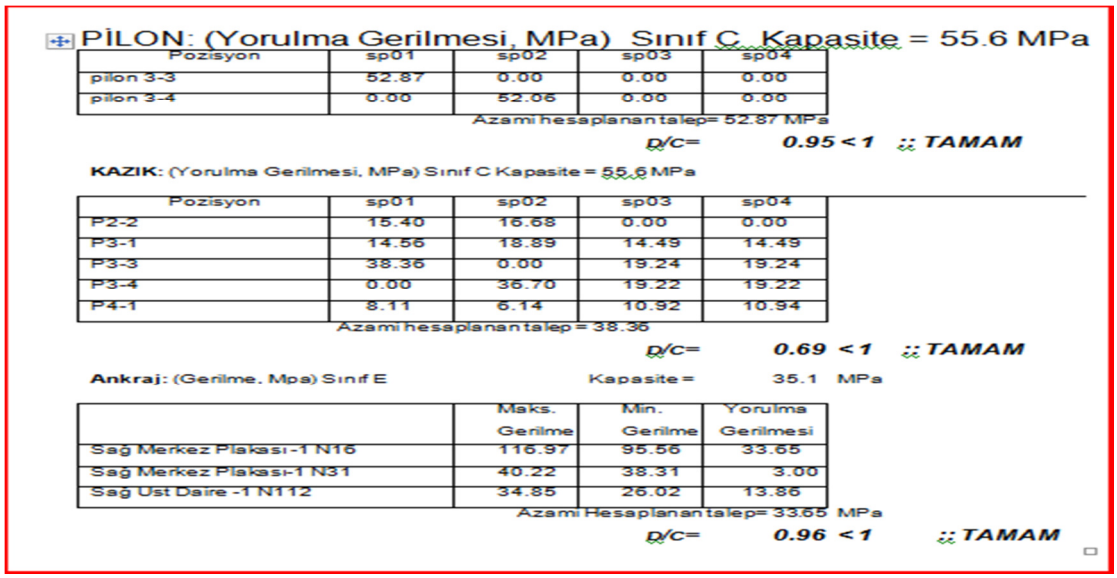
Yorulma Kapasitesi, C (mPa)

Kategori	$(A/N1)^{1/3}$	$(A/N2)^{1/3}$	$1/2\Delta_{FH}$	1 tren+pl	2 tren+pl
A	94.039933	99.27882	82.5	94.0	99.3
B	73.593345	77.69317	55.0	73.6	77.7
B'	58.755838	62.02908	41.4	58.8	62.0
C	52.661739	55.59548	34.5	52.7	55.6
C'	52.661739	55.59548	41.4	52.7	55.6
D	41.816991	44.14658	24.2	41.8	44.1
E	33.205505	35.05536	15.5	33.2	35.1
E'	23.502335	24.81163	9.0	23.5	24.8



Şekil 2.21. Yorulma elemanı bileşenleri [1]

Tablo 2.8. Pilon, kazık ve ankrajlarda yorulma gerilmesi [1]



PİLON: (Yorulma Gerilmesi, MPa) Sınıf C, Kapasite = 55.6 MPa

Pozisyon	sp01	sp02	sp03	sp04
pilon 3-3	52.87	0.00	0.00	0.00
pilon 3-4	0.00	52.06	0.00	0.00

Azami hesaplanan talep= 52.87 MPa

D/C= 0.95 < 1 :: TAMAM

KAZIK: (Yorulma Gerilmesi, MPa) Sınıf C Kapasite = 55.6 MPa

Pozisyon	sp01	sp02	sp03	sp04
P2-2	15.40	16.68	0.00	0.00
P3-1	14.56	18.89	14.49	14.49
P3-3	38.36	0.00	19.24	19.24
P3-4	0.00	36.70	19.22	19.22
P4-1	8.11	6.14	10.92	10.94

Azami hesaplanan talep = 38.36

D/C= 0.69 < 1 :: TAMAM

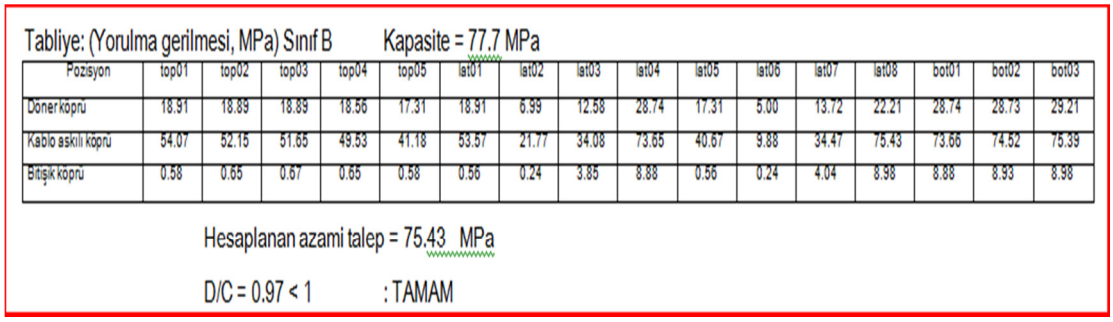
Ankraj: (Gerilme, Mpa) Sınıf E Kapasite = 35.1 MPa

	Maks. Gerilme	Min. Gerilme	Yorulma Gerilmesi
Sağ Merkez Plakası -1 N16	116.97	95.56	33.65
Sağ Merkez Plakası-1 N31	40.22	38.31	3.00
Sağ Ust Daire -1 N112	34.85	26.02	13.86

Azami Hesaplanan talep= 33.65 MPa

D/C= 0.96 < 1 :: TAMAM

Tablo 2.9. Tabliyede yorulma gerilmesi [1]



Tabliye: (Yorulma gerilmesi, MPa) Sınıf B Kapasite = 77.7 MPa

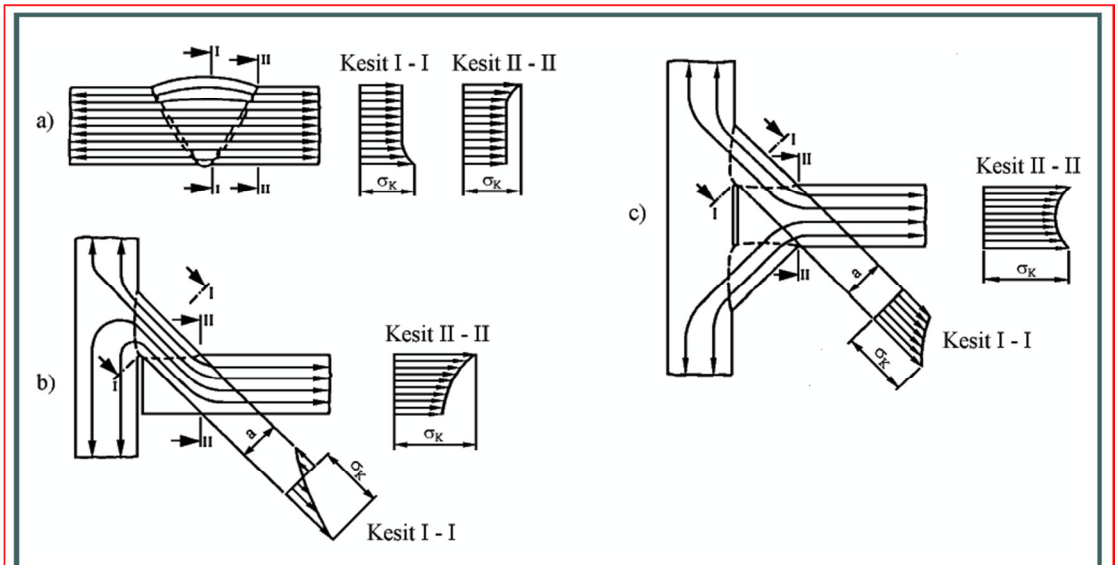
Pozisyon	top01	top02	top03	top04	top05	ist01	ist02	ist03	ist04	ist05	ist06	ist07	ist08	bot01	bot02	bot03
Döner köprü	18.91	18.89	18.89	18.56	17.31	18.91	6.99	12.58	28.74	17.31	5.00	13.72	22.21	28.74	28.73	29.21
Kablo askılı köprü	54.07	52.15	51.65	49.53	41.18	53.57	21.77	34.08	73.65	40.67	9.88	34.47	75.43	73.66	74.52	75.39
Bitişik köprü	0.58	0.65	0.67	0.65	0.58	0.56	0.24	3.85	8.88	0.56	0.24	4.04	8.98	8.88	8.93	8.98

Hesaplanan azami talep = 75.43 MPa

D/C = 0.97 < 1 : TAMAM

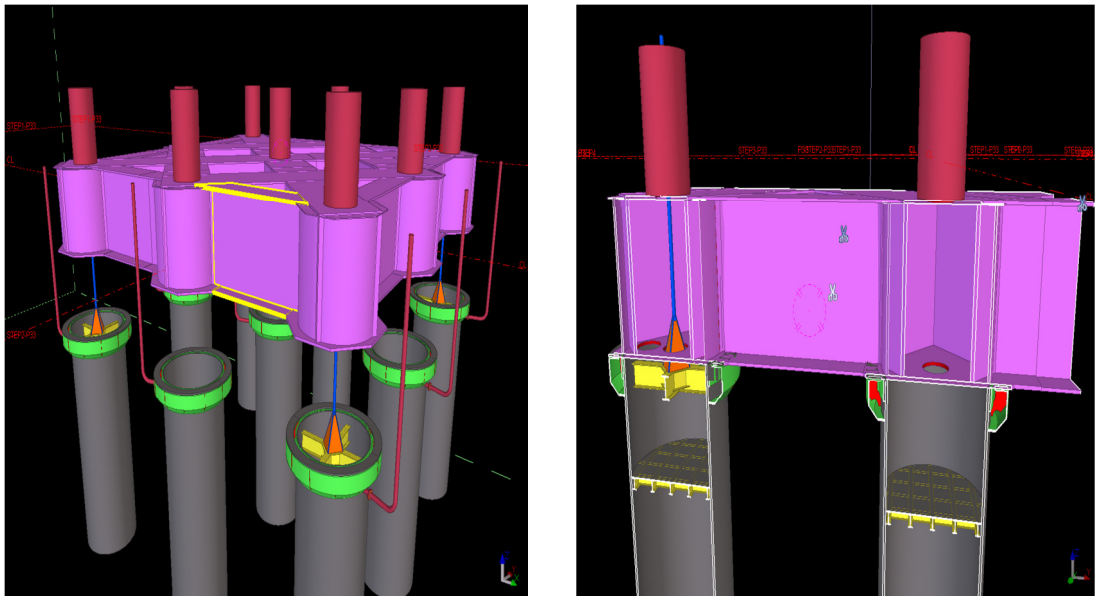
2.7.2. Kopma güvenliği

Kopma dayanımının sağlanması için tasarımda kullanılan önlem, charpy V-çentik (CVN) test şartının getirilmesidir. Dayanıklılık spesifikasyonunun amacı, önlenmesi mümkün olmayan imalat kusurları, yorulma çatlakları ve/veya beklenen yüklemeye rağmen gevrek kırılmaya karşı dayanımın sağlanmasıdır. İyi malzeme sertliği öngörülemeyen bir durum nedeniyle meydana gelen ve olasılıkla yorulma sonucunda büyüyen ve yayılan çatlakların, yapıda herhangi bir gerçek hasara neden olmadan önce rutin bakım incelemeleri sırasında disk kaplama ile giderilebilmesini sağlamaktadır. CVN spesifikasyonu gevrekten sünek kırılmaya geçişin hizmet sıcaklığının belli derecede altında olduğunu belirtmektedir (Şekil 2.24).

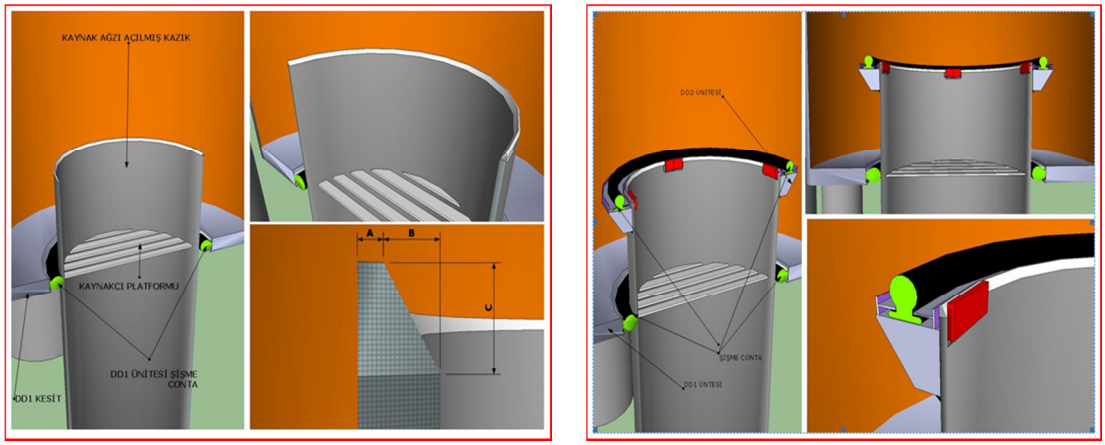


Şekil 2.22. Kaynaklı birleştirme şekline göre kuvvet akışı ve çeşitli kesitteki gerilme dağılımı [2]

a) Alın kaynak dikişi, b. Tek taraflı köşe dikişi, c. Çift taraflı köşe dikişi

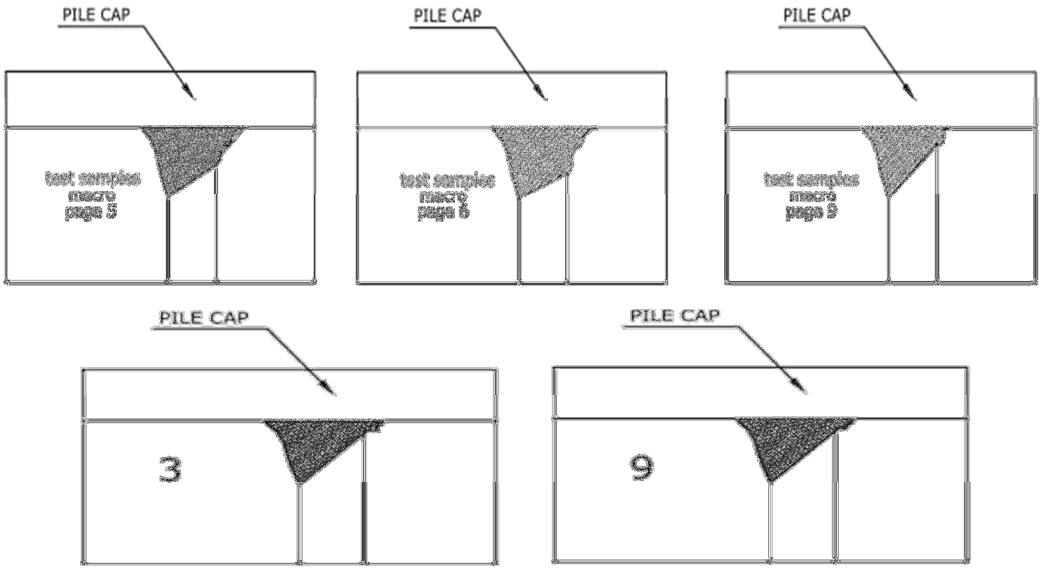


Şekil 2.23. Köprülerde kazık temel ve kazık başlığı ara birimi [2]

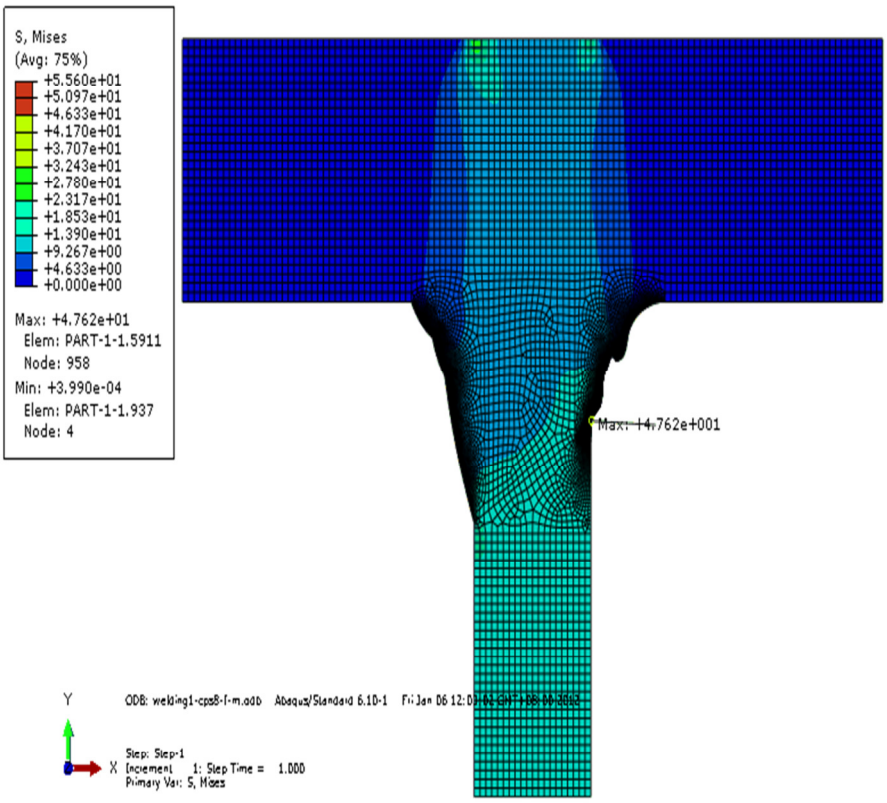


Şekil 2.24. Köprülerde kazık temelde gerilme dağılımı [2]

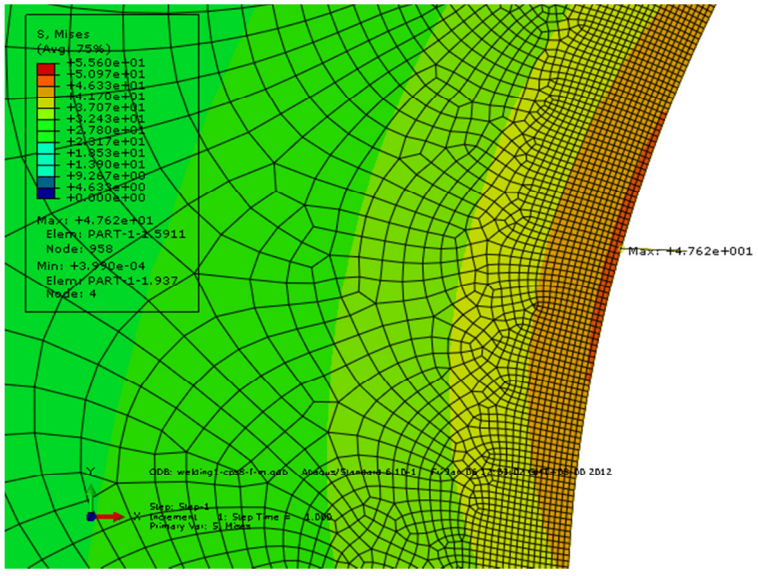
Sahada yapılacak kaynak işlemlerinde kullanılacak olan kaynak prosedürleri kaynakçının alan kısıtlamaları vb. hususlar açısından mümkün olduğu ölçüde fabrika şartlarına benzerlik sağlanan fabrika şartlarında kapsamlı şekilde test edilmiştir. Bu analizde, amaçları açısından 5 kaynak seçilmiş (Şekil 2.25) ve her birinden bir kesit alınarak (geometrik olarak olması gereken şekilde) bulgular Şekil 2.26; 2.27; 2.28; 2.29'da gösterilen şekilde hassas olarak kaydedilmiştir. Bu kaynak geometrisi, daha sonra 5 FEM modellerinin oluşturulmasında da kullanılmıştır.



Şekil 2.25 Kaynak kesit numunelerinin analizi

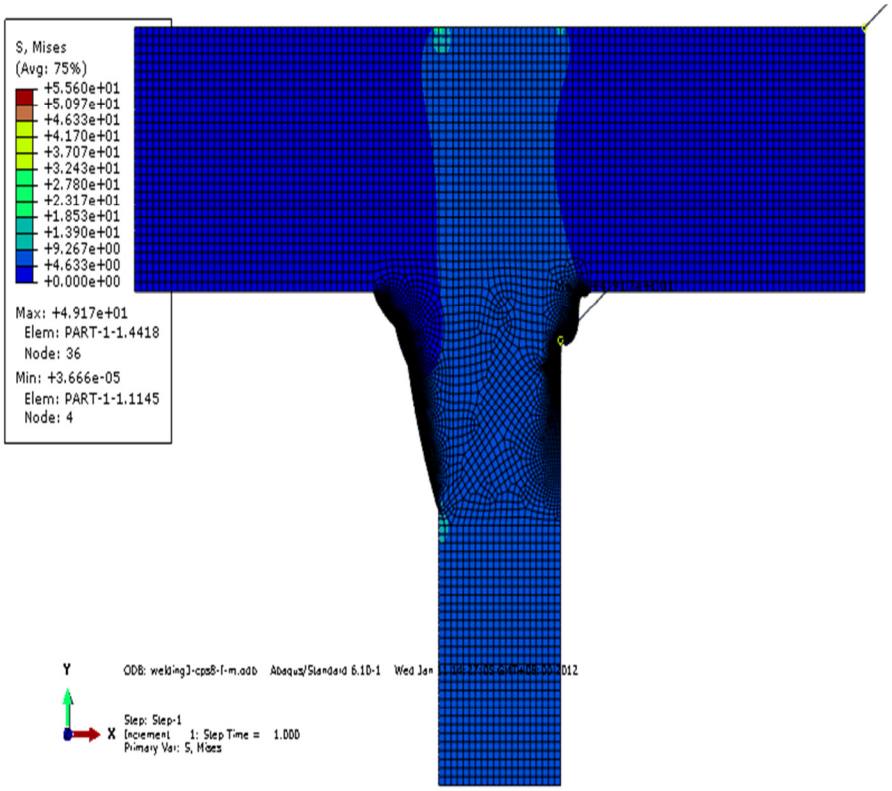


Şekil 2.26. Kaynak numunelerinin gerilme analizi [2]

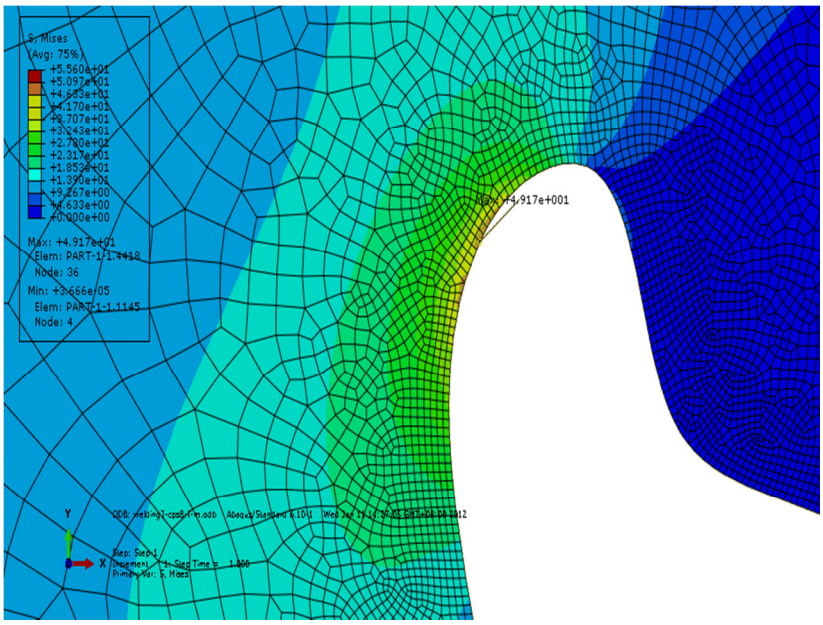


azami gerilme 47.6 MPa<55MPa

Şekil 2.27. Kaynak numunelerinin gerilme analizi [2]



Şekil 2.28. Kaynak numunelerinin gerilme analizi [2?]



azami gerilme 49.2 MPa<55MPa

Şekil 2.29. Kaynağın gerilme analizi

2.7.4. Kopma emniyeti

Kopma emniyeti, çeliğin kaynak ve imalat işlemleri sırasında da eşit şekilde önemlidir. AASHTO-LRFD kodu Bölüm 6.6.2 [1], gerilme açısından kritik elemanlar/bileşenlerin kopma emniyetinin sağlanması amacıyla malzeme ve işçilikte yüksek kalite seviyesini gerektirmektedir. Buna göre, FCM'ler, AASHTO/AWS D1.5 köprü kaynak kodunun 12. Bölümü [2], uyarınca imal edilmelidir. Kodun bu bölümünde, FCM'lerdeki kaynak çatlakları ve diğer çatlak benzer kusurların kontrol edilmesine yönelik atölye inceleme gerekliliklerinin yanı sıra daha katı ek imalat gereklilikleri ve prosedürleri üzerinde odaklanılmıştır.

2.8. Köprülerde Çelik Malzemenin Kullanılması

Çeliğin Almanya'da tanımlanması genellikle DIN, Japonya'da tanımlanması JIS, uluslararası tanımlanması ise ISO standartları ile yapılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri tarafından tanımlanan çelik standartları ASTM adıyla yayımlanmaktadır. Bu çelik tanımlamalarında ve standartlaştırılmasında imalatçıların, üreticilerin ve kullanıcıların konsensüsü sağlanmıştır. ASTM standartlarında yer alan boyutlara, toleranslara, limitlere ve sınırlamalara ait pek çok değerler AISI elle çelik üretim standart pratikleriyle benzerlik göstermektedir.

ASTM'nin tanımlamış olduğu pek çok husus Amerikan Makine Mühendisleri Topluluğu/odası (ASME) tarafından belirlenmiş veya küçük düzeltmelerle kabul edilmiştir. ASME genelde ASTM tanımlamalarını kullanırken tanımın önüne ASME SA 213 S yazım örneğinde görüleceği üzere S harfini getirir. Aslında ASME SA 213 S ve ASTM A 213 malzemeleri aynıdır. ASTM'nin çubuklar, teller ve dövmede kullanılan çelik çubuklar için belirlediği tanımlamalar (karbon kimyasal bileşimi ve çelik alaşımını içeriği) SAE/AISI adlandırmasında görebiliriz.

Euronorm (EN), Avrupa ülkelerinin sistemlerinin harmonize edilmesiyle oluşmuştur. Bununla birlikte Alman DIN, İngiliz BS, Fransız AFNOR ve İtalyan UNI çeliklerine ait pek çok kullanılmayan doküman, uluslararası belge bulunmaktadır [32]. Köprülerde kullanılacak malzeme özellikleri ve sınıflandırmalar, şartnameler, imalat – kaynak standart tanımlamaları ait olduğu ülkeye ait standartlarda değişiklik gösterebilmektedir. Aşağıda Avrupa (EN) ve Amerikan (ASTM) normlarına göre köprülerde kullanılan çelik malzemelere ait açıklamalar ve tanımlamalar bulunmaktadır.

Çelik malzemeler, yüksek sıcaklıkla akma, çekme dayanımları ile elastisite modulü gibi mekanik özelliklerinde önemli kayıplar meydana gelir. Bu azalmalar, 300 ˚C'yi aştığında artmaya başlar, 600 ˚C' ye ulaşınca mekanik dayanımlar ve rijitlik %50 oranında, 800 ˚C' de ise %80 oranındadır. Isı 1200 ˚C' ye ulaştığında tamamen kaybolmaktadır. BS EN 1992-1-2: 2004'te 400 ˚C akma sınırında bir dayanım düşmesi olmadığı kabul edilerek, 600 ˚C' de %53 oranında, 800 ˚C' de %89 ve 100 ˚C' de %96 mertebesinde akma dayanımı kayıpları belirtilmiştir kaynak 600 ˚C'lik sıcaklığa maruz kalmış S 220a ve S 420a çeliklerinde akma dayanımındaki düşüşler tamamen kalıcı olmamakta, elastisite modülü çelik soğuyunca eski değerlerini alabilmektedir [35].

2.9. Uluslararası Standartlara Göre Yapısal Çelik Tipleri

"Çelik tanımı" terimi genellikle birbiriyle değiştirilebilir malzemelerin standartlarıyla ilgili olup gerçekte özdeş anlamda değildir. Bu yüzden Alman çelik tanımlamaları genellikle DIN harfleriyle, Japon tanımlamaları JIS, uluslararası tanımlamalar ise ISO ile başlar.

Amerika Birleşik Devletleri tarafından tanımlanmış olan çelik standartları ASTM'de çelik tanımlamalarında çelikhanenin ve kullanıcılarının ortak fikirlerine, deneyimlerine ağırlıkça yer almıştır. ASTM tanımlamalarındaki boyutlar, toleranslar, limitler ve sınırlamalar gibi pek çok sebep AISI elle çelik üretim standart pratikleriyle benzerlik göstermektedir.

Euronorm (EN), Avrupa ülkelerinin sistemlerinin harmonize edilmesiyle oluşmuştur. Bununla birlikte Alman DIN, İngiliz BS, Fransız AFNOR ve İtalyan UNI çeliklerine ait pek çok doküman bulunmaktadır. Köprülerde kullanılacak malzeme özellikleri ve sınıflandırmalar, şartnameler, imalat – kaynak standart tanımlamaları ait olduğu ülkeye ait standartlarda değişiklik gösterebilmektedir. Aşağıda Avrupa (EN) ve Amerikan (ASTM) normlarına göre köprülerde kullanılan çelik malzemelere ait açıklamalar ve tanımlamalar bulunmaktadır.

2.9.1. Amerikan ASTM normlarına göre yapısal çelik tipleri

ASTM standartlarına göre yapısal çelik tipleri aşağıdaki standartlarla belirlenmiştir (Tablo 2.10).

Tablo 2.10 ASTM standartlarına göre yapısal çelik tipleri [36]

Numarası	Adı
A6 / A6M - 12a	Standard specification for general requirements for rolled structural steel bars, plates, shapes, and sheet piling
A36 / A36M - 08	Standard specification for carbon structural steel
A131 / A131M - 08	Standard specification for structural steel for ships
A242 / A242M - 04(2009)	Standard specification for high-strength low-alloy structural steel
A283 / A283M - 12	Standard specification for low and ıntermediate tensile strength carbon steel plates
A328 / A328M - 07(2012)	Standard specification for steel sheet piling
A514 / A514M - 05(2009)	Standard specification for high-yield-strength, quenched and tempered alloy steel plate, suitable for welding
A529 / A529M - 05(2009)	Standard specification for high-strength carbon-manganese steel of structural quality
A572 / A572M - 12	Standard specification for high-strength low-alloy columbium-vanadium structural steel
A573 / A573M - 05(2009)	Standard specification for structural carbon steel plates of ımproved toughness
A588 / A588M - 10	Standard specification for high-strength low-alloy Structural steel, up to 50 ksi [345 mpa] minimum yield point, with atmospheric corrosion resistance
A633 / A633M - 01(2011)	Standard specification for normalized high-strength low-alloy structural steel plates
A656 / A656M - 12	Standard specification for hot-rolled structural steel, high-strength low-alloy plate with ımproved formability
A673 / A673M - 07(2012)	Standard specification for sampling procedure for ımpact testing of structural steel
A690 / A690M - 07(2012)	Standard specification for high-strength low-alloy nickel,

	copper, phosphorus steel h-piles and sheet piling with atmospheric corrosion resistance for use in marine environments
A709 / A709M - 11	Standard specification for structural steel for bridges
A710 / A710M - 02(2007)	Standard specification for precipitation-strengthened low-carbon nickel-copper-chromium-molybdenum-columbium alloy structural steel plates
A769 / A769M - 05(2010)	Standard specification for carbon and high-strength electric resistance forge-welded steel structural shapes
A786 / A786M - 05(2009)	Standard specification for hot-rolled carbon, low-alloy, high-strength low-alloy, and alloy steel floor plates
A827 / A827M - 11	Standard specification for plates, carbon steel, for forging and similar applications
A829 / A829M - 11	Standard specification for alloy structural steel plates
A830 / A830M - 11	Standard specification for plates, carbon steel, structural quality, furnished to chemical composition requirements
A857 / A857M - 07	Standard specification for steel sheet piling, cold formed, light gage
A871 / A871M - 12	Standard specification for high-strength low-alloy structural steel plate with atmospheric corrosion resistance
A898 / A898M - 07(2012)	Standard specification for straight beam ultrasonic examination of rolled steel structural shapes
A913 / A913M - 11	Standard specification for high-strength low-alloy steel shapes of structural quality, produced by quenching and self-tempering process
A945 / A945M - 06(2011)	Standard specification for high-strength low-alloy structural steel plate with low carbon and restricted sulfur for ımproved weldability, formability, and toughness
A950 / A950M - 11	Standard specification for fusion-bonded epoxy-coated

	structural steel h-piles and sheet piling
A992 / A992M - 11	Standard specification for structural steel shapes
A1043 / A1043M - 05(2009)	Standard specification for structural steel with low yield to tensile ratio for use in buildings
A1066 / A1066M - 11	Standard specification for high-strength low-alloy structural steel plate produced by thermo-mechanical controlled process (TMCP)
A1077 / A1077M - 12	Standard specification for structural steel with ımproved yield strength at high temperature for use in buildings

- **ASTM A709 standardında bulunan çelik tipleri:**

Amerikan standartlarına göre, köprü imalatlarında standart olarak AWS D1.5:1.5M Köprü Kaynak Kodu (Bridge Welding Code) [2] kullanılmaktadır. Bu standarda göre; yapılacak köprüye ait şartname dokümanlarında, malzeme özelliklerinin ve sınıflandırmasının belirtilmesi zorunludur. Standartlara göre kaynak yapılacak ve planlar üzerinde tanımlanacak malzemelere ait özelliklerin, AASHTO M270M [M270] [3] ve ASTM A709M [A709]) [4] gereklilikleri karşılaması zorunludur. M270M [M270] çelik sınıfları esasen ASTM A709M [A709] çelik sınıfları ile aynıdır. Bu standardın koşulu minimum akma dayanımı 690MPa ve üzeri çeliklerin kullanılmaması ile ilgilidir [2]. ASTM A709M [A709] standardı su verilmiş ve temperlenmiş alaşımlı çelikleri kapsamaktadır. Tablo 1'de çeliğin sınıfına ilişkin değerler verilmiştir [4].

Tablo 2.11. Çeliğin akma dayanımı ve sınıfına ilişkin değerler

Grade US (SI)	Akma dayanımı, ksi (MPa)
36 (250)	36 (250)
50 (345)	50 (345)
50S (345S)	50 (345)
50W (345W)	50 (345)
HPS 50W (HPS 345W)	50 (345)
HPS 70W (HPS 485W)	70 (485)
HPS 100W (HPS 690W)	100 (690)

2.9.1.3. ASTM A709 50W (345W) çeliği

ASTM A709 standardı [4] 50W (345W) çeliğinin aşağıda belirtilen taşıması gereken mekanik, kimyasal özellikleri ile imalat şartlarına ait özel ve genel şartları vermektedir.

a. Mekanik özellikler:

Plaka Kalınlığı: 4 in.(100mm)'ye kadar

Akma Mukavemeti: min. 50 ksi (345MPa)

Çekme Mukavemeti: min.70 ksi (485MPa)

Minimum Uzama % : 50mm için %21, 200mm için %18

b. Kimyasal özellikler (Tip B için), % :

Karbon: 0.20 max	Nikel: 0.50 max
Mangan: 0.75–1.35	Krom: 0.40–0.70

2.9.1.4. Atmosferik korozyona dayanıklı çelikler

Atmosferik korozyona dayanım tanım olarak, kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak, diğer çeliklere oranla atmosferik korozyona daha fazla dayanımı olduğunu belirtmektedir. Bu durum atmosfer ile temas eden çeliğin yüzeyinde bir koruyucu tabakanın oluşmasından kaynaklanmaktadır.

Koruyucu katmanın korozyon geciktirici etkisi, içerisinde bulunan bazı elementlerden ve yoğunluklarından oluşur. Yüzeyi koruyan katman atmosfer etkisine maruz kaldıkça geliştiren ve sürekli oluşturulan bir özelliği bulunmaktadır. Diğer bir deyişle, koruyucu katmanın oluşması için çeliğin paslanmasına izin verilir [37].

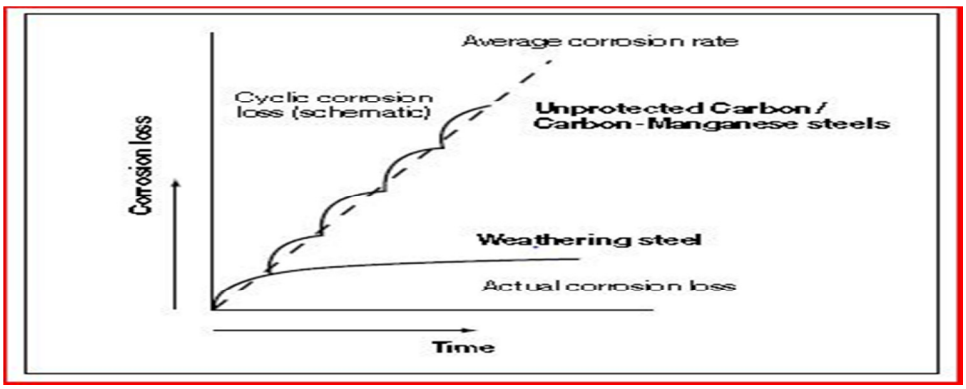
Bu çelikler, sıradan karbon mangan çelikleri ile karşılaştırıldığında atmosferik şartlarda korozyona karşı artırılmış dayanımı olan yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerdir. Nem ve havanın olduğu yerlerde, bütün düşük alaşımlı çelikler paslanmaya karşı bir eğilim gösterirler. Paslanma hızı ise oksijenin, nemin ve atmosferik kirletici maddelerin metal yüzeyine ulaşım kabiliyeti ile ilgilidir. Paslanma sürecinde, pas katmanın oksijenin, nemin ve diğer kirletici maddelerin girişine karşı bir bariyer oluşturarak, paslanma hızını düşürür.

Klasik yapısal çeliklerin çoğunda bu oluşan pas katmanı bir süre sonra kopar ve korozyon çevrimi tekrar başlar. Bu nedenle, paslanma oranı, çevre etkilerinin agresifliğine bağlı olarak düz bir çizgiye yakın bir şekilde artan eğriler serisidir.

Atmosferik korozyona bağlı çeliklerde de paslanma prosesi aynı şekilde gerçekleşir fakat çelik üretimindeki belirli alaşımlar neticesinde pas ana metale yapışarak daha stabil ve daha az porozif katman oluşturur. Bu pas katmanı alternatif ıslanma ve kuruma süresince gelişerek oksijen ve nemin girişini engelleyen koruyucu bir bariyer oluşturur. Azalan korozyon oranları şekil 1'de açık bir şekilde resimlenmiştir [38].

ASTM A709 standardı, G101 Kılavuzu – Düşük Alaşımlı Çeliklerin Atmosferik Korozyon Dayanımı Standardına göre ısıl analiz ile hesaplanan 50W (345W), HPS 50W (HPS 345W) ve HPS 70W (HPS 485W) sınıfındaki çeliklerin 6.0 veya daha fazla indeks değerine sahip olması gerekliliğini belirtmektedir [4].

ASTM G101 kılavuzunda [39] düşük alaşımlı atmosferik korozyona dayanımlı çeliklerin (weathering) atmosferik korozyon dayanımını hesaplamak amacıyla iki adet genel metot gösterilmektedir. Bunlar alternatif bir metot olmayıp, her biri özel bir amaç içindir. İlk metodun kullanım amacı, çeşitli şartlar altında beklenen uzun dönem korozyon kayıplarını tespit etmek amacıyla kullanılan bu sınıftaki düşük alaşımlı



Şekil 2.30. Atmosfere dayanıklı ve karbon çeliklerinin korozyon kayıplarının şematik gösterimi [38]

çeliklerin kısa dönem atmosferik korozyon bilgilerinden yola çıkarak yapılan lineer gerileme analizidir. İkinci metodun kullanım amacı ise, çeliğin kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak, düşük alaşımlı çeliğin belirli ısıda bağıl atmosferik korozyon dayanımını tahmin etmektir.

Larabee ve Coburn'un bilgilerine dayalı tahmin metodu — çeliğin kimyasal kompozisyonu temel alınarak, 15,5 yıl çeşitli atmosfer şartlarına maruz kalmış düşük alaşımlı çeliğin tahmini korozyon kayıplarına ait denklemler Legault ve Leckie

tarafından yayınlanmıştır. Genişletilmiş bilgilere dayalı denklemler ise Larabee ve Coburn tarafından yayınlanmıştır. Atmosferik korozyon indeksi (I) için denklem aşağıda verilmektedir. Daha yüksek değerdeki indeks, çeliğin daha yüksek korozyon dayanımını göstermektedir.

I= 5 26.01(~% Cu)+ 3.88(% Ni)+ 1.20(% Cr)+ 1.49 (% Si)+ 17.28(% P) - 7.29(% Cu)(% Ni) - 9.10 (% Ni)(% P)- 33.39 (% Cu)^2 [40].

2.9.1.3. Avrupa standartlarına göre yapısal çelik tipleri

EN 1993 – 2 Çelik Yapıların Tasarımı Bölüm 2: Çelik Köprüler standardı imalatlarda kullanılacak malzemeler için EN 1993-1-1 Binalar için Genel Kurallar ve Kurallar standardı Madde 3 Malzemeler kısmı geçerlidir. "EN 1993-1-1 Madde 3.1 Malzemeler – Genel" standardı bu kısımda verilen malzemelere ait nominal değerlerin tasarım hesaplarında kullanılan karakteristik değerler olmasını ön görmektedir [41] şu hususu belirtmektedir: Belirtilen çelikler inşa edilen yapıların tasarımına ilişkin bilgiler kaynak [42] standardında yer almaktadır. "TS EN 10025-1 Sıcak Haddelenmiş Yapı Çelikleri - Bölüm 1: Genel Teknik Teslim Şartları" standardı [43] yapılarda kullanılan borular ve içi boş profiller hariç, yapı çeliğinden sıcak haddelenmiş yassı ve uzun mamullerin özelliklerini ve genel teslim şartlarını kapsar. Bu kurallar standartlarına belirttiği fen ve teknik krallara aykırı olamaz.

Yapı çeliğinin temel özellikleri verilen [44a, b, c, ç, d] kaynak standartlarda verilmiştir. Bu standartların kapsamına giren çeliklerin kaynaklı, cıvatalı ve perçinli yapılarda kullanılması amaçlanmıştır. Bu standart, kaplanmış mamullere ve kaynaklar bölümünde listesi verilen standart veya taslak standartlara göre genel yapı uygulamalarında kullanılan çelik mamullere uygulanmaz [43].

2.9.1.4. EN 10025 standartlarında bulunan çelik tipleri

EN 10025 standartlarının içermekte olduğu olan yapı çelikleri tipleri ve mekanik değerleri Tablo 2.12'de verilmektedir:

Tablo 2.12. Sıcak haddelenmiş yapısal çelikler için nominal akma (fy) ve çekme (fu) mukavemet değerleri

Standart ve çelik sınıfı	Nominal thickness of the element t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	fy [N/mm2]	fu [N/mm2]	fy [N/mm2]	fu [N/mm2]
EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	315	470
S450	450	550	410	550
EN 10025-3				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	335	470
S420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S275 M/ML	275	370	255	360
S355 M/ML	355	470	335	450
S420 M/ML	420	520	390	500
S460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

EN 10025-2 S355J2 çeliği:

S355 cinsi çelik JR, J0, J2 ve K2 kalitelerinde teslim edilebilir. S450 cinsi çelik J0 kalitesinde teslim edilir. Çelik adlarının kısa yazımı aşağıdaki hususları kapsamalıdır:

– Çelik adı ve çelik numarası,

– Sembol S (yapı çelikleri için) veya sembol E (elektrik çelikleri için),

– 16 mm'ye eşit veya küçük kalınlıklar için MPa cinsinden ifade edilen belirtilmiş asgarî akma dayanımı,

– Mümkünse, belirtilmiş vurma enerji değerine göre kalitenin kısa gösterilişi,

– Mümkünse, özel uygulamalara elverişlilik için ilâve sembol C,

– Mamuller +N veya + AR durumunda sipariş ve teslim edildiğinde "+N veya +AR" göstergesi. "+N veya +AR" göstergesi ayrıca çelik numarasına da ilâve edilmelidir. Örnek: 0 °C'daki asgarî vurma enerji değeri (J0) 27 J, soğuk flanşlamaya uygun (C), normalleştirme haddelemesinden geçirilmiş (veya haddelendiği şekilde teslim edilen), ortam sıcaklığındaki belirtilmiş asgarî akma dayanımı 355 MPa2 olan yapı çeliği (S): TS EN 10025-2- S355J0C+N (veya +AR) veya TS EN 10025-2- 1.0554+N (veya +AR) S355 çeliği için parça analizi sonrası mekanik ve kimyasal özellikleri Tablo 2.13'te, diğer özellikleri (ortam sıcaklığındaki akma dayanımı ile kalınlık ilişkisi Tablo 2.14, çekme dayanımının kalınlıkla ilişkisi Tablo 2.15; kopmadan sonraki asgari uzama

değeri (%) Tablo 2.16, kopmadan sonraki asgari uzama (%) değeri Tablo 2.17'de) aşağıda verilmektedir:

Tablo 2.13. Parça analizi, kimyasal bileşimi [44a]

Kısa gösteriliş	Anma mamul kalınlığı (mm) için C (% en çok)			Si % En çok	Mn % En çok	P % En çok	S % En çok	N % En çok	Cu % En çok
EN 10027-1 ve CR 10260'a göre	≤16	> 16 ≤ 40	>40						
S355JR	0,27	0,27	0,27	0,60	1,70	0,045	0,045	0,014	0,60
S355J0	0,23	0,23	0,24	0,60	1,70	0,040	0,040	0,014	0,60
S355J2	0,23	0,23	0,24	0,60	1,70	0,035	0,035	-	0,60
S355K2	0,23	0,23	0,24	0,60	1,70	0,040	0,035	-	0,60

Tablo 2.14. Çeliğin ortam sıcaklığındaki akma dayanımı ile kalınlık ilişkisi [44a]

Kısa gösteriliş	Asgari akma dayanımı R_{eH} (MPa) Anma kalınlığı (mm)								
EN 10027-1 ve CR 10260'a göre	≤16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	> 250 ≤ 400
S355JR	355	345	335	335	315	295	285	275	-
S355J0	355	345	335	335	315	295	285	275	-
S355J2	355	345	335	335	315	295	285	275	265
S355K2	355	345	335	335	315	295	285	275	265

Tablo 2.15. Çeliğin çekme dayanımının kalınlıkla ilişkisi [44a]

Kısa gösteriliş	Çekme dayanımı R_m (MPa) Anma kalınlığı (mm)				
EN 10027-1 ve CR 10260'a göre	≤3	> 3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400
S355JR	360 - 510	470 - 630	450 - 600	450 - 600	-
S355J0	360 - 510	470 - 630	450 - 600	450 - 600	-
S355J2	360 - 510	470 - 630	450 - 600	450 - 600	450 – 600
S355K2	360 - 510	470 - 630	450 - 600	450 - 600	450 - 600

Tablo 2.16. Çeliğin kopmadan sonraki asgari uzama değeri (%) [44a]

Kısa gösteriliş	Kopmadan sonraki asgari uzama yüzdesi %					
EN 10027-1 ve CR 10260'a göre	≥ 3 ≤40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400
S355JR	22	21	20	18	17	-
S355J0						-
S355J2						17
S355K2	21	19	18	18	17	17

Tablo 2.17. Çeliğin asgari enerji emme değerinin kalınlıkla ilişkisi [44a]

Kısa gösteriliş	Sıcaklık ˚C	Asgari enerji (J) anma kalınlığı (mm)		
EN 10027-1 ve CR 10260'a göre		≤150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400
S355JR	20	27	27	-
S355J0	0	27	27	-
S355J2	-20	27	27	27
S355K2	-20	40	33	33

2.10.1. Çelik Köprülerde Kaynak Tipleri

Kaynak tipleri uygulandıkları birleşim bölgesinin uygulama şekline (Şekil 2.31; 2.32) göre tanımlanır. Aşağıda kaynak tipleri verilmiştir:



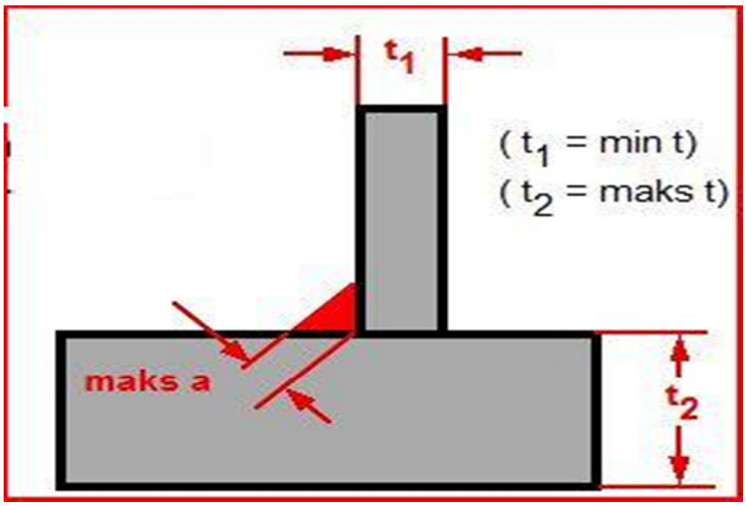
Şekil 2.31. Çelik birleşim yerinde kaynak uygulaması [45]



Şekil 2.32. Kaynak yapılabilen bölgeler [46]

- **Köşe kaynakları:**

Bindirme, T-birleşim veya köşe birleşim şeklinde birbirleriyle belirli bir açıda kesişen iki yüzeyin üçgen kesitli kaynağıdır [47]. Tipik bir köşe kaynağı bağlantısı Şekil 2.33'te gösterilmiştir [48].



Şekil 2.33. Köşe kaynağı

- **Metot köşe kaynakları:**

Kaynak sürekliliği kaynak yapılmayan bölgeler ile kesintiye uğramış kaynak tipidir [49]. Bu kaynak tipleri korozif ortamlarda kullanılmamalıdır. Tipik bir metot köşe kaynağı Şekil 2.34'te [50] gösterilmiştir**.**

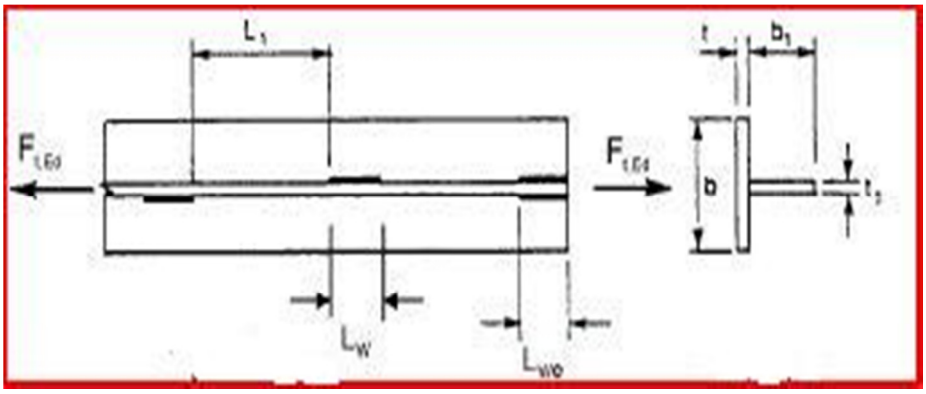
- **Bütün çevrede köşe kaynakları:**

Bütün çevredeki köşe kaynakları, dairesel veya kanal delikler çevresinde sadece kesme kuvvetlerini aktarmak veya burulmayı önlemek veya bindirilmiş parçaların ayrılmasını engellemek amacıyla kullanılır (Şekil 2.35). Dairesel deliğin çapı veya kanal deliğin genişliği, eğer köşe kaynağına tabii olacaksa, parça kalınlığının en az 4 katından az olmamalıdır [50].

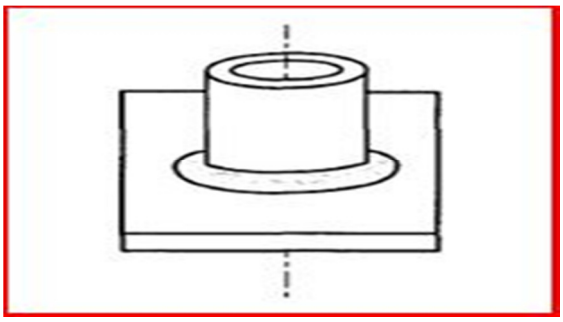
- **Bindirme şekli ile bağlantı kaynakları:**

İki elemanın paralel yüzeylerinin birbiri üzerine getirilmesi ile yapılan bağlantıya bindirme şekli ile bağlantı denir. Bu tip bağlantı üzerine köşe, delik ve kanal kaynakları uygulanabilir. Tipik bir bindirme bağlantısı Şekil 2.36'da gösterilmektedir [49]. Stres

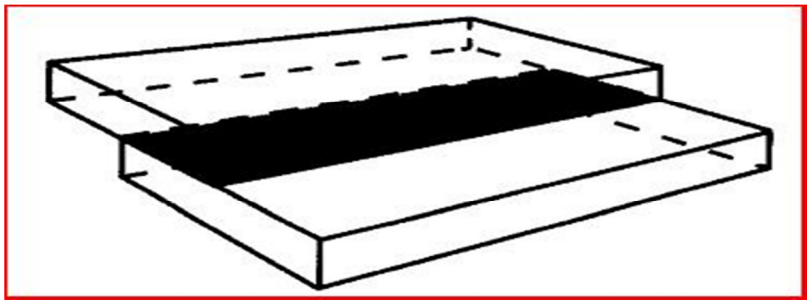
taşıyan elemanlardaki bindirme miktarı en ince parça kalınlığının en az 5 katı olmak zorundadır [2].



Şekil 2.34. Metot köşe kaynağı



Şekil 2.35. Bütün çevresel köşe kaynağı



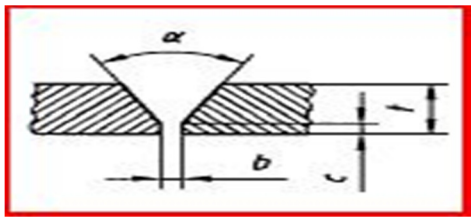
Şekil 2.36. Bindirme şekli ile bağlantı kaynağı

- **Alın kaynakları:**

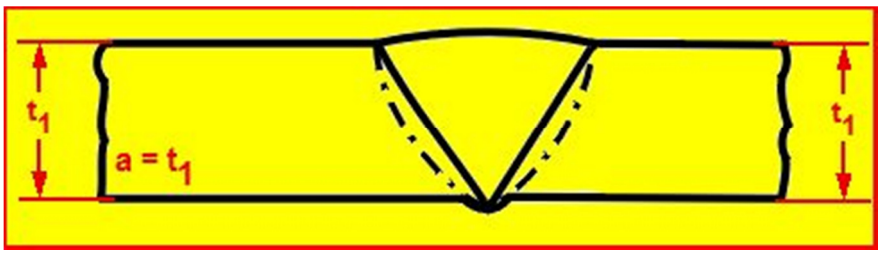
İki elemanın yaklaşık aynı düzlemde hizalanması ile hazırlanır. Alın kaynakları iki plakanın veya yüzeyin/profilin köşe köşeye veya uç uca getirilmesi ile dikiş veya bağlantı noktası oluşturularak kaynatılmasıdır. Kaynak ağzı şekli nedeniyle alın kaynağı terimi kullanılmaktadır [49]. Tipik bir alın kaynak hazırlığı Şekil 2.37'de gösterilmiştir [47]. Alın kaynaklarının da kendi aralarında uygulama farklılıkları vardır.

Tam nüfuziyetli alın kaynaklarının uygulanmasında karakteristikler vardır. Kaynak ağzı açılarak kaynak metalinin kaynak yapılacak parça kalınlığı kadar olması ile yapılan kaynak birleşimlerine tam nüfuziyetli kaynak adı verilir [49]. Tipik bir tam nüfuziyetli alın kaynağı Şekil 2.38'de gösterilmiştir [47].

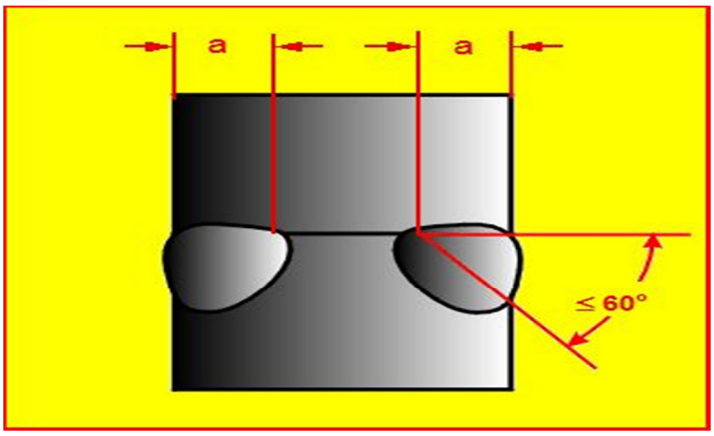
Kısmî nüfuziyetli alın kaynaklarına gelince; a. Bir çelik altlık kullanmaksızın yapılan kaynaklar; b. tek taraftan yapılan kaynaklara veya arka taraftan temizleme yöntemi kullanmaksızın yapılan çift taraflı kaynaklar, standartların istemiş olduğu testler ile doğrulama yapılamadıysa, kısmi nüfuziyetli kaynak olarak tanımlanmaktadır [2]. Tipik bir kısmî nüfuziyetli alın kaynağı Şekil 2.39'da gösterilmiştir. Bir alın kaynağında nüfuziyet tam olarak sağlanmadığı kaynak birleşim tipidir [49]. Bu kaynaklar, kaynak birleşim alanından tam nüfuziyetli alın kaynaklarının gösterdiği eşit gerilme dağılımını sergilemezler [47].



Şekil 2.37. Alın kaynağı



Şekil 2.38. Tam nüfuziyetli alın kaynağı



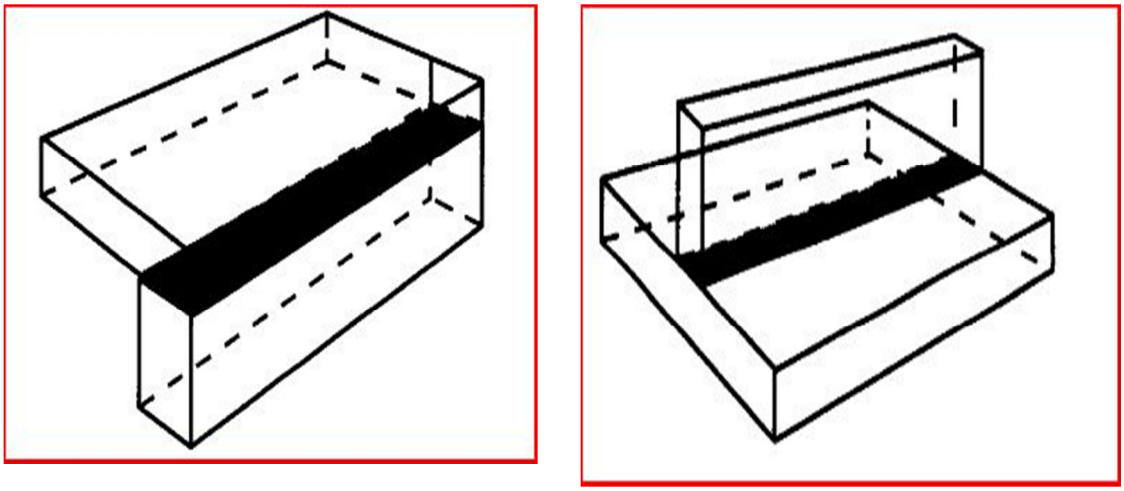
Şekil 2.39. Kısmî nüfuziyetli alın kaynağı

- **Köşe ve "T" birleşim kaynakları:**

İki elemanın birbirlerinde karşı belirli bir açıda yerleştirilmesi ile oluşturulan birleşim detayına uygulanan kaynak şekline "T" birleşim kaynağı denir**.** Köşe birleşim kaynakları ise bir elemanın köşesi ile diğer elemanın köşesi veya yüzeyinin bir biri ile temas edecek açılı bir şekilde yerleştirilmesi sonucu elde edilen birleşim detayına uygulanan kaynak şeklidir. Tipik bir köşe ve T birleşim kaynak detayı Şekil 2.40'ta gösterilmiştir [49].

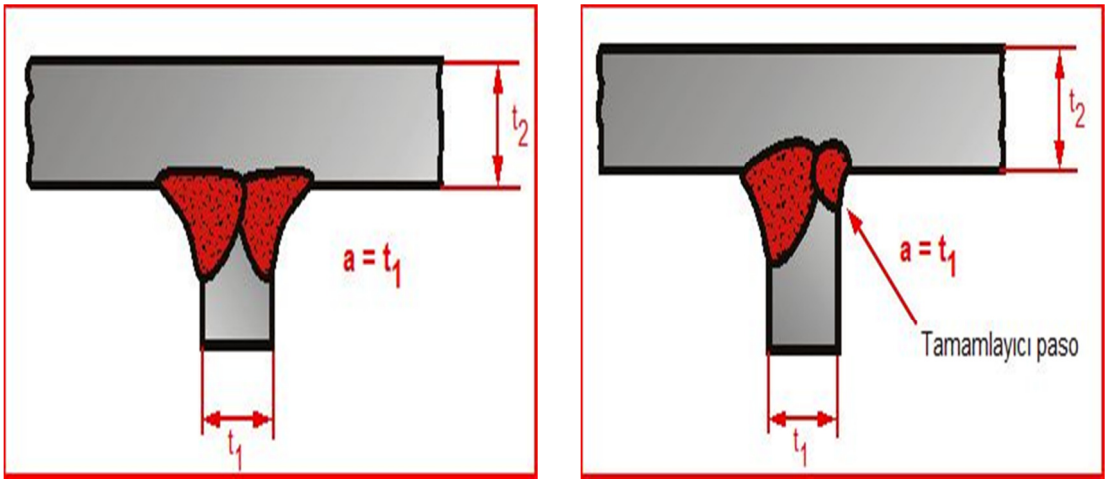
Bu tür uygulamalar, tam nüfuziyetli veya kısmi nüfuziyetli kaynaklar olarak ta ayrılabilir (EN, Eurocode 3, Part 1-1, 2005). Birleşim detayına paralel gelen eğilme etkisi altındaki köşe ve "T" kaynakları, kaynak kökünde çekme gerilim yığılmasını engelleyecek şekilde düzenlenmelidir.

Eksenel strese göre dizayn edilmiş iki yapma eleman parçaları arasındaki gerilime yönüne paralel köşe ve T birleşim kaynakları tam nüfuziyetli kaynak olmamalıdır. Kısmi nüfuziyetli kaynaklar veya takviye elemanları ile güçlendirilmiş köşe kaynakları kullanılmalıdır [2]. Tam nüfuziyetli "T" birleşim kaynaklarında en az bir çentik etkisine sahip bir bağlantı elde etmek için Şekil 2.41'de verilen kaynak türleri kullanılır. Çok fazla gerilim altında olmayan elemanların "T" birleşim kaynakları Şekil 2.42'deki gibi uygulanabilir [47].



a. Köşe birleşim detayı b.“T” birleşim detayı

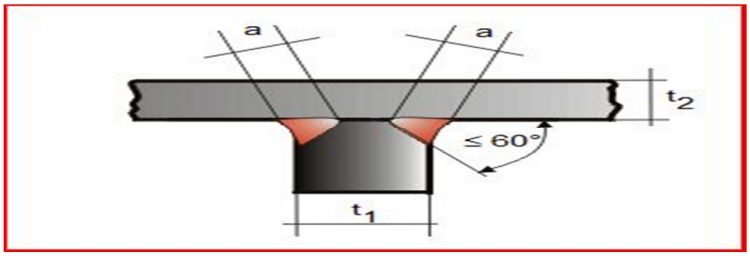
Şekil 2.40. Tipik bir köşe ve T birleşim kaynak detayı



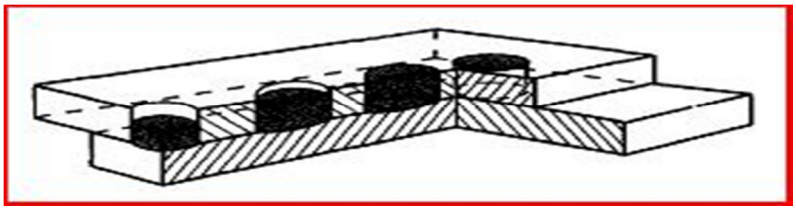
Şekil 2.41. Tam nüfuziyetli, en az bir çentik etkisi yaratan “T” kaynakları

- **Delik ve kanal kaynakları:**

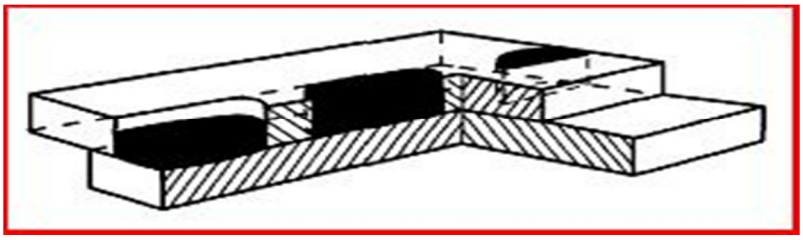
Bir dairesel delik içerisinde diğer bir eleman ile birleşim yapacak şekilde yapılan kaynaklara delik kaynakları, bir kanal içerisinde diğer bir eleman ile birleşim yapacak şekilde yapılan kaynaklara ise kanal kaynakları (Şekil 2.43) denir. Delik veya kanal içerisine yapılan köşe kaynakları bu tanımlama içerisinde değerlendirilmez [49].



Şekil 2.42. Çok fazla gerilim altında olmayan elemanların "T" birleşim kaynağı



delik kaynağı



kanal kaynağı

Şekil 2.43. Delik veya kanal içerisine yapılan köşe kaynakları

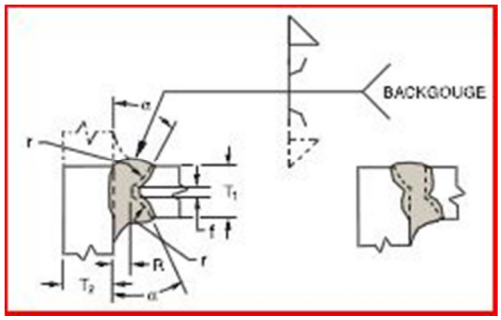
2.10.2. Kaynak Birleşim Detayları

Çelik köprü kaynak birleşim detaylarında yaygın olarak kullanılan iki farklı standart kullanılmaktadır. Bu standartlar kaynak [2] ve [5]'te verilmiştir. Bu iki standarttan ilki sadece kaynak birleşim detayları değil, köprü imalatı ile ilgili diğer bütün imalat detaylarını da içermektedir. Diğer standart ise kullanılan kaynak bağlantı tiplerini dizayn açısından vermekte olup, imalat için diğer bütün detaylar için farklı standartlara göndermeler yapmaktadır.

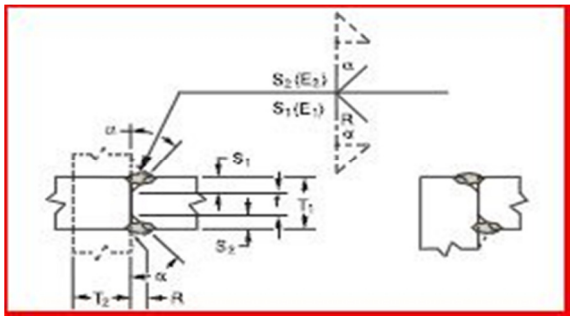
Aşağıda verilen ve çelik köprülerde kullanılan kaynak birleşim detaylarına ait bilgiler (sadece köprü imalatına özel olarak hazırlanmış olması nedeniyle) AWS D1.5M:D1.5 – 2008 standardı [2] doğrultusunda verilmektedir.

2.10.2.1. Çelik köprülerde ön yeterliliği olan kısmî nüfuziyetli kaynak birleşim detayları

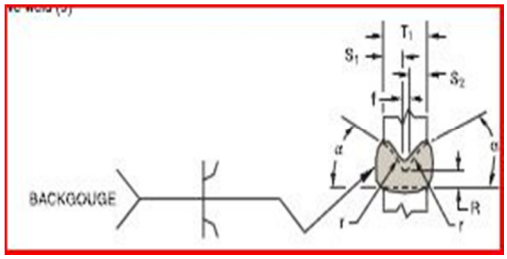
Kısmî nüfuziyetli kaynak birleşim detayları çok çeşitli olup bunlara ilişkin detaylar Şekil 2.44'te gösterilmiştir.



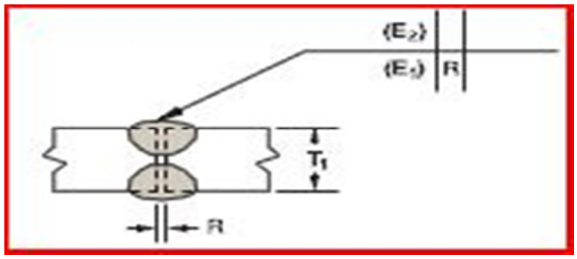
a



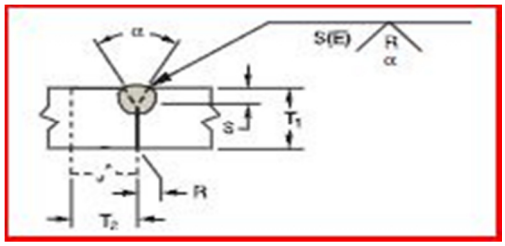
b



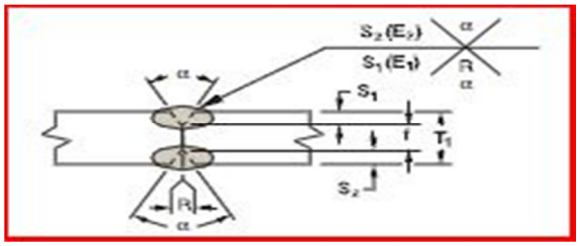
c



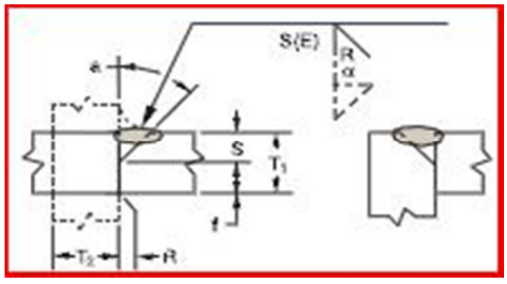
d



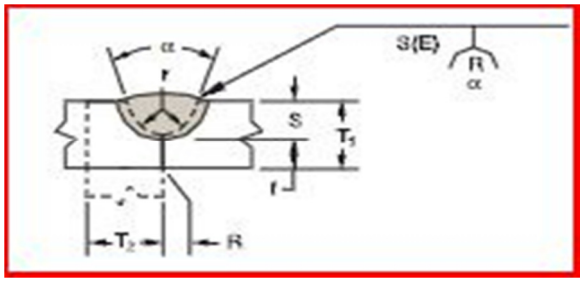
e



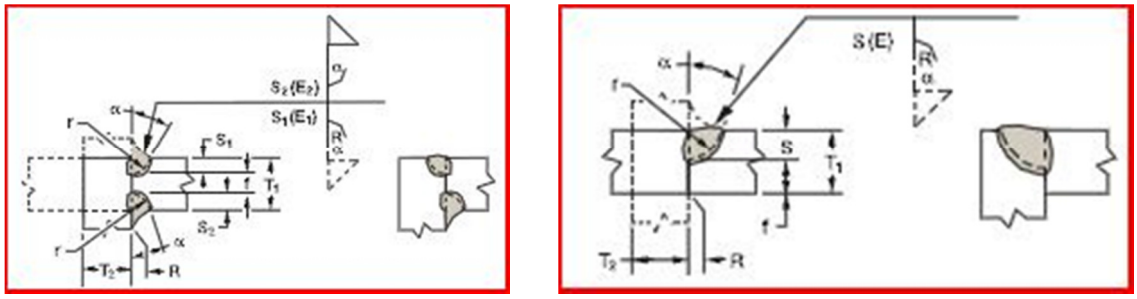
f



g



h

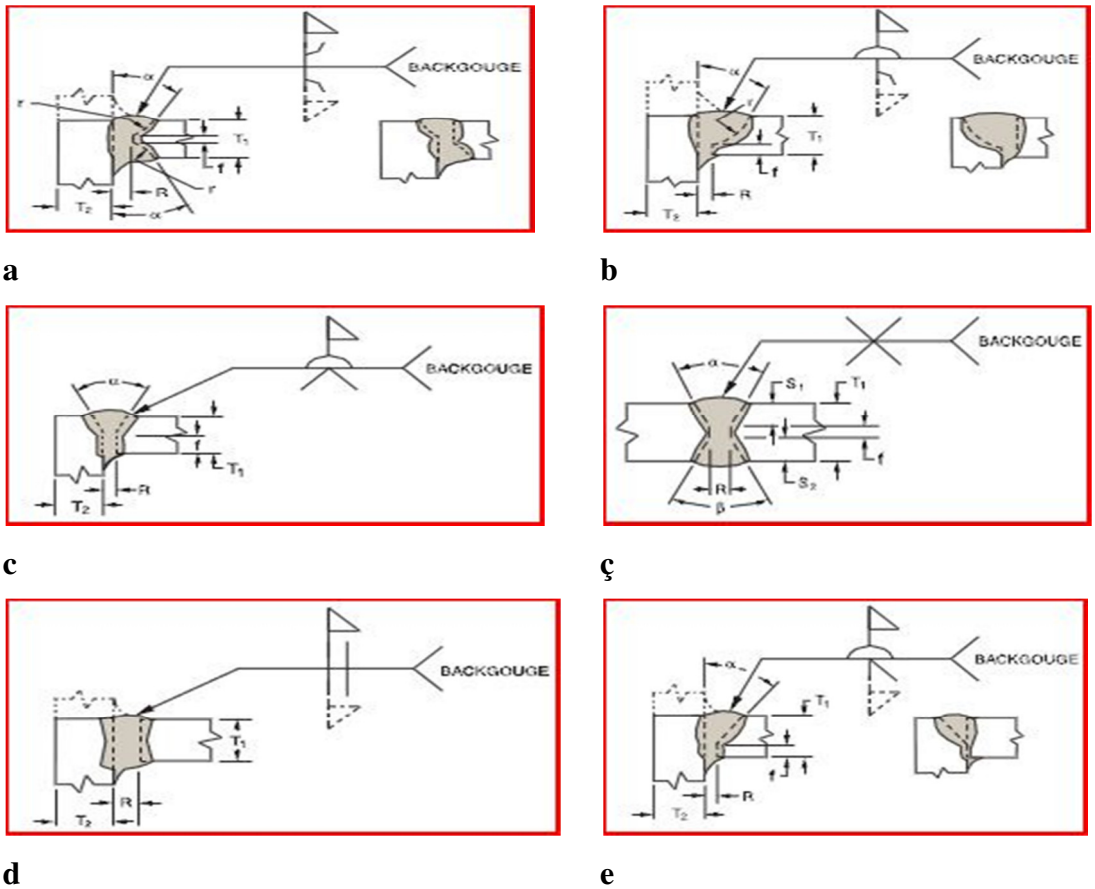


1 i

Şekil 2.44. Ön yeterliliği olan kısmî nüfuziyetli kaynak birleşimleri

2.10.2.2. Çelik köprülerde ön yeterliliği olan tam nüfuziyetli kaynak birleşim detayları

Ön yeterliği olan tam nüfuziyetli kaynak birleşim detayları çok çeşitli olup bunlara ilişkin detaylar Şekil 2.45a, b, c'de gösterilmiştir.

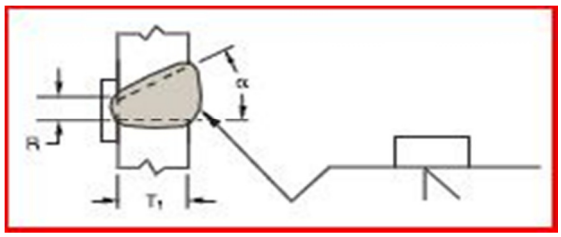


a **b**

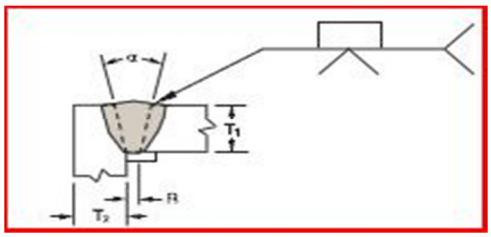
c **ç**

d **e**

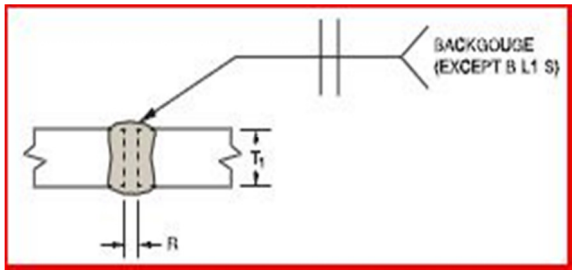
Şekil 2.45.a Ön yeterliliği olan tam nüfuziyetli kaynak birleşimleri


α
R
T1

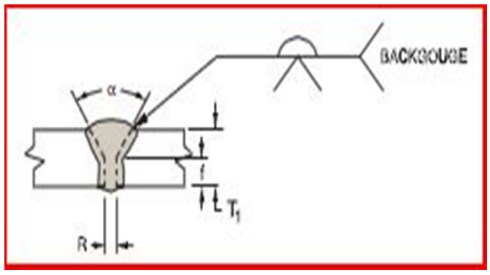
f


α
T1
T2
R

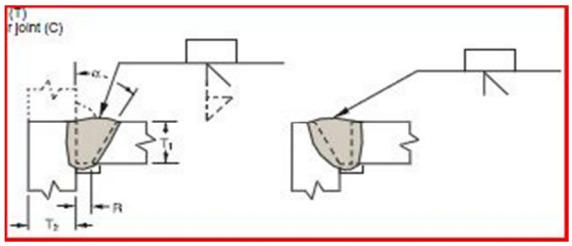
g


BACKGOUGE
(EXCEPT B L1 S)
T1
R

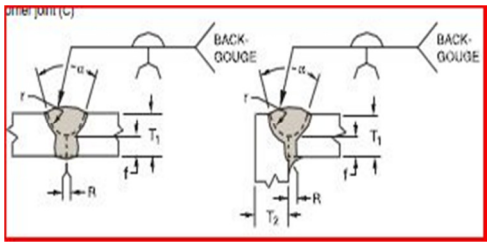
h


BACKGOUGE
α
f
T1
R

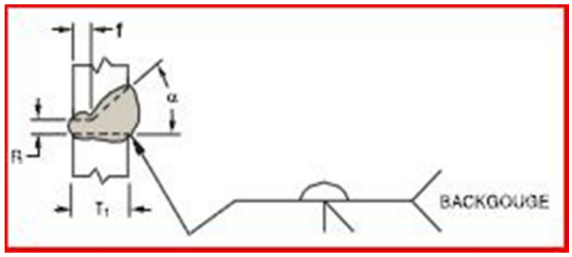
ı


(T)
r joint (C)
α
T1
R
T2

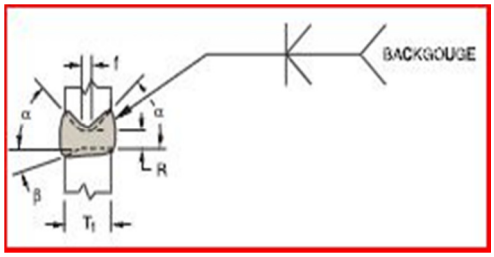
i


BACK-
GOUGE
BACK-
GOUGE
α
r
T1
f
R
T2

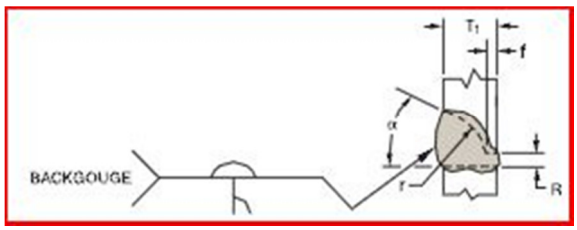
j


f
α
R
T1
BACKGOUGE

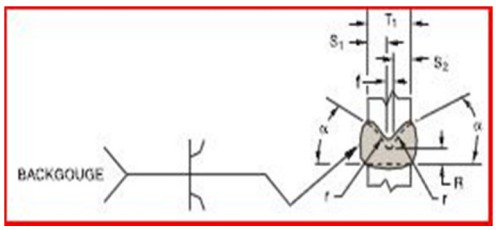
k


BACKGOUGE
f
α
α
R
β
T1

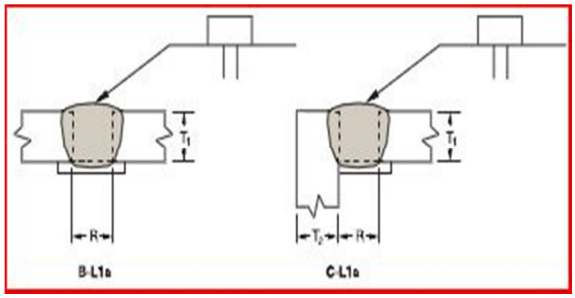
l


T1
f
α
BACKGOUGE
f
R

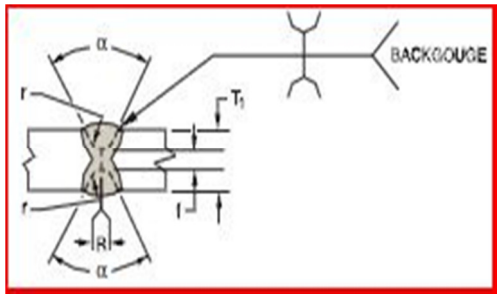
m


T1
S1
S2
f
α
α
BACKGOUGE
f
R
r

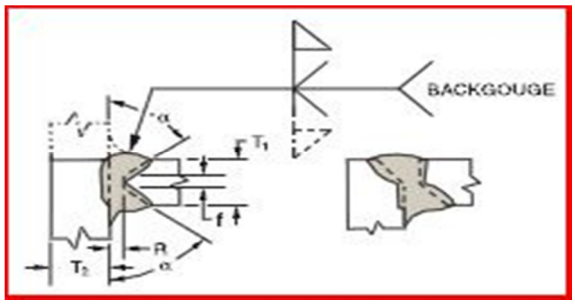
n



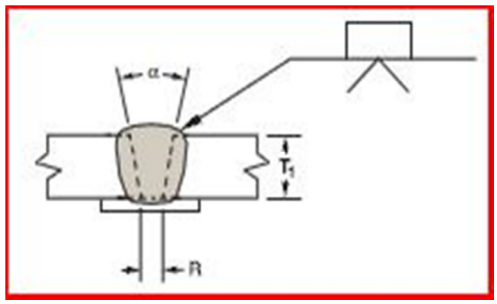
o



ö



p



r

Şekil 2.45.b Ön yeterliliği olan tam nüfuziyetli kaynak birleşimleri

2.10.2.3. Yasaklanmış kaynak ağzı ve kaynak birleşim tipleri

Aşağıdaki maddelerde tanımlanmış kaynak ağzı birleşim tiplerinin ve kaynak tiplerinin kullanımları yasaklanmıştır.

a. Baskı yüküne gelen AWS D1.5M:D1.5 – 2008 Madde 2.7.13'te [2] detaylandırılan baskı yüküne gelen elemanların dışında kalan alın birleşim detaylı bütün kısmi nüfuziyetli kaynaklar,

b. Hesaplanan gerilimleri taşıyan bütün elemanlar ile gerilime ters yönde veya kesme yüküne maruz ikincil elemanların herhangi bir altlık kullanılmadan veya çelik dışında altlık kullanılarak yapılan ek doğrulaması yapılmamış tam nüfuziyetli kaynaklar,

c. Metot kaynağı şeklinde yapılan alın kaynakları,

d. Mühendis tarafından onaylanmışlar hariç bütün metot köşe kaynaklar,

e. "V" veya "U" şeklinde kaynak ağzı açılabilen düz pozisyondaki parçalara açılan tek taraflı "V" veya "J" şeklinde kaynak ağız birleşimleri,

f. Kesme veya gerilim tersi yönüne maruz kalan bütün delik veya kanal kaynakları.

2.10.2.4. Kaynak bağlantı birleşim detaylarının yeterliliği

Kaynak bağlantıları standardın belirttiği ön doğrulaması yapılmış kaynak bağlantı detayları arasından herhangi bir ek doğrulama kaydı (WPQR) gerektirmeden sadece kaynak yöntem şartnamesi hazırlanarak (WPS) uygulanabilir. Ön doğrulaması olan bu kaynak birleşim tipleri aşağıdaki şekillerde verilmektedir. Söz konusu kaynak birleşim tipleri dışında kalan herhangi bir kaynak ağzı birleşim detayı uygulanmak istenildiğinde, bir kaynak yöntem şartnamesi hazırlanarak ve standart doğrultusunda kaynak doğrulaması yapılarak kullanılabilir.

Ön doğrulaması yapılmış kaynak birleşim detaylarında kullanılacak 4 adet kaynak metodu bulunmaktadır. Bunlar;

a. Elle Metal Ark Kaynağı
b. Metal Aktif Gaz Kaynağı
c. Aktif gaz korumalı boru göbekli elektrotlu metal ark kaynağı (Özlü tel ile)
d. Toz altı Ark Kaynağı

2.10.2.5. Ön yeterliliği haricinde kullanılacak olan diğer kaynak birleşim şekilleri ve doğrulanma testleri

Ön yeterliliği ilgili standart tarafından doğrulanmamış bütün kaynak ağız şekilleri ve kaynak tiplerinin "Kaynak Yöntem Şartnamesi Doğrulanma Testleri" ile doğrulanması gerekmektedir.

2.10.2.6. Kaynak yöntem şartnamesi doğrulanma testleri

Kaynak yöntem şartnamesi doğrulama testleri işi yapan tarafından standardın vermiş olduğu şartlar doğrultusunda yapılır. Yukarıdaki şekillerde verilen ön yeterliliği olan kaynak birleşim tipleri ve kaynak metotları kullanıldığı durumda kaynak yöntem şartnamesi doğrulanma testlerine gerek yoktur. Kullanılan mekanik testler kaynak yöntem şartnamesinde verilen ve istenilen mukavemet, kırılganlık ve tokluk değerlerini doğrulamalıdır. Ayrıca sağlamlık testleri ise ilgili imalat standardının vermiş olduğu gereklilikleri sağlamalıdır.

Alın kaynakları için yapılacak testler aşağıda verilmiştir:

- Mukavemet, yumuşaklık ve tokluk değerleri için bütün kaynak-metal çekme testleri
- Kırılganlık mukavemetini kontrol için darbe çentik testleri
- Sağlamlık, kaynak boğaz ölçüsü, kaynak paso dağılımları ve pasolarını kontrol için makro testleri
- Kaynak sağlamlığını kontrol için radyografik test
- Çekme mukavemeti için kesit azaltılmış çekme testi
- Sağlamlık ve kırılganlık kontrol için yan bükme testleri

Köşe kaynakları için yapılacak testler şunlardır:

- Mekanik özellikler alın kaynaklarına yapılacak testler ile kontrol edilebilir.
- Sağlamlık, kaynak boğaz ölçüsü, kaynak paso dağılımları ve pasolarını kontrol için makro testler yapılabilir.

Kaynak yöntem şartnamesi doğrulama testleri prosedürü söz konusudur. Standart veya standart olmayan kaynak ağzı birleşim detayları için yapılacak kaynak yöntem şartnamesi doğrulanma testlerinde kullanılacak kaynak dolgu malzemeleri tipleri uluslararası standartların belirlediği onaylı dolgu malzemeleri kullanılarak yapılmalıdır.

Bu standartlar dışında kullanılacak dolgu malzemeleri için ilgili imalat standardında verilen sarf malzemeler için hazırlanan değişkenler göz önüne alınarak uygulanmak zorundadır (AWS D1.5M:D1.5 – 2008) [2]. Ön yeterliliği bulunmayan dolgu malzemeleri ile yapılan elle metal ark kaynakları yine aynı şekilde doğrulanması gerekmektedir. AWS D1.5M:D1.5 – 2008'de (Tablo 2) verilen bilgiler doğrultusunda yapılması gereken kaynak, uygulamada değiştirilirse değişikliğin, kaynak yöntem şartnamesince, tekrar doğrulanması gerekmektedir.

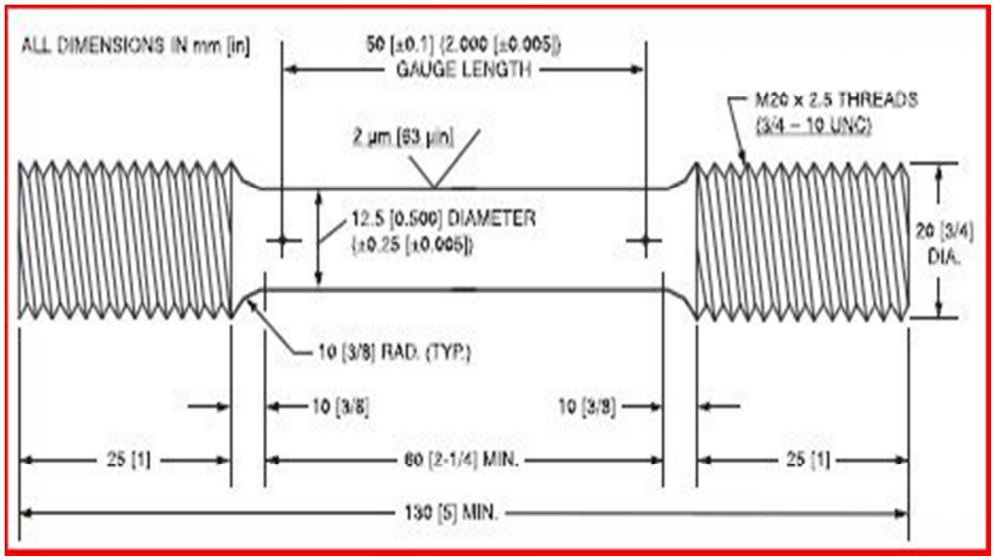
2.10.2.7. Kaynak test numunelerinde adet, tip ve hazırlık

Numune tip ve adetleri söz konusu imalat standartlarında belirtilen gereklilikler doğrultusunda hazırlanacaktır. Bu numune hazırlama işlemlerinde dikkat edilecek hususlar şunlardır:

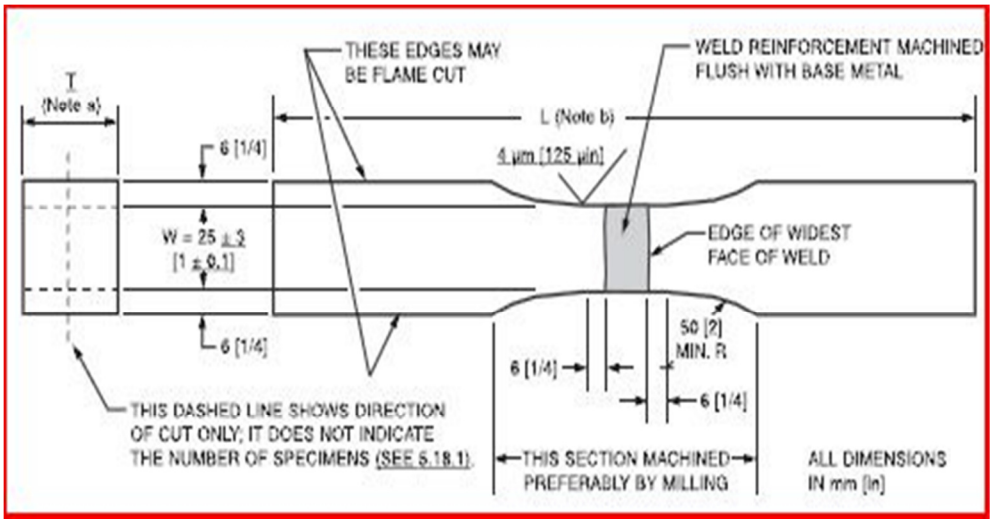
a. Köşe ve "T" birleşim kaynakları için yapılacak kaynak yöntem şartname doğrulama test numuneleri imalatta kullanılacak kaynak ağız birleşim detayının aynısı olmalıdır.

b. Mekanik testler için hazırlanacak test numunesi, test plakasından termal kesim veya işleme metoduyla çıkartılarak hazırlanmalıdır. Termal kesim metoduyla çıkartılan test numuneleri çevresinde ısı sonucu sertleşmiş yüzeyi mekanik işleme ile temizlemek amacıyla yeteri kadar büyük olmalıdır. Küçük parçaların numune hazırlanmasında fazla ısıtılmamasına dikkat edilmelidir.

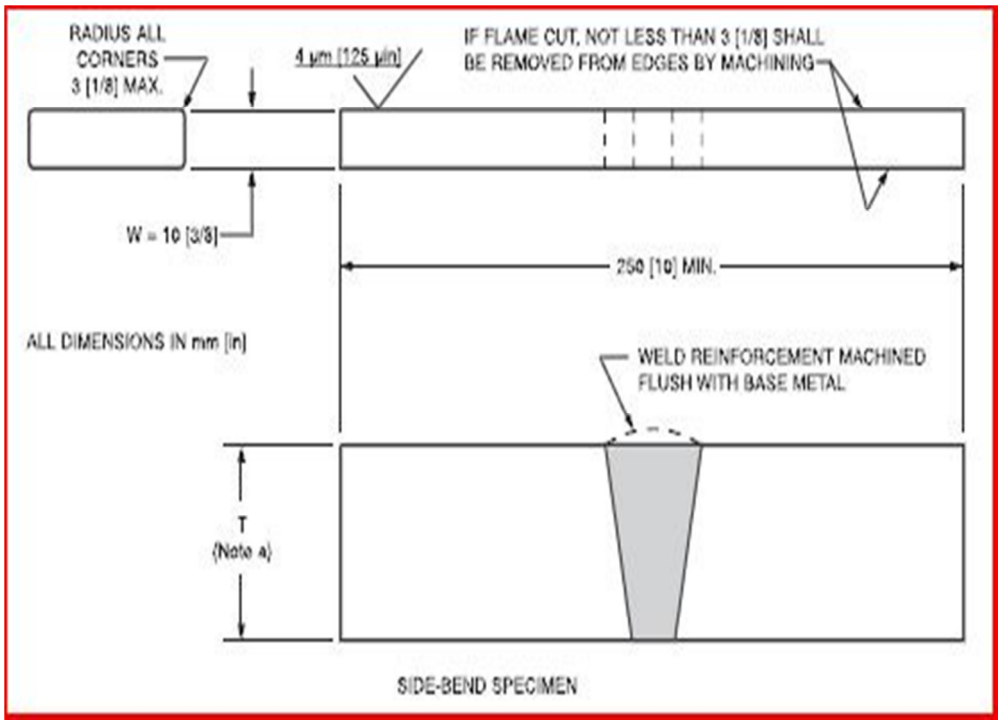
c. Mekanik test numuneleri aşağıdaki gibi hazırlanmalıdır (Şekil 2.46, 2.47, 2.48, 2.49, 2.50):



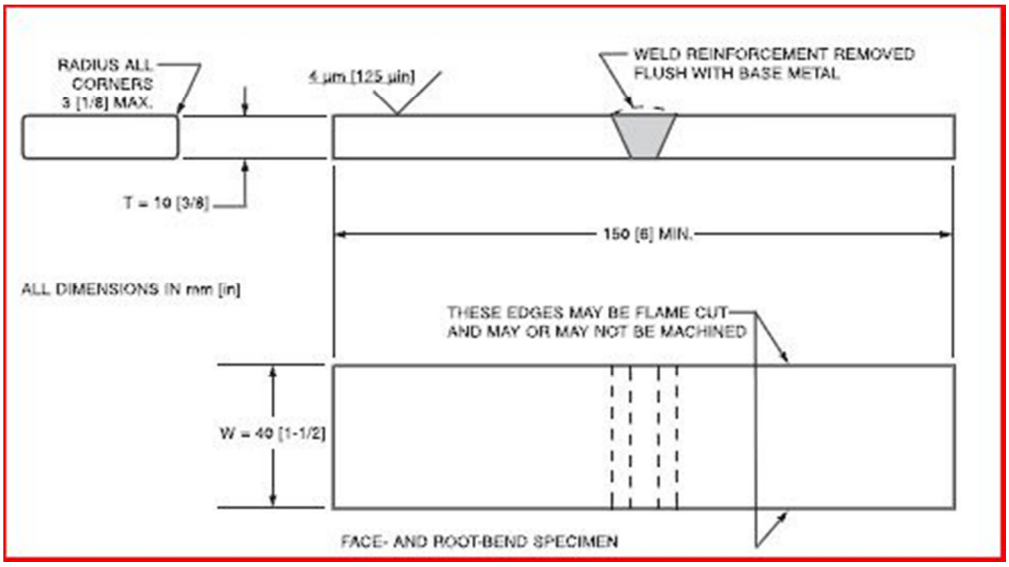
Şekil 2.46. Bütün kaynak/metal çekme numunelerinin hazırlanması



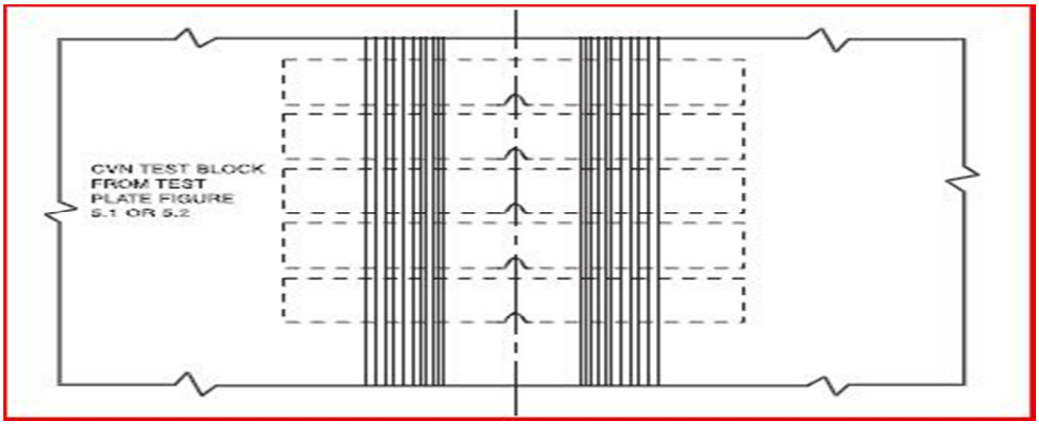
Şekil 2.47. Azaltılmış kesit çekme numunelerinin hazırlanması [2]



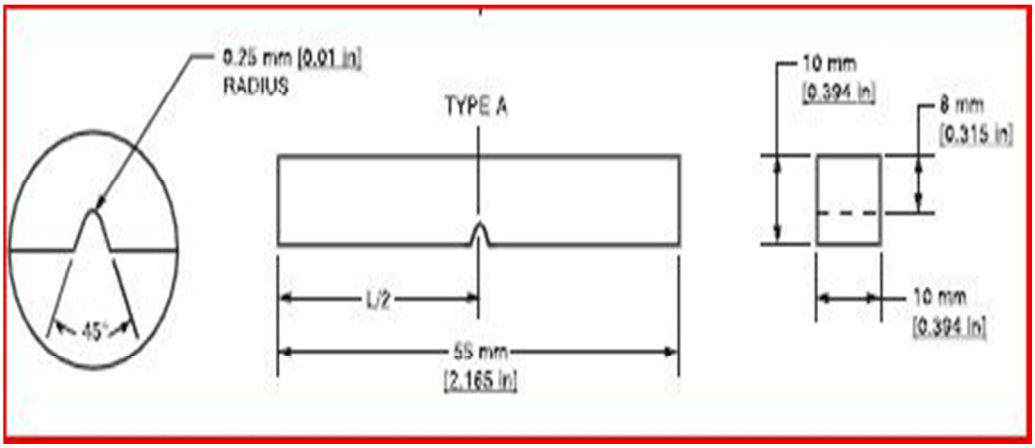
Şekil 2.48. Yan eğme test numunelerinin hazırlanması [2]



Şekil 2.49. Kök ve alın bükme numunelerinin hazırlanması [2]



a



b

Şekil 2.50. Elle metal ark kaynağı, metal aktif gaz kaynağı, aktif gaz korumalı boru göbekli elektrotlu metal ark kaynağı (özlü tel ile) ve toz altı ark kaynağı test numunesi hazırlanması [2]

d. Darbe tokluk testleri için numunelerin hazırlanması:

Elle metal ark kaynağı, metal aktif gaz kaynağı, aktif gaz korumalı boru göbekli elektrotlu metal ark kaynağı (özlü tel ile) ve toz altı ark kaynağı için 5 adet numune her test kaynağından hazırlanmalı ve belirtilen sıcaklıkta test edilmelidir.

Bütün metal-kaynak çekme testi numunesi	:	1 adet
Azaltılmış kesit çekme testi numunesi	:	2 adet
Yan eğme testi numunesi	:	4 adet
Darbe çentik testi numunesi	:	5 adet

2.10.2.8. Kaynak yöntem şartnamesi doğrulanma testlerindeki tahribatsız muayeneler

Mekanik test numuneleri hazırlanmadan önce ilgili imalat standardı doğrultusundan radyografik test ile tahribatsız muayene yapılmalıdır. Muayene kabul kriterleri yine ilgili imalat standardında verilmektedir.

BÖLÜM 3

DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Çalışmada Kullanılan Araç ve Gereçler

3.1.1. Gaz altı kaynak makinesi

Deneysel çalışmalar Expressweld MasterMIG 501W marka alet ile yapılmıştır. Söz konusu kaynak makinesi tel sürme ünitesi güç ünitesinden ayrılabilen tipte, su soğutmalı ve yarı-otomatik gaz altı (MIG/MAG). İnşaatlarda kullanılan düşük karbonlu yapı çeliklerinin ve paslanmaz çeliklerin yüksek kaliteli kaynağına uygundur. Cihazın kaynak akım değerleri 500A; 39V (%60) – 387A; 23,4V (%100), tel sürme hızı aralığı 1-24 m/dakikadır.

3.1.2. AWS 5.29 E81T1-W2C dolgu malzemesi

Kullanılan dolgu malzemesine ait sertifika değerleri aşağıdadır [51]:

Marka: Hyundai SF-80
Ölçü: 1,2 mm x 15kg
Lot No: MF2331A
İlgili standart: AWS A5.29 E81T1-W2C

<u>Mekanik özellikler:</u>
Akma Dayanımı: (≥470) 602 MPa
Çekme Dayanımı: (550-690) 645 MPa
Uzama (%): (≥19) 25,8
Darbe testi deney sıcaklığı -30 ˚C
Darbe testi sonuçları (J) : (≥27) 45 – 57 – 61 Ort: 54

3.2. Numunelerin Hazırlanması

Numuneler Madde 3.1.4'de ve Şekil 15,16 ve 18'de belirtilen tip ve adetlerde hazırlanmıştır.

3.3. Deney Kriterleri ve Kaynak Yöntem Şartnamesi (WPS)

Madde 3.1.2'de belirtilen doğrulama testlerini ve deney kriterlerini tespit etmek amacıyla Kaynak Yöntem Şartnamesi hazırlanmıştır. Deney kriterleri; malzeme ASTM A709 345W özelliğinde; plaka kalınlığı ve kaynak ağız açısı: 30mm - 45˚; birleşim detayı alın kaynağı – tam nüfuziyetli; dolgu malzemesi: A5.29 E81T1-W2C; tel ölçüsü: 1,2mm; ön ısıtma sıcaklığı: min. 100 ˚C; pasolar arası sıcaklık max.250 ˚C dir. Diğer değerler Tablo 2.18'de verilmiştir:

Tablo 2.18. Kaynak yöntem şartnamesine göre diğer deney kriterleri [52].

Paso *Run*	Yöntem *Process*	Dolgu Teli / *Filler Metal*			Akım *Current (A)*	Voltaj *Voltage (V)*	Akım Tipi/Polarite *Type of Current/ polarity*	Tel Sürme *Wire feed (m/min)*	Hız *Travel speed (mm/min)*	Heat Input (kj/mm)
		Çap *Size*	Sınıf *Class*	Marka *Trade Name*						
Root / Kök	*FCAW*	*1.2 mm.*	*E81T1-W2C*	*Hyundai SF-80W*	*175-185*	*24-26*	*DCEP*	-	*114-120*	*1.09-2.4*
Hot passes / Sıcak P.	*FCAW*	*1.2 mm*	*E81T1-W2C*	*Hyundai SF-80W*	*157-185*	*24-26*	*DCEP*	-	*114-120*	*1.09-2.4*
Fills / Dolgular	*FCAW*	*1.2 mm.*	*E81T1-W2C*	*Hyundai SF-80W*	*210-240*	*28-30*	*DCEP*	-	*180-240*	*1.8-2.96*
Cover / Kapak	*FCAW*	*1.2 mm.*	*E81T1-W2C*	*Hyundai SF-80W*	*230-270*	*28-30*	*DCEP*	-	*300-400*	*1.2-1.21*

3.4. Kaynak Yöntem Doğrulama Kayıtları (WPQR)

Madde 3.1.3, 3.1.4 ve 3.1.5'te belirtilen hususlar doğrultusunda ve bu maddelerde belirtilen adet ve tiplerde test kuponları hazırlanmıştır. Testlere ait sonuçlar aşağıdaki maddelerde verilmektedir.

3.5. Çekme Testi

3.5.1. Bütün metal-kaynak çekme testi

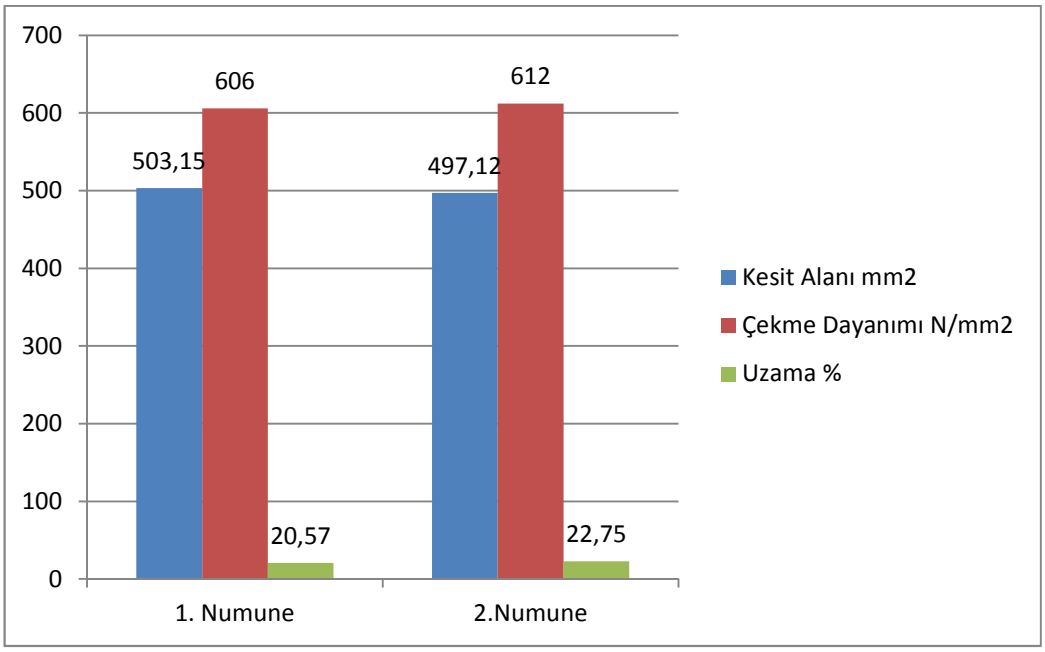
Bir adet bütün metal-kaynak çekme test numunesi Şekil 14'e göre hazırlanmış ve test edilmiş olup, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir [53a]. Akma dayanımı: 647 MPa
Çekme dayanımı: 692 MPa; uzama (%): 22,92; kesit daralması (%): 65,98

3.5.2. Azaltılmış kesit çekme testi

İki adet azaltılmış kesit çekme testi numunesi Şekil 2.47'deki gibi hazırlanmış, test edilmiş olup, sonuçları Tablo 2.19 ve Şekil 2.51'de verilmiştir.

Tablo 2.19. Azaltılmış kesit çekme deneyi sonuçları [53b].

	1. Numune	2. Numune
Kesit alanı	503,15 mm^2	497,12 mm^2
Çekme yükü	305000 N	304000 N
Çekme dayanımı	606 N/mm^2	612 N/mm^2
Uzama (%)	20,57	22,75
Kopma şekli ve yeri	Malzeme	Malzeme



Şekil 2.51. Azaltılmış kesit çekme deneyi sonuçlarının grafik olarak gösterilmesi

3.5.3. Yan eğme testi

Dört adet azaltılmış yan eğme testi numunesi Şekil 2.48'e göre hazırlanmış ve test edilmiş olup sonuçları Tablo 2.20'de verilmiştir.

Tablo 2.20. Yan eğme testi sonuçları

Numune	Mesnetler arası mesafe (mm)	Mandrel çapı (mm)	Parçanın kalınlığı (mm)	Eğme açısı	Sonuç
Yan eğme -1	73.00	50	10.00	180˚	Uygun
Yan eğme –2	73.00	50	10.00	180˚	Uygun
Yan eğme –3	73.00	50	10.00	180˚	Uygun
Yan Eğme -4	73.00	50	10.00	180˚	Uygun

3.5.4. Darbe çentik testi

AWS D1.5 Madde 5.4.3.5 Çentik Darbe Testi için Gereklilikler kısmı, malzeme anma dayanımı 485 MPa ve üzeri olan malzeme sınıfları için malzeme kuvvetini, yumuşaklığını, tokluğunu ve dayanımını ölçülmesi zorunluluğunu belirtmiştir [2]. Bu nedenle darbe çentik deneyi yapılmamıştır.

3.5.5. Test numunesi tahribatsız muayeneler

Test numuneleri üzerinde malzemenin diğer özelliklerini ve yapılan kaynağın uygunluğunu kontrol etmek amacıyla aşağıdaki tahribatsız muayeneler yapılmıştır.

Gözle muayene: Kaynaklı malzemeye AWS D1.5 standardı gereğince, gözle muayene yapılmış bir uygunsuzluk tespit edilmemiştir [54].

Manyetik parçacık testi muayenesi: Test numunesi üzerinde yüzey çatlaklarını incelemek amacıyla AWS D1.5 standardı gereğince manyetik parçacık testi yapılmış, herhangi bir yüzey çatlağı tespit edilmemiştir [55a].

Ultrasonik muayene: Test numunesi kaynak bölgesi içerisinde herhangi bir süreksizliği tespit etmek amacıyla AWS D1.5 standardı gereğince ultrasonik muayene yapılmış, herhangi bir süreksizlik tespit edilmemiştir [55b].

Sertlik testi: Ana metal ve kaynak kesit bölgesinden alınan numune üzerinde sırasıyla “ana metal – ısıdan etkilenmiş bölge – kaynak metali – ısıdan etkilenmiş bölge – ana metal” şeklinde Vickers HV10 ölçüm metoduna göre sertlik kontrolü yapılmıştır. AWS D1.5 standardı gereğince malzeme sertliği hiçbir bölgede 350 Vickers ve üzeri olmadığı tespit edilerek uygun bulunmuştur [53c].

Makro testi: Kaynak kesitinden bir numune alınarak yaklaşık 3 kat büyütme özelliğine sahip mercek altında kaynak bölgesi incelenmiş, kaynak içerisinde bir süreksizlik, çatlak, gözenek ve cüruf kalıntısı incelenmiş, herhangi bir uygunsuzluk tespit edilmemiştir [53d].

Referans Elektrotlar: Korozyona karşı korunan metalin (katot) iyonik ortam içindeki potansiyel yüklemesini tespit için referans olarak elektrotlar kullanılır. Örneğin; trafo redrosör ünitesine bağlı sabit tip referans elektrotlar, ölçü kutularından okuma yapmak için kullanılan seyyar tip referans elektrotlardır.. Sıklıkla Cu/ CuSO4, Ag/AgCl, Zn/ZnSO4 referans elektrotları kullanılır.

BÖLÜM 4

SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Yukarıda verilen bilgiler ve deneysel çalışma sonucu ASTM A709 345W malzemenin özelliklerini ve kaynak performansını 3 açıdan ele almak daha doğru bir yaklaşım olacaktır, bunlar malzemenin kimyasal özelliği ile ilgili değerlendirmeler, mekanik özelliği ile değerlendirmeler ve pratik uygulama açısından değerlendirmelerdir.

Kimyasal özellikle ilgili değerlendirme: ASTM A709 345W malzemesi atmosferik korozyona dirençli malzeme olma özelliğini taşımasından dolayı diğer EN ve ASTM standartlarındaki eşdeğer yapı çeliklerine göre içerisinde bazı alaşım maddeleri (Cu,Cr ve Ni) yüzde olarak nispeten daha fazla bulunmaktadır. Bu malzemelerin daha yüksek oranlarda olması malzemenin kaynak performansına net bir etkisi bulunmamaktadır.

Mekanik özellikle ilgili değerlendirme: ASTM A709 345W malzemesinin EN S355J2 malzemesine göre eşdeğer özelliğe sahip olmaktadır. Ancak, Amerikan standartları ile Avrupa Standartları arasındaki göze çarpan en büyük farklardan biri malzemenin tanımında da kullanılan minimum akma dayanımı değerinin Avrupa standartlarına göre üretilen malzemelerde kalınlığa bağlı olduğu, Amerikan standartlarına göre ise kalınlık gözetmeksizin minimum değeri sağladığıdır. Örnek olarak S355J2 malzemesi 355Mpa akma dayanımı sağlamaktadır ancak bu akma dayanımı 100mm kalınlıkta 295MPa değerine kadar düşmektedir. ASTM A709 345W için ise akma dayanımı 100mm kalınlıkta bile en az 345MPa değerini sağlamaktadır.
Diğer bir farklılık ise ASTM A709 345W malzemesinin sağlamış olduğu tokluk değeridir. Bu malzeme yine S355J2 malzemesine kıyasla aynı sıcaklıkta yapılan darbe çentik deneylerinde 3 kata kadar daha fazla tokluk değeri vermektedir. Bu nedenle,

ASTM A709 malzemesi çelik üretim sonrası sertifikalarda darbe çentik deneyini zorunlu tutmamıştır. Yine AWS D1.5 standardı da daha yüksek kalitedeki çelikler için bu testi istemekte, 345W malzemesi için zorunlu tutmamıştır.

Pratik uygulama açısından değerlendirme: Haliç Metro Geçiş Köprü projesinde, çeşitli kalınlıklarda 345W malzemesi ile yapılan uygulamalar sonucu görülmüştür ki, malzemenin kaynak performansı (kaynaklanabilirliği) açısından diğer yapı çeliklerine göre daha özel bir proses ihtiyacı ve zorluğu bulunmamaktadır. Hatta S355J2 malzemesi ile yapılan kaynaklar sonrası yapılan testlerde malzeme yüzey çatlakları 345W malzemesine göre nispeten daha fazla yaşanmaktadır. Bunun sebebi ise 345W malzemenin sahip olduğu yüksek tokluk değerinin vermiş olduğu bir avantaj olarak açıklanabilir.

Kaliteli, nitelikli bir iş çıkarabilmek için derin bir malzeme bilgisi yanında, o işin gerektirdiği doğru detayın uygulanması gerekir. Burada malzeme ile detayın uygulanabilirliği ve uyumu önemlidir. Bir bütünün kaliteli olabilmesi için, o bütünü meydana getiren parçaların her birinin nitelikli olması gerekir. Burada göz ardı edilmemesi gereken bir hususta işçilikte kalitedir. Malzeme ne kadar nitelikli olursa olsun, detay ne kadar doğru olursa olsun, kaliteli işçilik olmazsa işin kalitesiz çıkması kaçınılmazdır. Dünyanın en kaliteli malzemeleri niteliksiz ellerde dünyanın en kalitesiz malzemesi olabilir.

Malzeme seçiminden, uygulanmasına kadar her aşamada, o işin gerektirdiği standartlara göre iş yapma/işi test etme ve esasları ortaya konulmuş, ISO standartlarına göre denetim yapma şarttır. Denetim sürekli olmalıdır. Denetim, sonu gelmeyen faaliyetler bütünüdür.

4.2. Öneriler

Buradaki veriler profesyonelce yapılmış uygulamaların sonucu olmakla beraber, her işin yapım koşullarının farklılığı nedeniyle, her işe özgü ayrı deneysel çalışmalar yapılmalıdır. Konu ile birlikte çeliğin korunması olayının birlikte mütalaası yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

[01] AASHTO-LRFD (American Association of State Highway and Transportation Officials) Bridge Design Specifications" ve "European Committee For Standardization, EN 1993-2 Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 2: Steel Bridges.

[02] AWS, AASHTO/AWS D1.5M/D1.5:2008 Bridge Welding Code (Köprü Kaynak Kodu), A joint publication of AASHTO, 2008, Miami / FL

[03] AASHTO M270M [M270], American Society of Testing and Materials, USA

[04] ASTM A709M [A709], American Society of Testing and Materials, 2009, USA.

[05] European Committee For Standardization, EN 1993-1-8 Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints)

[06] Erciyes, F., Çelik Kafes Kemerli bir Köprünün Analizi ve tasarımı, Yüksek Lisans tezi, Niğde Üniversitesi, Fen bil. Ens. 2006).

[07] Lee, K.M., Choi Y.M., Life-cycle Cost-effective optimum design of Stell Bridges, Journal of Contructional Stell research, 60, 1585-1613.)

[08] Kim, S.E., Choi, S.H., Maa, S.S., Performance Based Design of Stell Arch Bridges sing Practical Inelastic nonlineer analysis, Journal of Contructional Stell research, 59, 91-108, 2003) çalışmasında

[09] Uzgider, E, Çağlayan, B.Ö., Kaya, H., gerçek boyutlu çelik köprü elemanlarının yorulma testi ve artık yorulma ömrü tespiti, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 436 - 2005/2 63).

[10] http://web.sakarya.edu.tr/~cacur/ins/resim/kopruler.htm, 2013.

[11] http://tr.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6pr%C3%BC

[12] http://www.tucsa.org/celik-yapilar-yazi.asp?yazi=113

[13] http://www.tucsa.org/haber.asp?haber=319

[14] Demirin ve çeliğin tarihçesi, http://www.prokansac.com/Default.aspx?Id=5&Page=1; 28.1.2013

[15] Çeliğin tanımı, http://www.cncteknik.net/malzeme-bilgisi/2043.htm, 28.1.2013

[16] Çeliğin tanımı ve temel özellikleri, http://www.elementcelik.com.tr/celik_nedir.html, 2013

[17] Çeliğin tarihi, http://www.prokansac.com/Default.aspx?Id=13&Page=1; 28.1.2013

[18] http://www.belgeler.com/blg/mm9/elik-kafes-kemerli-bir-kprnn-analizi-tasarimi-analysis-and-design-of-a-steel-truss-arch-bridge

[19] http://www.flickr.com/photos/ jeannot 7/7628933718/, Dublin's Ha'Penny köprüsü,

[20] Alaska Gerstle Nehri Üzeri Çelik Köprü, http://alaska.gallerly.com/steel-truss-bridge-alaska-highway-over-gerstle-river-alaska-usa

[21] http://www.yildiz.edu.tr/~kircil/kopru.pdf

[22] http://www.bscsd.org/webpages/jcaughey/confederation.cfm?subpage=9079

[23] www.galeri.insaatbolumu.com/nggallery/post/cin-donghai-koprusu/image/121/Çin Donghai köprüsü, 2013

[24] San Francisco Golden Gate Köprüsü, http://www.jmhdezhdez.com/2011/07/golden-gate-bridge-san-francisco-puente.html

[25] Chicago Lake Street Draw Köprüsü, http://www.rachelleb.com/2006/06/14/lake-street-draw-bridge/

[26] İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Astaldi Gülermak Adi Ortaklığı, Haliç Metro Geçiş Köprüsü Projesi

[27] Yunanistan harilaos trikoupis köprüsü, http://www.jmhdezhdez.com/2011/04/harilaos-trikoupis-bridge-athens-greece.html

[28] The American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association

[29]http://tr.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6pr%C3%BC#K.C3.B6pr.C3.BC_projelendirilmesi_ve_in.C5.9Fas.C4.B1, çelik köprülerin projelendirilmesi ve inşası, 2013.

[30] Eurocode 1 – Actions on structures, Part 2: Traffic Loads on Bridges

[31] EN 1991-2-2003, Table D.3, Light traffic mix with axles.

[32]http://www.keytometals.com/KO/page.aspx?ID=SteelSpecifications&LN=TR, 2012.

[33] Eurocode 2 BS EN 1992-1-2: 2004 Design of concrete structures "Part 1-2:General rules-structural fire design

[34] Ergün, A., Kürklü, G., Başpınar, M.S., Yüksek sıcaklık sonrası farklı sınıflardaki Betonarme çeliklerinin Mekanik özelliklerinin incelenmesi, AKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü dergisi, 2009-02 97-103).

[35] Akman, S., 2000, Yapısal hasarlar ve onarım ilkeleri, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, ISBN 975-375-410-7 İstanbul, Türkiye

[36] http://www.astm.org/Standards/steel-standards.html, Structural Steel for Bridges, Buildings, Rolling Stock and Ships, 2013

[37] http://en.wikipedia.org/wiki/Weathering_steel, 2013

[38] Weathering Steel Bridges, Corus Construction & Industrial, 2005, UK

[39] ASTM G101, American Society of Testing and Materials, 2004, USA

[40] ASTM G101 Standard Guide for Estimating the Atmospheric Corrosion Resistance of Low-Alloy Steels], American Society of Testing and Materials, 2004, USA.

[41] EN, 1993-2 Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 2: Steel Bridges, European Committee For Standardization, 2006, Brussels.

[42] EN 1993-1-8 Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints, European Committee For Standardization.

[43] TS EN 10025-1 Sıcak Haddelenmiş Yapı Çelikleri - Bölüm 1: Genel Teknik Teslim Şartları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

[44a] EN 10025-2: Sıcak haddelenmiş yapı çelikleri – Bölüm 2: Alaşımsız yapı çeliklerinin teknik teslim şartları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[44b] EN 10025-3: Sıcak haddelenmiş yapı çelikleri – Bölüm 3: Normalize edilmiş/normalize edilirken haddelenmiş, ince taneli, kaynak edilebilir yapı çeliklerinin teknik teslim şartları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[44c] EN 10025-4: Sıcak haddelenmiş yapı çelikleri – Bölüm 4: Termomekanik olarak haddelenmiş, ince taneli, kaynak edilebilir yapı çeliklerinin teknik teslim şartları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[44]ç EN 10025-5: Sıcak haddelenmiş yapı çelikleri – Bölüm 5: Atmosferik korozyona direnci artırılmış yapı çeliklerinin teknik teslim şartları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[44d] EN 10025-6: Sıcak haddelenmiş yapı çelikleri – Bölüm 6: Su verilmiş ve temperlenmiş durumdaki yüksek akma dayanımlı yapı çeliklerinden imal edilmiş yassı mamullerin teknik teslim şartları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[45] http://www.bilesim.com.tr/resim/h6qr0i9r.jpg

[46] http:/www.yavuzcelikkonstruksiyon.comimagesdenizli_mugla_ustgecit01.jpg

[47] EN, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, European Committee For Standardization 2005, Brussels.

[48] AWS A3.0: 2001 Standard Welding Terms and Definitions, American Welding Society, 2001, Miami / FL.

[49] GSI – Gessellschaft für Schweisstechnik International mbH – Dusseldorf, IWE, International Welding Engineer Programme Software, 2011.

[50] O'brien, Robert L., American Welding Society Jefferson's Welding Encyclopedia, 1997, Danvers / Ma.

[51] Hyundai, CMR No:NA1911331332, 2012.01.19, Korea

[52] Gülermak, WPS-HP-2, 15.08.2012 İstanbul.

[53a] Anadolu Döküm Sanayi A.Ş., Rapor No: R121435, 13.08.2012, Kocaeli

[53b] Anadolu Döküm Sanayi A.Ş., Rapor No: R121434, 13.08.2012, Kocaeli

[53c] Anadolu Döküm Sanayi A.Ş., Rapor No: R121437, 13.08.2012, Kocaeli

[53d] Anadolu Döküm Sanayi A.Ş., Rapor No: R121438, 13.08.2012, Kocaeli]

[54d] Gülermak Ağır San.A.Ş, Rapor No:WPQR-H-002, 11.06.2012, İstanbul

[55a] GKC Mühendislik, Rapor No: AWS D1.5-GH-UT-1150, 12.06.2012, İstanbul

[55b] GKC Mühendislik, Rapor No: AWS D1.5-GH-MT-1498, 12.06.2012, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Levent OYMAEL 1975 Kayseri doğumludur. İlkokulu Kayseri'de okumasını takiben TED Koleji, Nuh Mehmet Küçükçalık Anadolu Lisesi ve Elazığ Anadolu Lisesi'nde ortaokulu, Anadolu Meslek Lisesi'nde ise lise öğrenimi görmüştür. Üniversite öğrenimini Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü'nü 1999 yılında bitirmiştir. Üniversite mezuniyeti sonrası çeşitli özel sektörlerde çalışarak oldukça deneyimler kazanmıştır. GSI SLV Türkiye, GSI SLV Münih ve Ortadoğu Teknik Üniversitesi işbirliği ile düzenlenen Uluslararası Kaynak Mühendisliği Programını bitirerek sertifikasını almıştır. Halen Astaldi - Gülermak Ortaklığı İstanbul Haliç Metro Geçiş Köprü Geçiş Köprüsü İnşaatında Çelik Yapılar Şefi olarak çalışmaktadır.