

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

**ÇELİK YAPILARDA BİRLEŞİM UNSURLARININ
İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Sinan ÇAĞLAR

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mustafa KUTANİS

Mayıs 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK YAPILARDA BİRLEŞİM UNSURLARININ
İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

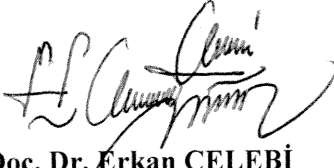
İnş.Müh. Sinan ÇAĞLAR

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 26 / 05 /2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. Mustafa KUTANİS
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Erkan ÇELEBİ
Üye


Doç. Dr. Murat UTKUCU
Üye

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca eşsiz bilgilerini benimle paylaşarak akademik gelişimime katkıda bulunan değerli hocam Dr. Muharrem AKTAŐ ile bu tezin oluşturulması konusunda yardım ve emeklerini esirgemeyen danışman hocam Dr. Mustafa KUTANIS'e teşekkür etmek istiyorum.

Öte yandan tezin yazılması ve toparlanması konusunda emek ve desteğini esirgemeyen İnş.Müh. Serkan KEMİKSİZOĞLU ve Hatice ARSEVEN' e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--------------------------------------|------|
| TEŞEKKÜR..... | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ..... | vii |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | viii |
| TABLolar LİSTESİ..... | xi |
| ÖZET..... | xiii |
| SUMMARY..... | xiv |

BÖLÜM 1.

| | |
|----------------------|---|
| GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1. Giriş..... | 1 |
| 1.2. Motivasyon..... | 1 |
| 1.3. Kapsam..... | 3 |

BÖLÜM 2.

| | |
|--|----|
| ÇELİK YAPI BİRLEŞİMLERİNİN PERFORMANS VE EMNİYETİNDE CIVATA TEKNOLOJİSİ..... | 6 |
| 2.1. Giriş..... | 6 |
| 2.2. Çelik Konstrüksiyon Birleşimlerinde Cıvataların Kullanımı ve Çalışma Prensipleri..... | 7 |
| 2.3. Cıvatalı Çelik Konstrüksiyon Bileşimlerinin Ortam Şartlarından Etkilenmesi..... | 10 |
| 2.4. Çelik Konstrüksiyon Birleşimlerinde Cıvataların Seçilmesi ve Kullanılmasında Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar..... | 12 |
| 2.5. Çelik Konstrüksiyon Birleşimlerinde Kullanılan Cıvataların | |

| | |
|---|----|
| Ortam Şartlarından Bağımsız Mukavemet Eğilimleri..... | 14 |
| 2.6. Cıvatalı Birleşimlerin Bozulması, Bozulma Nedenleri ve Önleme Yolları..... | 18 |

BÖLÜM 3.

| | |
|---|----|
| ÇELİK YAPI BİRLEŞİMLERİNİN PERFORMANS VE EMNİYETİNDE KAYNAK TEKNOLOJİSİ..... | 23 |
| 3.1. Giriş..... | 23 |
| 3.2. Eşdeğer Karbon Oranı Kavramı ve Kaynaklı Bileşimler Üzerindeki Etkisi ve Önemi..... | 24 |
| 3.3. Kaynaklı Yapı Bileşimlerinde Yetersizlik ve Başarısızlık (Kırılma)..... | 25 |
| 3.4. Kaynaklı Yapı Bileşimlerinin Projelendirme ve Şekil Faktöründen Etkilenmesi..... | 26 |
| 3.5. Elektrik Arkı Yoluyla Kaynak Teknolojisi | 27 |
| 3.5.1. Elektrik arklı kaynaklarda örtülü elektrod kullanımı..... | 28 |
| 3.5.2. Elektrik arklı kaynaklarda kullanılan örtülü elektrodların karakteristik özellikleri ve seçimi..... | 34 |
| 3.5.2.1. Elektrik arklı kaynaklarda kullanılan elektrotlarda “örtü teknolojisi” | 35 |
| 3.5.2.2. Örtü tipinin elektrik ark kaynağı elektrotları üzerindeki karakteristik etkileri..... | 36 |
| 3.5.2.3. Elektrikli ark kaynağında kullanılacak örtülü elektrotun seçilmesi..... | 37 |
| 3.5.3. Örtülü elektrotlarla yapılan elektrik arklı kaynaklarda ısı etkisinin önemi ve kaynak üzerindeki etkileri..... | 41 |
| 3.5.3.1. Örtülü elektrotlarla yapılan elektrik arklı kaynaklarda ısınmanın kaynak üzerindeki etkileri.... | 41 |
| 3.5.3.2. Örtülü elektrotlarla yapılan elektrik arklı kaynaklarda soğumanın kaynak üzerindeki etkileri. | 43 |
| 3.6. Kaynaklı Bileşimlerde Gaz Altı Kaynağı Teknolojisi..... | 43 |
| 3.6.1. Gaz altı kaynak teknolojisi..... | 44 |
| 3.6.2. Gaz altı kaynağında insan faktörünün önemi ve denetimi | 45 |

| | |
|---|----|
| 3.6.3. Gaz altı kaynağı için uygun elektrot teli ve koruyucu gaz seçimi | 47 |
| 3.6.4. Gaz altı kaynağının uygun şekilde tatbik edilmesi ve olası kaynak hataları | 50 |

BÖLÜM 4.

ÇELİK YAPI BİRLEŞİMLERİNİN BİLGİSAYAR ORTAMINDA

| | |
|--|----|
| MODELLENMESİ VE SONUÇLARININ TAHKİK EDİLMESİ..... | 56 |
| 4.1. Giriş..... | 56 |
| 4.2. Ankastre Kolon Ayaklarının Bilgisayar Ortamında Modellenmesi. | 57 |
| 4.2.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının analitik uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması..... | 64 |
| 4.3. Mafsallı Kolon Ayaklarının Bilgisayar Ortamında Modellenmesi.. | 67 |
| 4.3.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının analitik uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması..... | 69 |
| 4.4. Kargir Mesnet Üzerine Taban Levhalı Oturan Kiriş Birleşiminin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi..... | 70 |
| 4.4.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının analitik uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması..... | 72 |
| 4.5. Kargir Mesnet Üzerine Mesnet Parçalı Oturan Kiriş Birleşiminin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi..... | 72 |
| 4.5.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının analitik uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması..... | 75 |
| 4.6. Moment Aktaran Sürekli Kiriş Birleşimlerinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi..... | 75 |
| 4.6.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının analitik uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması..... | 79 |
| 4.7. Çekme Başlığı Ek Levhalı Birleşimlerinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi..... | 80 |
| 4.7.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının analitik uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması..... | 82 |
| 4.8 Enine Ek Levhalı Birleşimlerinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi..... | 83 |

| | |
|--|-----|
| 4.8.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının analitik uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması..... | 84 |
| 4.9. Başlık ve Gövdeden Takviyeli, Ek Levhalı Bileşimlerinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi..... | 85 |
| 4.9.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının analitik uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması..... | 87 |
| 4.10. Bulonlu Ek Levhalı Bileşimlerinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi..... | 88 |
| 4.10.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının analitik uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması..... | 92 |
| 4.11. Moment Aktarmayan Korniyerli - Cıvatalı Bileşimlerin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi | 94 |
| 4.11.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının analitik uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması..... | 96 |
| 4.12. Bilgisayar Çalışmaları Sonucu Elde Edilen Verilerin Kullanılır Hale Getirilmesi İçin Kullanıcı Arabirimi Yapılması | 97 |
| 4.13. Bilgisayar Hesaplamalarda Kullanılacak Başlangıç Değerlerinin Seçilmesi ve Yeni Modellemelerin Yapılması Esnasında Dikkat Edilmesi Gerekenler..... | 99 |
| | |
| BÖLÜM 5. | |
| SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 102 |
| | |
| KAYNAKLAR..... | 105 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 106 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|----------|--|
| a | : Kaynak kalınlığı |
| EC | : Eurocode |
| F | : Kesit alan |
| G | : Çekme/Basınç gerilmesi |
| h | : Yükseklik |
| I | : Atalet momenti |
| ITAB | : Isı tesiri altındaki bölge |
| M | : Moment |
| Q | : Kesme kuvveti |
| S_x | : X eksenine göre static moment |
| t | : kalınlık |
| t. | : Ton |
| T | : Kayma gerilmesi (τ) |
| TS | : Türk Standardı |
| W_x | : X eksenine boyunca mukavemet momenti |
| σ | : Basınç – Çekme gerilmesi |
| ρ | : Betona ilişkin gerilme değeri |
| τ | : Kayma gerilmesi |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | | |
|------------|--|----|
| Şekil 2.1. | Tipik bir çelik konstrüksiyon uzay çatı cıvata bağlantısı..... | 8 |
| Şekil 2.2. | Boyuna (eksenel) zorlanma sonucu bozulan cıvata bağlantısı ve vida enkesiti..... | 19 |
| Şekil 2.3. | Boyuna (eksenel) zorlanma ile birlikte torsiyon etkisi sonucu bozulan cıvata bağlantısı ve vida enkesiti..... | 19 |
| Şekil 2.4. | Dalgalı ve değişken yükleme altında cıvata bağlantısında bozulma ve vida enkesiti..... | 20 |
| Şekil 2.5. | Dalgalı eğilme etkisi altında bozulan cıvata bağlantısında vida enkesiti..... | 21 |
| Şekil 2.6. | Torsiyon etkisi altında bozulan cıvata bağlantısında bozulma ve vida enkesiti | 22 |
| Şekil 2.7. | Gevrek kırılma ile bozulan cıvata bağlantıları, gerilim çatlakları ve vida ile kafa altı enkesitlerinde gevrek kırılma olayın gözlemlenmesi..... | 22 |
| Şekil 3.1. | Uygun kaynak ağzı formları | 27 |
| Şekil 3.2. | Oluk pozisyonun şematik gösterimi..... | 29 |
| Şekil 3.3. | Kaynak örtüsünün dikiş profilin üzerindeki üniformalık ve şekil etkisi..... | 35 |
| Şekil 3.4. | Torç tutuşunun kaynak dikişi üzerindeki etkileri..... | 46 |
| Şekil 3.5. | Gazaltı kaynağında yatay pozisyonda iç köşe kaynağı için torç tutuş pozisyonu | 47 |
| Şekil 4.1. | Ankastre kolon ayağı..... | 57 |
| Şekil 4.2. | Ankastre kolon ayağı için veri girişi kısmının oluşturulması..... | 58 |
| Şekil 4.3. | Taban levhası üzerindeki maksimum basınç ve çekme kuvvetlerinin hesap edilmesi..... | 59 |
| Şekil 4.4. | Beton basıncı ve ankraj bulonu tahkikleri..... | 60 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 4.5. | Taban levha kalınlığı tahkiki..... | 60 |
| Şekil 4.6. | Guse ve kolon arasındaki (a1) kaynağının tahkik edilmesi..... | 61 |
| Şekil 4.7. | Guse uç kesitinde gerilme analizi | 61 |
| Şekil 4.8. | Taban levhası üzerindeki kaynakların kontrolü..... | 62 |
| Şekil 4.9. | Ankraj bulonları için aderans kuvveti tahkiki..... | 62 |
| Şekil 4.10. | Ankraj bulonları için dizpozisyon ve tertibat verilerin kütüphaneden verilmesi | 63 |
| Şekil 4.11. | Kama tahkiki için beton sınıfı ve malzeme yeterliliği sınaması ... | 64 |
| Şekil 4.12. | Kamay taban levhasına bağlayan kaynaklarda tahkik..... | 64 |
| Şekil 4.13. | Mafsallı kolon ayağı | 67 |
| Şekil 4.14. | Mafsallı kolon ayağı için veri girişi kısmının doldurulması..... | 69 |
| Şekil 4.15. | Mafsallı kolon ayağı hesap çıktıları | 69 |
| Şekil 4.16. | Kargir mesnet üzerine taban levhalı oturma birleşimi..... | 70 |
| Şekil 4.17. | Kargir mesnet üzerine taban levhalı oturma bileşim detayına ait bilgi girdisi oluşturulması..... | 71 |
| Şekil 4.18. | Kargir mesnet üzerine taban levhalı oturma bileşim detayına ait hesap çıktıları | 72 |
| Şekil 4.19. | Kargir mesnet üzerine mesnet parçalı oturan kiriş birleşimi..... | 72 |
| Şekil 4.20. | Kargir mesnet üzerine mesnet parçalı oturan kiriş bileşimi için veri girişi kısmının oluşturulması..... | 73 |
| Şekil 4.21. | Kargir mesnet üzerine mesnet parçalı oturan kiriş bileşimi için hesap ve hesap çıktıları..... | 74 |
| Şekil 4.22. | Moment aktaran sürekli kiriş birleşimi..... | 75 |
| Şekil 4.23. | Moment aktaran sürekli kiriş birleşimlerine ait veri girişi kısmının oluşturulması..... | 76 |
| Şekil 4.24. | Moment aktaran sürekli kiriş birleşimlerine ait hesap ve hesap çıktıları..... | 78 |
| Şekil 4.25. | Moment aktaran sürekli kiriş birleşimlerine ait konstraktif bazda cıvata mesafelerinin kontrolü..... | 78 |
| Şekil 4.26. | Çekme başlığı ek levhalı birleşimi..... | 80 |
| Şekil 4.27. | Çekme başlığı ek levhalı birleşimlere ait veri girişi kısmının oluşturulması..... | 81 |
| Şekil 4.28. | Çekme başlığı ek levhalı birleşimlere ait hesap ve hesap | |

| | |
|---|-----|
| çıktıları..... | 82 |
| Şekil 4.29. Enine ek levhalı ek birleşimi..... | 83 |
| Şekil 4.30. Enine ek levhalı ek birleşimlerine ait veri girişi kısmının oluşturulması | 83 |
| Şekil 4.31. Enine ek levhalı ek birleşimlerine ait hesap ve hesap çıktıları | 84 |
| Şekil 4.32. Başlık ve gövdeden takviyeli, ek levhalı birleşim..... | 85 |
| Şekil 4.33. Başlık ve gövdeden takviyeli, ek levhalı birleşimlere ait veri girişi kısmının | 86 |
| Şekil 4.34. Başlık ve gövdeden takviyeli, ek levhalı birleşimlere ait hesap ve hesap çıktıları | 87 |
| Şekil 4.35. Bulonlu - ek levhalı birleşim | 88 |
| Şekil 4.36. Bulonlu - ek levhalı birleşim probleminin şematik gösterimi | 89 |
| Şekil 4.37. Bulonlu - ek levhalı birleşimlere ait veri girişi kısmının oluşturulması..... | 89 |
| Şekil 4.38. Bulonlu - ek levhalı birleşimlere ait hesap ve hesap çıktıları | 92 |
| Şekil 4.39. Moment aktarmayan korniyerli - cıvatalı birleşimi..... | 94 |
| Şekil 4.40. Moment aktarmayan korniyerli – cıvatalı bağlantılar için veri girişi, hesap ve hesap çıktılarının gösterilmesi..... | 97 |
| Şekil 4.41. Çelik yapı birleşimlerine ait modellemelerden veri kütüphanesi ve kullanıcı arabirimi oluşturulması..... | 98 |
| Şekil 4.42. İmalat esnasında şekil değiştirmeye maruz kalma riskine sahip bir kirişin şematik gösterimi..... | 100 |
| Şekil 4.43. Başlıkları yalnızca bir yüzünden berkitmeler ile kaynatılması dizayn edilmiş uzun bir kiriş elemanı..... | 101 |

TABLolar LİSTESİ

| | | |
|------------|---|----|
| Tablo 2.1. | Cıvata birleşimlerinde cıvatalara uygun öngerilme kuvveti verilmesi..... | 9 |
| Tablo 2.2. | Cıvataların akma mukavemetinde kalite, malzeme ve ısı ilişkisi.. | 11 |
| Tablo 2.3. | Cıvataların kopma mukavemetinde kalite, malzeme ve ısı ilişkisi | 11 |
| Tablo 2.4. | Çelik konstrüksiyonda bağlantı elemanlarının mukavemet değerleri | 15 |
| Tablo 2.5. | Konstrüksiyon elemanlarının mukavemet değerleri | 16 |
| Tablo 2.6. | Vinç çelik konstrüksiyonunda bağlantı elemanlarının mukavemet değerleri | 17 |
| Tablo 2.7. | Vinç çelik konstrüksiyonunda konstrüksiyon elemanlarının mukavemet değerleri..... | 17 |
| Tablo 3.1. | DIN 17100'e göre yapı çeliği olarak kullanılacak çelik türleri..... | 24 |
| Tablo 3.2. | Bazı alaşımsız yapı çeliklerinin element C, Si ve Mn içerikleri ... | 25 |
| Tablo 3.3. | Alaşımsız çelikler için bağlantı tipi, levha kalınlığı ve kaynak pozisyonuna bağlı olarak, elektrod çapı, paso sayısı, kaynak akımı, minimum ark gerilimi ve kaynak hızı değerleri I..... | 30 |
| Tablo 3.4. | Alaşımsız çelikler için bağlantı tipi, levha kalınlığı ve kaynak pozisyonuna bağlı olarak, elektrod çapı, paso sayısı, kaynak akımı, minimum ark gerilimi ve kaynak hızı değerleri II..... | 31 |
| Tablo 3.5. | Alaşımsız çelikler için bağlantı tipi, levha kalınlığı ve kaynak pozisyonuna bağlı olarak, elektrod çapı, paso sayısı, kaynak akımı, minimum ark gerilimi ve kaynak hızı değerleri III..... | 32 |
| Tablo 3.6. | Alaşımsız çelikler için bağlantı tipi, levha kalınlığı ve kaynak pozisyonuna bağlı olarak, elektrod çapı, paso sayısı, kaynak akımı, minimum ark gerilimi ve kaynak hızı değerleri IV..... | 33 |
| Tablo 3.7. | TS 563 EN 499'a göre alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin | |

| | | |
|-------------|--|----|
| | kaynağında kullanılan elektrodların gösterilişi | 38 |
| Tablo 3.8. | AWS'ye göre örtülü karbon çeliği ark kaynağı elektrodları..... | 39 |
| Tablo 3.9. | Elektrod işaretlerinin sonuna gelen eklerin anlamı..... | 40 |
| Tablo 3.10. | AWS' ye göre gazaltı kaynağı için uygun tel elektrodlar..... | 47 |
| Tablo 3.11. | Gazaltı kaynağı için koruyucu gaz seçimi..... | 49 |
| Tablo 3.12. | Gözenek oluşumu hataları ve giderilme yolları..... | 51 |
| Tablo 3.13. | Kaynak metalinde çatlak oluşumu hatası | 52 |
| Tablo 3.14. | İTAB bölgesinde çatlak oluşumu hatası..... | 52 |
| Tablo 3.15. | Ergime azlığı hatası..... | 53 |
| Tablo 3.16. | Yanma oluşu oluşumu hatası (undercut)..... | 54 |
| Tablo 3.17. | Aşırı nüfuziyet hatası..... | 54 |
| Tablo 3.18. | Yetersiz nüfuziyet hatası | 55 |
| Tablo 4.1. | Ankraj bulonları için dizpozisyon ve tertibat verileri | 63 |
| Tablo 4.2. | “F” katsayısının alınmasına ilişkin değerler..... | 95 |

ÖZET

Anahtar kelimeler: Çelik Yapılar, Birleşimler, Cıvata, Kaynak

Çelik yapıların güvenlik ve performans düzeylerinin belirlenmesinde birleşim unsurlarının belirleyici ve etkin bir özelliği bulunmaktadır. Geometrik faktörler ve konstrüktif olgular nedeni ile çeşitlilik gösteren çelik yapı birleşimlerinin projelendirilme çalışmalarında, tüm detay noktalarının incelenmesi detayların birbirinden farklı oluşu nedeni ile çok uzun bir zaman dilimi alabilmektedir. Hatta bazı durumlarda literatür içerisinde mevcut konumu ile yer almayan birleşim şekilleri ile karşılaşılması mümkün olabilir.

Çelik yapılar konusunda Türk Standartlarına uyumluluk göstermeye çalışan statik çözümlene amacındaki bilgisayar yazılımları ile ilgili örneklerin olmasına karşın, çelik yapı birleşimlerinin tasarlanmasına ilişkin kapsamlı bir yazılımın olmadığına rastlanılmaktadır. Bu tür bir yazılım, çelik yapı birleşimlerinin bilgisayar ortamında modellenmesi ile elde edilebilir. Çelik yapı birleşimlerinin hızlı, performanslı ve hatalardan uzak bir şekilde çözümlenmesinde, bir veritabanı oluşturarak bu tarz bir yazılım kullanılması faydalı olacaktır.

AN INVESTIGATION OF THE CONNECTION MEMBER'S BEHAVIOR OF THE STEEL

SUMMARY

Key Words: Steel constructions, Connections, Bolt, Weld

Connections of the steel constructions have an effective role at the determination of the safety and performance of steel structures. Examining the all components of a steel construction requires a long period of time because of the variety of the components as a result of geometric factors and constructive facts. Even some steel construction connection designs would not be gained by the methods of the classical literature.

Although software examples that are performing structural analysis according to TS648 (Building code for steel structures in Turkey) are existent, extensive softwares that are proposing solutions about steel construction connections are not existent yet in Turkey. It's possible to produce such softwares by modelling the steel construction connection solutions at the computer environment. For the fast, perfect and high performance gained solutions of steel construction components, such softwares should be used by the establishment of a database.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Giriş

1999 Marmara Depremi ile özellikle Marmara bölgesinde çelik, Türkiye nüfusunun büyük bir bölümünün yaşadığı bu bölgenin tercih edilen yapı malzemelerinden biri olma yolunda önemli adımlar atmıştır. Daha önceleri diğer yapı elemanlarına nazaran az kullanılan çeliğin son yıllarda az katlı bireysel konut ihtiyacının karşılanmasında dahi kullanıldığına rastlanılmaktadır. Buna bağlı olarak çelik yapıların daha geniş bir uygulama alanı bulması sonucu, projelendirilme ve imalat aşamalarında yeni ufukların açıldığı söylenebilir.

Çelik yapıların güvenlik ve performans düzeylerinin belirlenmesinde birleşim unsurlarının belirleyici ve etkin bir özelliği bulunmaktadır. Çelik yapı birleşimleri için mevcut literatür içerisinde belli öneriler ve standart tipler olmasına karşın birleşim ögesinin mevcut konumu, birleştirilen parçaların geometrik yada işlevsel özellikleri, çeşitli konstrüktif kurallar veya imalat esasları nedeniyle çeşitlilik göstermesi mümkündür.

Çelik yapıların elde edilmesi esnasında yapı elemanları birleşim araçları sayesinde bir araya getirilir. Birleşim ögeleri yapı elemanlarından bağımsız olup birleştirdiği ögelere göre farklılık göstermektedir. Birleşen öge ve birleştiren öge bir arada yada birbirinin uzantısı konumunda değildir. Dolayısı ile göçmeye neden olabilecek olası yüklemeler altında, birleşim ögelerinin yapı elemanlarından önce tahrip olarak yapıların kısmen yada bütünüyle zarar görmesine sebep olması mümkündür.

1.2. Motivasyon

Literatürlerde klasik olarak yer almayan çelik yapı bileşim unsurları ile karşılaşıldığında çözüm önerisi getirilmesi tasarımcının değerlendirmesine kalabilir.

Projelendirme esnasında farklı tasarımlarla karşılaşılması mukavemet prensipleri açısından bir fark oluşturmayacaktır. Ancak birleşim unsurlarının projelendirmesi aynı zamanda konstrüktif kurallar ve imalat esaslarına da bağlıdır. Buradan da anlaşılacağı gibi üretilecek çözümün birçok olgunun bir arada değerlendirilerek hazırlandığı uygulanabilir bir çözüm olması gerekmektedir.

Bir diğer nokta da çelik yapı bileşim unsurlarının hesap yöntemleri içerisinde varsayımların bulunmasıdır. Literatürde standart çözümü yer almayan problemler için tasarımcı tarafından üretilecek çözüm içerisinde tip ve unsur benzerliğinden dolayı diğer bir probleme ait varsayımlar kullanılmak istenebilir. Ancak referans alınan varsayımların yeni problem içerisinde sonucun doğruluğuna olan etkisi, alındığı problem ile aynı mertebede olmayabilir. Bu tip denemelerde çözümün deneysel yollarla sınanması gereklidir.

Bu tip problemlerle karşılaşıldığında hem çözüm yolunun oluşturulması hem de deney ve benzeri yollarla doğrulamasının yapılması çelik yapı birleşimlerinin çözümünde uzun bir süre ve büyük bir finansal kaynağının harcanmasına sebebiyet verebilir. Çelik yapı birleşimlerinin hesaplanmasına ilişkin literatürün bireysel çözümlere nazaran akademik kuruluşlar tarafından kabul edilen usul ve metotlarla geliştirilerek yapı sektörüne sunulmasında daha güvenli ve performanslı yapıların elde edilmesine adına fayda vardır. Zira bireysel çözümlerde tasarımcıların tecrübe ve bilgi dağarcıkları farklı çözümler üretebilir.

Çelik yapı birleşimlerin hesap edilmesinde karşılaşılan diğer bir sorunda uzun bir zaman dilimine ihtiyaç duyulmasıdır. Bir birleşimin sağlıklı ve verimli bir şekilde projelendirilmesi için iteratif işlemlerin yeterince tekrarlanmasında fayda vardır. Birleşim türlerinin çeşitli oluşu da bir yapıda oluşan tüm birleşim detaylarının incelenmesinin manuel metotlarla yapılmasını harcanan zaman dilimi açısından imkansız kılar. Öte yandan zamanın verimli kullanılması ihtiyacı çeşitli matematiksel ve mantıksal hataların yapılmasına sebebiyet verebilir.

Çelik yapı birleşimlerine ait projelendirme çalışmalarının doğruluk ve hız açısından bilgisayar ortamında çözülmesi yapı güvenliği ve performansı açısından faydalı

olacaktır. Birleşim unsurları üzerine yapılan mevcut ve ilave literatür çalışmaları derlenerek, elektronik ortamda bir veritabanı oluşturulması durumunda çelik yapı birleşimleri yoruma mahal verilmeyecek şekilde, hızlı ve güvenli bir şekilde çözümlenebilir. Maksimum ekonomi ve en üst düzey performansın elde edilmesi için gereken iteratif işlemler maksimum sayıda ve kısa sürede elde edilecektir. Hesap adımlarına ait başlangıç verilerinden birisinin değerinde olan değişme o birleşimin hesabının yeniden gözden geçirilerek yapılması demektir.

Ülkemizde TS 648 şartlarına bağlı olarak çelik yapılar konusunda istifade edilecek sistem ve eleman bazında benzer yazılımlar olmasına karşın birleşim unsurları için kapsamlı bir yazılımın henüz üretilmediği söylenebilir. Ülkemizde en çok kullanılan yapı cinsi olan betonarme yapıların inşaat sektöründe hızlı ve hatadan uzak projelendirilmesi ile ilgili bir araştırma yapıldığında, çözümlerinin tasarımcıların yorum yapmasına mahal verilmeksizin, Türk standartlarına uygun şekilde ve tamamıyla bilgisayar ortamında yazılımlar vasıtasıyla yapıldığına rastlamaktayız. Çelik yapılarda ise bu tip bir akışın henüz hakim olmadığı görülür. Eleman ve sistem bazında çözümlerinin bilgisayar ortamında, yapılması gereken diğer kontrollerin ise el yordamı ile yapıldığı gözlenmektedir.

1.3. Kapsam

Çelik yapılarda birleşim unsurlarının incelenmesi genel olarak ele alındığında çok geniş bir içerik ile karşılaşılır. Konunun bir çok değişik literatürün ortak değerlendirilmesi sonucu irdelenebileceği ve incelenecek unsurların sayısında bir üst sınır olmaması bu durumun temel sebebidir. Buna bağlı olarak Tez içerisinde yapılan çalışmanın bir başlangıç çalışması yada sınırlı bir çalışma olarak nitelendirilebilmesi mümkündür. Konunun bir Tez konusu içerisinde bütünüyle incelenmesi olanaksızdır.

Tezin ana konusu “Çelik yapılarda bileşim unsurlarına ait birleşim detayları Türk Standartlarına uygun olarak bilgisayar ortamına taşınabilir mi? Böyle bir çalışmadan çelik yapı birleşimlerinin hesabı açısından ne tür faydalar sağlayabilir?” sorularına ait cevaplarının aranmasıdır. Benzeri bir çalışma “Prokon Software Consultant Ltd. (75

Lower Richmond Road Putney, London/United Kingdom)” tarafından AISC ve EC3 şartnamelerine göre “Prokon Calcpad” adlı bir yazılım altında yapılmıştır. Yazılım başlangıç için 9 adet birleşim çeşidi içeren sonradan ilave birleşim çeşitlerinin eklenebildiği bir formattadır. Firma, programın mevcut veritabanını güncellemeye devam etmektedir.(www.prokon.com) Ürün aynı zamanda sistem ve eleman bazında çeşitli hesap prosedürlerini de içermektedir.

İncelenen birleşim çeşitlerinin sayısı hem literatürde çözüm önerisi bulunan hem de bulunmayan birleşimlerin modellenmesi ile artırılarak bir veritabanı kütüphanesi oluşturulursa, çelik yapı birleşimleri bilimsel olarak kabul edilen metotlarla, elde edilen sonuçların karşılaştırılarak tekrar değerlendirilebildiği iterasyonlu bir çalışma ile hesaplanabilir. Yapılan çalışmanın maksimum verime ulaşabilmesi için ayrı modüller halinde üretilen çelik yapı birleşimi hesap yazılımlarının mevcut yazılıma entegre edilebilmesine imkan veren bir kullanıcı arabirimi hazırlanması gerekir. Bu sayede birleşim türleri arttırıldıkça mevcut yazılım içerisine ilave edilebilecektir. Böylece yapı güvenliği ve performansı açısından çelik yapı birleşimlerinin projelendirilmesi adına verimli bir adım atılmış olunur.

Çelik yapı birleşimleri için modeller oluşturulabilmesi, hesaplanması, yapımı, denetlenmesi ve en üst düzey performans elde edilmesi için çelik yapı birleşim araçlarına ait projelendirme ve yapım safhalarının bir arada değerlendirilmesi etkili bir yol olabilir. Betonarme yapılar göz önüne alındığında imalat aşamasının kalıp yapılması, inşaat demirine şekil verilmesi ve kalıpla çevrelenmiş donatı üzerine beton atılması üzerinde yoğunlaştığı söylenebilir. Dolayısı ile bu uygulamaların daha çok geometrik standart ve insan gücüne dayalı olduğu gözlemlenir. Çelik yapılar için aynı durum göz önüne alındığında teknolojik imkanların ağırlıklı olarak kullanıldığı değişik literatürden bir takım verilerin de değerlendirilmesi gereken bir uygulama ortaya çıkar. Buna örnek olarak kaynak tekniğinin alaşimsız düşük eşdeğer karbon oranlı çeliklerin bir araya getirilmesinde kullanımı gösterilebilir.

Çalışmanın 2. Bölüm’ünde cıvata teknolojisinin yapı çeliğini ilgilendiren literatürü konusunda detaylı ve kapsamlı bir araştırma yapılmaktadır. Bu sayede daha üst performans düzeylerinde çelik yapı ve çelik yapı birleşimleri elde edilmesi

hedeflenmektedir. Öte yandan literatür kaynakları içerisinde çözüm önerilmeyen birleşim çeşitleri için öneri getirilmesi esnasında göz önüne alınması gereken unsurlar tartışılmaktadır. Benzer şekilde çalışmanın 3. Bölüm'ünde aynı amaç doğrultusunda kaynak teknolojisinin yapı çeliğini ilgilendiren literatürü konusunda detaylı ve kapsamlı bir araştırma yapılmaktadır. Çalışmanın 4. Bölüm'ünde ise lineer elastik koşullar altında, 2 boyutlu koordinat düzleminde yüklemelere maruz kaldığı kabul edilen ve literatürde karşılaştırma imkanı olan örnekler üzerinde birleşim unsurlarının bilgisayar ortamında modellenerek çözümlenmesi ele alınmaktadır. Tez içerisinde amaçlanan hedeflere ulaşılabilmesi için geliştirilen bilgisayar programının arayüzü tanıtılmaktadır.

BÖLÜM 2. ÇELİK YAPI BİRLEŞİMLERİNİN PERFORMANS VE EMNİYETİNDE CİVATA TEKNOLOJİSİ

2.1. Giriş

Cıvatalar çelik yapı birleşimlerinde en çok kullanılan iki birleşim aracından biri olarak kabul edilebilir. Cıvatalar hakkında etkin bilgi sahibi olmak daha verimli ve sağlıklı birleşimlerin projelendirilmesi ve yapılması hususunda faydalı olacaktır. Zira diğer popüler birleşim aracı olan kaynağın, geometrik ya da metalürjik nedenlerle yapılamayacağı şartlar olduğundan cıvata ve perçinlerin kullanımı önem kazanmaktadır.

Çelik yapılarda üretim aşaması, teknolojinin nimetlerinden faydalanmak amacıyla genellikle kapalı bir atölye ortamı içerisinde gerçekleşir. Bu yüzden çelik yapı elemanlarının nakliyesi bazen bir sorun haline gelebilir. Yapıyı yerinde üretmeden bu problemin aşılmasının en hızlı ve kolay yolu cıvata kullanımından geçmektedir. Literatür kaynaklarında çözüm önerisi verilmemiş olan cıvatalı çelik yapı birleşimlerine çözüm önerisi getirebilmek için, cıvata teknolojisinin yapı çeliğini ilgilendiren literatürü konusunda detaylı bilgi sahibi olunması daha üst performans düzeylerinde çelik yapı ve çelik yapı birleşimlerinin elde edilmesinde etkili olabilir.

Bu Bölüm’de cıvatalı birleşimlerin bozulması, imal edilmesi, ortam şartlarının mukavemet özellikleri üzerindeki etkisi ve seçilmesi gibi konular irdelenerek “cıvatalı çelik yapı bağlantılarında performans arttırılması ve güvenlik düzeyinin iyileştirilmesi için alınabilecek önlemler nelerdir?” sorusuna cevap aranacaktır.

2.2. Çelik Konstrüksiyon Birleşimlerinde Cıvataların Kullanımı ve Çalışma Prensipleri

Çelik yapılarda kullanılan cıvataları temel olarak bağlantı cıvataları ve transmisyon cıvataları olarak 2 sınıfa ayırmak mümkündür. Bağlantı cıvataları enine karakterdeki kuvvetleri taşıma karakterine sahipken transmisyon cıvataları düz hareketi dönme hareketine ya da dönme hareketini düz harekete çeviren cıvatalardır. Başka bir deyişle transmisyon cıvataları hareket aktarmaktadır.

Başka bir sınıflandırma ise kuvvet etkileşimine göre yapılan isimlendirme sonucu oluşur. Bu sınıf aynı zamanda cıvatanın kuvvete karşı karakteristik çalışma prensibini ortaya koyar. Dış kuvvet etkisinden önce hiçbir önyüklemeye ve ön kuvvete maruz kalmayan cıvatalara öngermesiz cıvata denmektedir. Öngermesiz cıvatalar çelik konstrüksiyon yapı birleşimlerinde en çok kullanılan cıvata grubudur. Bu tip cıvatalar bir basınç ya da çekme etkisi altında çalışırlar. Öngermeli cıvata birleşimlerine ise kuvvetlerin daha büyük olduğu ve yapı emniyetinin daha fazla ön plana çıktığı köprü ya da yüksek yapıların inşasında rastlanılmaktadır.

Öngermeli olamayan cıvataların tam emniyetle çalışmaları aşağıdaki şartlara bağlıdır [1] ;

1. Cıvata bağlantısının fonksiyon ve zorlanma şeklinin belirlenmesi
2. Şartlara göre malzemenin seçimi
3. Gerekli olan emniyet şekli ve katsayılarının doğru olarak belirlenmesi
4. Uygun montaj usulünün seçimi ve bunun kontrol edilmesi

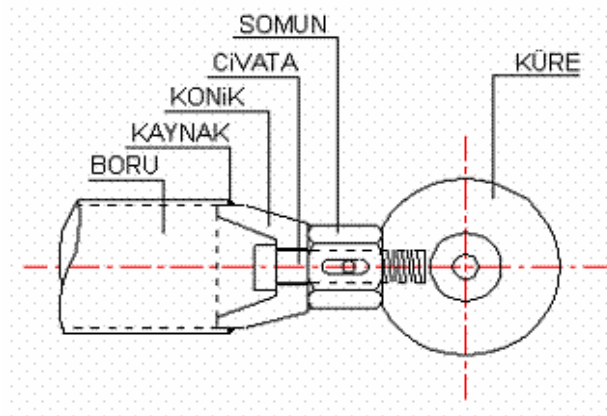
Öngermeli cıvata sistemlerinde ise dış yükün etkisinden önce önyüklemeye olması söz konusudur. Öngermeli cıvata sistemlerinde öngermeli olmayan cıvata sistemlerindeki emniyet faktörlerine bir takım koşullar eklenmesi ile tam emniyetli bir çalışma şekli elde edilmiş olunur. Bu ilavelerin en önemli olanları uygun bir kuvvet ile sıkma ve eğer öngermeye tam ise yüzeyin bu duruma uygun olacak şekilde hazırlanmış olmasıdır. Bu konu ile ilgili daha detaylı bilgi için EC3:1992 Bölüm 6 ve Bölüm 7 ye bakılabilir.

Yüzey hazırlığı işleminin odağı civata vasıtasıyla birbirine bağlanan elemanlar arasında kalan “kayma yüzeyi” üzerinde gerçekleşen bir takım işlemler bütünüdür. Bu işlemler sonucunda aşağıda verilen yüzeylerden birisi mevcut olduğunda yüzeyin tam öngerme için ideal olduğu kabul edilir. Bu yüzeylerin imalat sonrası boyanmaması da gerekir. Genellikle moment aktaran kiriş-kolon birleşimlerinde, kolon ve kiriş eklerinde bu tertibatın uygulandığına rastlanılmaktadır.

1. Çukurlaşmamış gevşek paslı, bilye ya da grit ile kumlanmış yüzey
2. Bilye ya da grit ile kumlanmış, alüminyumlu püskürtme metal kaplı yüzey
3. Bilye ya da grit ile kumlanmış, çinko esaslı püskürtme metal kaplı ve en az 0.5 kayma faktörü elde etmek için test edilmiş yüzey

Uygun yüzeyin sağlanmasından sonraki adım ise uygun bir öngerilme kuvveti verilmesidir. Rondelaların hem şaft hem de somun kısmında olmak üzere çift kullanılması gerektiği de unutulmamalıdır [2]. Uygun öngerilme kuvvet değerleri için Tablo 2.1.’de verilen değerler kullanılabilir.

Şekil faktörlerine göre inbus, havşa başlı, altıköşe, mercek başlı ve saplama gibi isimlerle anılan bağlantı civatalarının çoğunlukla altıköşe formları (TSE1021), transmisyon civatalarının ise saplama formunda olanı çelik yapıları birleştirmek amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Bununla birlikte özel uygulamalarda civataların şekil faktörünün görülmesinin mümkün olmadığı durumlar mevcuttur. Örneğin civata sistemi özel küreler içerisine alınarak ana parçaya bir konik eleman yardımıyla kaynatılır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Tipik bir çelik konstrüksiyon uzay çatı civata bağlantısı

Tablo 2.1. Cıvata birleşimlerinde cıvatalara uygun önerilme kuvveti verilmesi [1]

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | 7 | 8 | 9 |
|------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------|--|-------|--|--|--------------------------------|------------------------|
| | | | | Bulonlara önerilme verilmesi | | | | | |
| Bulon Çapı | Minimum önerme kuvveti Fv | Döndürme momenti yöntemi | | Ayarlı sıkma yöntemi | | Döndürme yöntemi | | | |
| | | Uygulanacak Ma sıkma momenti | | Uygulanacak ön sıkma kuvveti Fv ⁽²⁾ | | Uygulanacak ön sıkma momenti Ma ⁽²⁾ | Birleştirilen parçaların toplam uzunluğu lk ⁽³⁾ | Dönmeye açısı j ⁽²⁾ | Devir U ⁽²⁾ |
| | | MoS2 ⁽¹⁾ ile yağlanmış | Hafif yağlanmış | | | | | | |
| | kN | Nm | Nm | kN | Nm | | mm | | |
| 1 | M12 | 100 | 120 | 60 | 10 | | | | |
| 2 | M16 | 250 | 350 | 110 | 50 | | | | |
| 3 | M20 | 450 | 600 | 175 | 100 | | | | |
| 4 | M22 | 650 | 650 | 210 | | | | | |
| 5 | M24 | 800 | 1100 | 240 | | | | | |
| 6 | M27 | 1250 | 1650 | 320 | | | | | |
| 7 | M30 | 1650 | 2200 | 390 | 200 | | | | |
| 8 | M36 | 2800 | 3800 | 560 | | | | | |
| 9 | M12 | | | | see | 0 to 50 | 180° | 1/2 | |
| 10 | to | | | | lines | 51 to 100 | 240° | 2/3 | |
| 11 | M36 | | | | 1-8 | 101 to 240 | 270° | 3/4 | |

(1) Bu miktar dişlerin yağlanmasında kullanılan malzemeye bağlıdır.

(2) Bu miktar dişlerin yağlanmasında kullanılan malzemeye bağlı değildir.

(3) M12'den M22'ye kadar olan bulonlarda lk uzunluğunun 171-240mm arasındaki değerleri için 360° dönmeye ve 1 devir uygulanmalıdır. 0,5.Fv ve daha düşük önerme kuvvetleri uygulamak için 3., 4. ve 8. yada 9. sütundaki değerlerin yarısı, elle sıkma yöntemi için ise sübün 6 yeterlidir.

Cıvataların çalışma mekanizması somun adı verilen eleman ile tamamlanır. Bağlantı elemanı, cıvata kafası ile somun arasında açılan diş (paso) üzerinde somunun dönerek ilerlemesiyle sıkışır. Somunun anahtar tarafından tahriki, çözülme ve sıkılma işlemleri esnasında somun yüzeyinde zamanla aşınma meydana gelerek tahrip olmasına sebebiyet verebilir. Dolayısı ile birkaç kez ayarlanması ya da çözülmesi gereken birleşimlerde normal standardın üzerinde bir somun yüksekliğine sahip bir somun seçmek veya cıvataların çapını büyük alarak taşıma yüzeylerini arttırmak gerekir.

Dikkat edilecek bir diğer noktada somunların bağlanacağı cıvata dan daha düşük mukavemet karakteristiğinde bir malzemedan seçilmemesidir. Bu seçimin yapılmış olması cıvata veya somundan zayıf mukavemet karakteristiklerine sahip olanın değerlerine göre hesap yapılmasını gerektirir. Mukavemet özelliklerini bir yana bırakıldığında fonttan dökme somunların kolay zarar görmesinden dolayı bir kereden fazla sıkılacak cıvatalı birleşimlerinde kullanılmamasında fayda vardır [1].

2.3. Cıvatalı Çelik Konstrüksiyon Birleşimlerinin Ortam Şartlarından Etkilenmesi

Cıvataların mukavemet değerleri X.X formunda bir yazılım ile ifade edilirler. Bunlardan ilk rakam 100 ile çarpıldığında cıvatanın N/mm^2 cinsinden $20^{\circ} C$ ' deki kopma mukavemetini verir. Birinci ve ikinci sayının çarpımının 10 katı ise cıvatanın N/mm^2 cinsinden akma dayanımını vermektedir. Isı etkisi cıvatanın mukavemet karakteristiği üzerinde doğrudan etkilidir. Dolayısı ile cıvatalı çelik bağlantılarında yapı içerisindeki ısı durumu hakkın da bilgi sahibi olunmalı ve gerekirse hesaplarda yangı riski vb. olgulara göre mukavemet değerleri düşürülmelidir. Tablo 2.2. ve 2.3.'te ısı ve malzeme cinsinin etkileşimlerine göre çeşitli kalite sınıflarındaki cıvatalara ait mukavemet değerleri mukayese edilmektedir. [1]

Korozyon etkisi, cıvataların vazifelerini verimli bir şekilde yerine getirebilmesi için önlenmesi gereken bir olaydır. Bunun önüne geçebilmek için cıvata ve aksamalarının kaplanması yoluna gidilebilir. Galvanize edilmiş krom ve çinko alaşımları ile çinko oranı yüksek olmamak üzere kaplamalar yapılabilir. Kaplama çeşitlerinden bir tanesi

2.4. Çelik Konstrüksiyon Birleşimlerinde Cıvataların Seçilmesi ve Kullanılmasında Dikkat Edilmesi Gereken Unsurlar

Çelik konstrüksiyon birleşimlerde yaygın olarak kullanılan altıköşe bağlantı cıvataların işaretlenmesinde yaygın olarak MXXxYY-A.B gösterimi kullanılmaktadır. Buradaki X, Y, A, ve B harfleri sayı değerlerine işaret etmektedir. XX cıvata anma çapını, YY cıvata boyunu ve A.B cıvata kalitesini göstermektedir. Örneğin M12x50-8.8 gösterimli bir cıvata 8.8 kalitesinde, 12mm shaft çapına sahip, 50mm uzunluklu altı köşeli bir cıvatadır.

Bazen cıvatanın şekil faktörü, geometrik özellikleri vb. niceliklerindeki farklılıklar gösterimdeki YY kısmından sonra nokta koyularak bunların ifade edilmesi ve ardından -A.B parametresi yazılarak - ayırıcı ile imalat sınıfının yazılması şeklinde gösterilir. Buna örnek olarak ise M12x50.KSkTo-8.8-B gösterilebilir. Bu örnekte K parametresi kesitin konik oluşunu, Sk baş kısmının delikli olduğunu, To toleranssız olduğunu ve B ise imalat sınıfını göstermektedir.

Karşılaşılan bir diğer gösterim şeklide özel imalat cıvata shaftlarının üst yüzeyinde görülen dört karakterli #Z-WW formudur. Bu cıvatalardaki # karakteri bir harf olup cıvatanın imal edildiği çeliği göstermektedir (örneğin ; A austenit, C martensit, F ferrit çeliği gibi...). Gösterimdeki Z ve W sayıları temsil edip Z alaşım sınıfını, WW ise kopma mukavemetini gösterir. Örneğin A2-80 austenit çeliğinden imal edilmiş, 2 numaralı alaşım sınıfında ve $80 \cdot 10 = 800 \text{ N/mm}^2$ kopma mukavemetine sahip bir cıvatadır.

Altıköşe somunların gösterilmesinde kullanılan yolda cıvata dakine benzerdir. Yaygın olarak kullanılan form MXX-Y şeklindedir. Burada XX shaft çapını, Y ise 5-14 arasında değişip sıyırmaya yol açacak mukavemet değeridir. Somunlarda çapın yanı sıra somun boyuda son derece önemlidir. Sıkma ve çözme işlemlerinde aşınma meydana gelmemesi ve kesitin yorulmaması için yeterli ve doğru bir yükseklikte somun tedarik edilmesi birleşimin sağlığı ve ömrü açısından etkili olmaktadır. “d” somunun ortasındaki iç çap olmak üzere yükseklik değeri 0.8d ila 2.5d arasında

değişmektedir. Cıvatanın kalitesinin artması ve yapım metalinin sertliğinin düşmesi somunun yükseklik değerinde artış gereksinimini beraberinde getirir [1].

Günümüzde 4.6 ve 5.6 kalite cıvatalar için yürürlükte olan en bağlayıcı standart DIN 7990 dır. Daha üst kalitedeki cıvatalarda ise DIN 6914 yönetmenlikleri yürürlükte dir. Somunlarda ise 4.6 ve 5.6 kalite cıvatalarla kullanılmak üzere DIN 555 daha üst kalitelere ise DIN 6915 yönetmelikleri vardır. Rondelalarda da tanımlanmış şartnameler bulunmaktadır. Bunlarda ise 4.6 ve 5.6 cıvatalı sistemler için DIN 7989 ve daha üst kaliteler için DIN 6916 yönetmelikleri vardır.

Cıvatalarda hesap esaslarına göre delik toleranslarının maksimum 1mm olmasına karşın, montaj kolaylığı ve insan faktöründen kaynaklanan mili metrik bazda hatalar yapılabilmesi olasılığından dolayı bu toleransların projelerde artırıldığına rastlamaktayız. Bu artırımda dikkat edilmesi gereken delik büyüklüğünün mümkün olduğunca cıvata shaft çapına eşit olmasıdır. M12 cıvatalar için bu tolerans maksimum 1mm iken, M16, M20 ve M24 cıvatalar için 2mm'dir. Daha büyük cıvatalarda ise bu tolerans 3mm'ye kadar çıkartılabilir.

Öte yandan deliklerin nasıl açıldıkları da cıvatalı birleşimlerin performansı açısından önem teşkil etmektedir. Çelik konstrüksiyon elemanları üzerinde delik açılması için bir çok cihaz mevcut olması ile beraber her cihaz ile bütün konstrüksiyon elemanları üzerinde işlem yapılması doğru değildir. En popüler metotlardan birisi olan hidrolik punch tezgahları ve benzeri darbeli aygıtlar delik açılırken deliğin açılmasının yanında delik çevresinde kılcal çatlaklara sebebiyet verebilmektedir. Açılan bu çatlaklar kuvvet tatbiki esnasında zarar görerek cıvata deliğin zamanla büyümesine ve ardından cıvata birleşiminde hesaplanmayan kuvvetlerin doğmasına hatta birleşimlerin tahrip olmasına neden olabilmektedir. TS648 Bölüm 6.3.1'de de yalnızca statik etkiler altında olup maksimum ST37 sınıfında olan plakların 10mm'den ince olmak koşulu ile zımba vasıtasıyla delinebilir olduğuna dikkat çekilmektedir. İlgili bölümde açılacak delik çapının plak kalınlığının 2/3 mertebesinde olması gerektiğine de işaret edilmektedir.

Benzer şekilde plazmalar tarafından açılan deliklerin ısı etkisiyle açılmasından dolayı cıvata deliği iç cidarının sertleşmesine ve değişken bir çap elde edilmesinden dolayı montaj zorluğunun yanında cıvata yivlerinin yetersiz teması sonucu aşınarak ya da boşta kalarak somunlar tarafından gerekli sürtünme kuvvetinin sağlanamamasına yol açmaktadır. Cıvata deliklerinin açılması için en sağlıklı yolun freze ya da manyetik matkaplar olduğu söylenebilir.

Cıvata delikleri açısından dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise delik şeklinin cıvatanın vidalı kısmına ait şekle uygunluk göstermesidir. Genelde dairesel şekle sahip konstrüksiyon cıvatalarının varlığından dolayı delik şekillerinin dairesel yapıda olmasına karşın bazen montaj kolaylığı açısından avantaj sağlayabilmek ya da mili metrik imalat hatalarının ihmal edilebilmesine yönelik olarak oval formda açıldıkları uygulamalar da mevcuttur. Genelde uygulama gereği dairesel hat ortasından ikiye bölünerek birbirinden delik çapının 2 katı mertebesinde uzaklaştırılır ve böylece oval kısımlarda şeklin köşelerinde kalır. Bu tür uygulamalarda cıvata çekerlerinin hesaplarda yarı yarıya azaltılması önerilmektedir.

2.5. Çelik Konstrüksiyon Birleşimlerinde Kullanılan Cıvataların Ortam Şartlarından Bağımsız Mukavemet Eğilimleri

Cıvataların seçilmesindeki en belirgin nitelik mukavemet değerleridir. Yüklerin dinamik ya da statik karakterde oluşu ve bağlanacak elemanların yapısı da cıvata seçimini doğrudan etkiler. 4.6 kalite cıvataların mukavimi değerleri St37 çeliğine, 5.6 kalite cıvatalarınki ise St52 çeliğine benzerlik göstermektedir [1].

Çelik konstrüksiyon cıvatalarının mukavemet özelliklerine göre isimlendirilmesinde izlenen ana yol shaft ve anma çaplarının birbirine göre durumlarıdır. Eğer cıvatanın shaft ve anma çapı eşitse buna “ham” cıvata, shaft çapı anma çapından 1mm büyükse bu durumda da “alıştırma” cıvatası denmektedir. Bunun yanında hem ham hem de alıştırma cıvatası olarak imal edilebilen, yüksek mukavemet değeri veren yüksek kaliteli cıvatalarda bulunmaktadır.

Delik ile cıvata arasındaki boşluğun $>0.3\text{mm}$ ve $\leq 1.0\text{mm}$ arasında olması durumunda çelik konstrüksiyon bağlantı cıvataların isimlendirilmesi;

1. Kİb : Kesme (K) ve izdüşüm yüzey basınçlı (İb) bağlantılar
2. KaÖ : Ön germeli (Ö) kaymayan (Ka) yüksek kaliteli cıvata bağlantısı

Delik ile cıvata arasındaki boşluğun $\leq 0.3\text{mm}$ olması durumunda çelik konstrüksiyon bağlantı cıvataların isimlendirilmesi;

3. KİbA : Kesme (K) ve izdüşüm yüzey basınçlı (İb) alıştırılmalı (A) bağlantılar
4. KaÖA : Ön germeli (Ö) kaymayan (Ka) ve alıştırılmalı (A) yüksek kaliteli cıvata bağlantısı

Şeklinde yapılmaktadır. [1] Çelik konstrüksiyon cıvatalarının taşıyabileceği mukavemet değerleri bağlantı ve konstrüksiyon elemanları açısından Tablo 2.4. ve 2.5.'te verilmektedir.

Tablo 2.4. Çelik konstrüksiyonda bağlantı elemanlarının mukavemet değerleri (N/mm^2) [1]

| Sıra | Sütun | | | Bağlantı elemanı Bağlantı elemanının malzemesi veya kalitesi | Kesme τ_{KEM} | Gerilim şekli | | | | |
|------|-------------------|----------|------------------------------|--|------------------------------|--|------------|--------------------------------|---|-----|
| | Bağlantı şekli | Ön germe | Delikte boşluk Δd | | | İzdüşüm basma σ_{LEM}^{*1} | | Çekme $\sigma_{\text{ÇEM}}$ | | |
| | | | | | | H | HZ | H | HZ | H |
| 1 | Kİb | yok | 0,3 ... 2,0 | 4.6 kaliteli cıvatalar 4.6 kaliteli havşa başlı DIN 7969 $\Delta d \leq 1 \text{ mm}$ için | 112 | 126 | 280 | 320 | 110 | 125 |
| 2 | | | | 5.6 kaliteli cıvatalar 5.6 kaliteli havşa başlı DIN 7969 | 168 | 192 | *)2 420 | *)2 470 | 150 | 170 |
| 3 | | | | 10.9 yüksek kaliteli cıvatalar DIN 6914 | 240 | 270 | *)3 | *)3 | 360 | 410 |
| 4 | KİbA | yok | \leq 0,3 | 4.6 alıştırma cıvatası, DIN 7968 RSt 36 Perçinler DIN 124/DIN 302 | 140 | 160 | 320 | 360 | 110 | 125 |
| 5 | | | | 5.6 alıştırma cıvatası, DIN 7968 RSt 44 Perçinler DIN 124/ DIN 302 | 210 | 240 | *)2 480 | *)2 540 | 150 | 170 |
| 6 | | | | 10.9 yüksek kaliteli alıştırma cıvatası DIN 7999 | 320 | 320 | *)3 | *)3 | 360 | 410 |
| 7 | KaÖ KaÖA | tam | \leq 0,3 | 10.9 yüksek kaliteli alıştırma cıvatası DIN 6914 ve DIN 7999 | - | - | *)3 | *)3 | $\frac{0,8 \cdot F_{\text{Ön}}}{A_{\text{GE}}}$ | |

Tablo 2.5. Konstrüksiyon elemanlarının mukavemet değerleri (N/mm²) [1]

| Sıra | Sütun | | | a | b | c | d | e | | | | | |
|------|--|-------------|---------------------------------|--|-----|-----|-----|-----|------------------------------|---------|-------|--|--------------------|
| | Bağ- lantı şekli | Ön germe | Delikte boşluk Δd | | | | | | Bağlantı elemanının kalitesi | Malzeme | | | |
| | | | | | | | | | | St 37 | St 52 | | Yükleme durumu *)5 |
| H | HZ | H | HZ | | | | | | | | | | |
| 1 | Kİb | yok | 0,3 ... 2,0 | 4.6 kaliteli cıvatalar DIN 6914, yüksek kaliteli cıvatalar | 280 | 320 | 420 | 480 | | | | | |
| | | | ≤ 1 mm | 5.6 kaliteli cıvatalar | | | | | | | | | |
| 2 | | yarım | 0,3 ... 2,0 | DIN 6914, yüksek kaliteli cıvatalar | 380 | 430 | 570 | 645 | | | | | |
| 3 | KİbA | yok | $\leq 0,3$ | DIN 124 ve DIN 302, Perçinler DIN 7968, alıştırma cıvataları | 320 | 360 | 480 | 540 | | | | | |
| 4 | | yarım | $\leq 0,3$ | DIN 7999, yüksek kaliteli cıvatalar | 420 | 470 | 630 | 710 | | | | | |
| 5 | KaÖ KaÖA | tam | $\leq 0,3$ | DIN 6914, yüksek kaliteli cıvatalar DIN 7999, yüksek kaliteli cıvatalar | 480 | 540 | 720 | 810 | | | | | |
| 6 | Çok eksenli bağlantılarda mafsallı pernosu için | | | | 210 | 240 | 320 | 360 | | | | | |
| 7 | Basma ve eğilme basması DIN 4114 T1 ve T2 ye göre σ_{BEM} | | | | 140 | 160 | 210 | 240 | | | | | |
| 8 | Çekme ve eğilme çekmesi vade Basma ve eğilme basması için karşılaştırma mukavemet değeri σ_{EM} | | | | 160 | 180 | 240 | 270 | | | | | |
| 9 | Kesme τ_{KEM} | | | | 92 | 104 | 139 | 156 | | | | | |

Tablo 2.4. ve 2.5.'te verilen özel işaretlerin açıklamaları ise şunlardır;

*) 1 : Bağlantıdaki elemanlar değişik ise, en zayıf malzemenin değeri alınır.

*) 2 : Konstrüksiyon elemanı St37 ise, -b deki en düşük değer alınır.

*) 3 : -b 'deki σ_{LEM} değerleri alınır.

*) 4 : Değerler malzeme kalınlığı $t \geq 3$ mm için geçerlidir.

*) 5 : Çelik konstrüksiyonda yüklenme durumu;

- H : Ana yük, ivmelerden ileri gelen kuvvetler, taşınan yük ve yük darbeleri (TS 648 EY yüklenme durumuna tekabül etmektedir).
- HZ : Yukarıdaki duruma ilave olarak kar, rüzgar, ısı gibi ilave yükler (TS 648 EIY yüklenme durumuna tekabül etmektedir).
- HS : Vinç işletmeye alınırken kontrol yüklerinden ileri gelen kuvvetler, tampon kuvvetleri, Bir ray üzerinde iki vinç var ise oluşacak çarpışma vb. yükler (özel yük durumu).

Tablo 2.6. Vinç çelik konstrüksiyonunda bağlantı elemanlarının mukavemet değerleri (N/mm²) [1]

| | Sütun | | a | b | c | d | e | f | g | h |
|------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-----|----------------------------|-----|--------------------------|-----|----------------------------|-----|
| Sıra | Zorlanma şekilleri | | DIN 7968, alıştırma cıvataları | | | | DIN 7990, cıvataları | | | |
| | | | Cıvata 4.6 Parça St37 | | Cıvata 5.6 Parça St52-3 | | Cıvata 4.6 Parça St37 | | Cıvata 5.6 Parça St52-3 | |
| | | | Yükleme durumu | | | | | | | |
| | | H | HZ | H | HZ | H | HZ | H | HZ | |
| 1 | Kesme τ_{KEM} | tek kesitli | 84 | 96 | 126 | 144 | 70 | 80 | 70 | 80 |
| | | çok kesitli | 112 | 128 | 168 | 192 | | | | |
| 2 | İzdüşüm basıncı σ_{LEM} | tek kesitli | 210 | 240 | 315 | 360 | 160 | 180 | 160 | 180 |
| | | çok kesitli | 280 | 320 | 420 | 480 | | | | |
| 3 | Çekme σ_{CEM} | | 100 | 110 | 140 | 154 | 100 | 110 | 140 | 154 |

Buradan da anlaşılacağı gibi dinamik karakterli yüklerin baskın olduğu sistemlerde emniyet gerilmeleri üzerinde düşüş öngörülebilir. Bu tip dinamik etkilerin yükleme durumunu gösteren HS yüklemeye durumunda, H yüklemeye değerlerinin % 30 fazlası alınır ve buna bağlı olarak Tablo 2.6. ve 2.7.'deki değerler dikkate alınır;

Tablo 2.7. Vinç çelik konstrüksiyonunda konstrüksiyon elemanlarının mukavemet değerleri (N/mm²) [1]

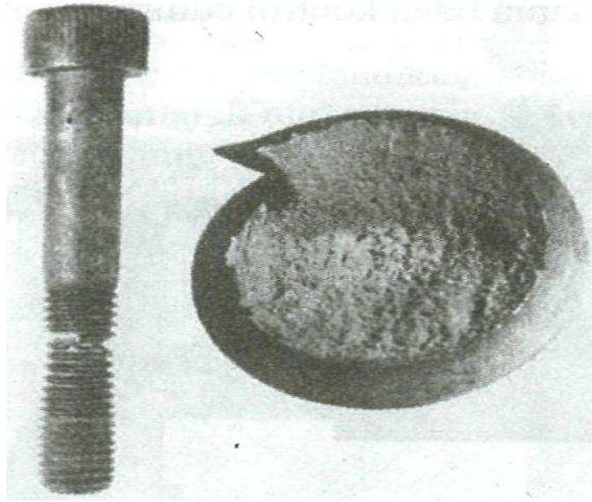
| | Sütun | a | b | c | d | e |
|------|---|----------------|------------------|-----|---------|-----|
| Sıra | Gerilim şekli | | St 37 | | St 52-3 | |
| | | | Yüklemeye durumu | | | |
| | | | H | HZ | H | HZ |
| 1 | Çekme ve Karşılaştırma mukavemet değeri | σ_{CEM} | 160 | 180 | 240 | 270 |
| 2 | Basma ve flambaj mukavemet değerleri | σ_{BEM} | 140 | 160 | 210 | 240 |
| 3 | Kesme mukavemet değerleri | τ_{EM} | 92 | 104 | 138 | 156 |

2.6 Cıvatalı Birleşimlerin Bozulması, Bozulma Nedenleri ve Önleme Yolları

Cıvatalı birleşimi oluşturan bağlantı parçalarının kopması, kayması veya temas yüzeylerinin ayrılması olayına cıvata bağlantısının bozulması denmektedir. Bu olayın gerçekleşmesi cıvatanın yorulması ya da plastik deformasyona uğraması sonucu gerçekleşir. Bunun yanı sıra cıvatanın kendi kendine zorlanma altında çözülmesi de mümkündür. Kendiliğinden çözülme olayını önlemek amacı ile alınacak en kolay önlem tırnaklı rondelaların kullanılmasıdır [1].

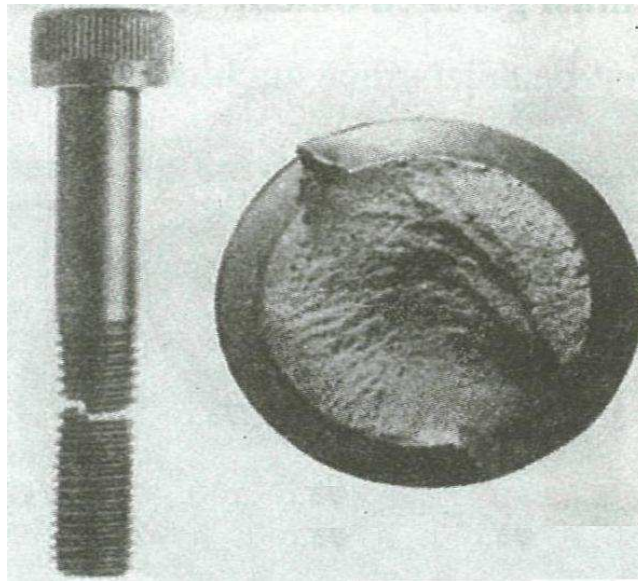
Yorulma enine kuvvet karakterinin bir ürünü olup, cıvata cidarında çatlaklar oluşturur. Bu oluşumda cıvatanın montaj esnasında eğri bağlanması ya da cıvata başının tam temas etmemesinin büyük payı vardır. Durumun diğer nedeni ise cıvatanın bir arada tuttuğu bağlantı elemanlarıdır. Bağlanan parçaların elastik ya da plastik deformasyonları veya temas yüzeylerinin ayrılması cıvata bağlantılarında yorulmaya neden olan diğer unsur olarak bilinmektedir. Cıvata bağlantılarının plastik deformasyona uğramasının temel nedeni ise hesap hatası ya da hesap edilen ögenin montaj ya da işletme esnasında kaybedilmesidir. Daha çok öngermeli cıvata bağlantılarında görülen bu olay sürtünme ve sızdırmazlık özelliklerinin yitilmesi sonucu cıvata kesitinde zayıf noktalarda çatlaklar oluşması şeklinde kendini belli eder.

Cıvatalarda bozulma olayının gerçekleşmesinde en sık görülen olaylardan biri plastik deformasyon sonucu özellikle vidalı kısımda huni şeklinde kopmaların oluşudur. Bu olayın altında cıvatanın aksenal doğrultuda (boyuna) kapasitesinin üzerinde bir kuvvetle karşılaşılmasıdır. Dolayısı ile bu tür birleşim hataları proje kısmında oluşmakta olup yapılan proje hesaplarında dikkatli olunmasında fayda vardır. Bazen bu hesap hatası birleşime tesir edecek yüklerin saptanmasından kaynaklanan hatalardan da meydana gelebilir. Şekil 2.2.'de bu bozulma tipinin şekli ve görüntüsü ortaya koyulmaktadır.



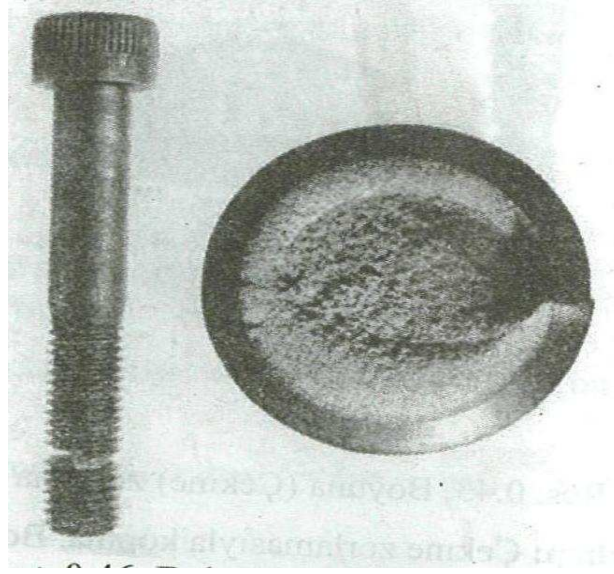
Şekil 2.2. Boyuna (eksenel) zorlanma sonucu bozulan cıvata bağlantısı ve vida enkesiti [1]

Bazen boyuna zorlanmanın yanında bu tip sistemlerde bir torsiyon etkisine de rastlanabilir. Bu durumda huni şeklinde olan bozulma yerini Şekil 2.3.'te gösterildiği gibi yiv düzlemine bir kırığa bırakır ve plastik deformasyonların daha az olduğu düzlemin daha pürüzsüz oluşundan rahatlıkla anlaşılabilir. Bahsedilen bu durumun en genel sebebi cıvatanın gereğinden büyük bir momentle sıkılmasıdır. Sıkmanın kontrollü yapılması ve tork anahtarlarının gerekli sıklıkla bakımdan geçirilerek dikkatli kullanılması ile sorun rahatlıkla aşılabılır.



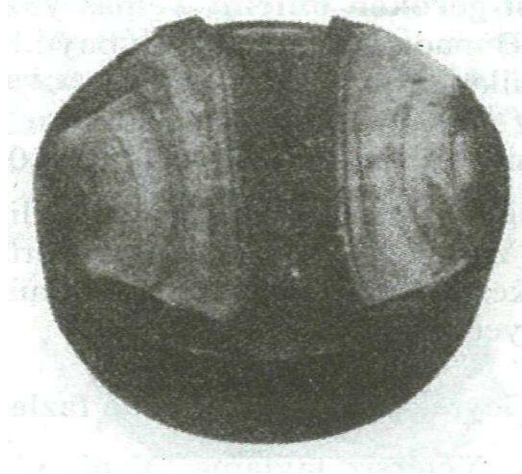
Şekil 2.3. Boyuna (eksenel) zorlanma ile birlikte torsiyon etkisi sonucu bozulan cıvata bağlantısı ve vida enkesiti [1]

Boyuna kuvvetin değişken olduğu durumlarda cıvata kesitinin göbek kısmının vida dibinden içeriye doğru yuvarlandığı ve parça kopardığı görülmektedir. Bu durumun sebebi ise kuvvetin dalgalı ve değişken karakterde olmasıdır. Bu olayı da Şekil 2.4.'ten gözlemek mümkündür. İçe açılan yuvarlanmanın büyüklüğü zorlanmayı oluşturan kuvvet hakkında bilgi vermektedir. Aynı zamanda yuvarlanmanın kesit alan küçüklüğü sıkma kuvvetinin yeterli olduğuna, büyüklüğü ise yetersiz olduğuna işaret eder.



Şekil 2.4. Dalgalı ve değişken yüklemeye altın da cıvata bağlantısında bozulma ve vida enkesiti [1]

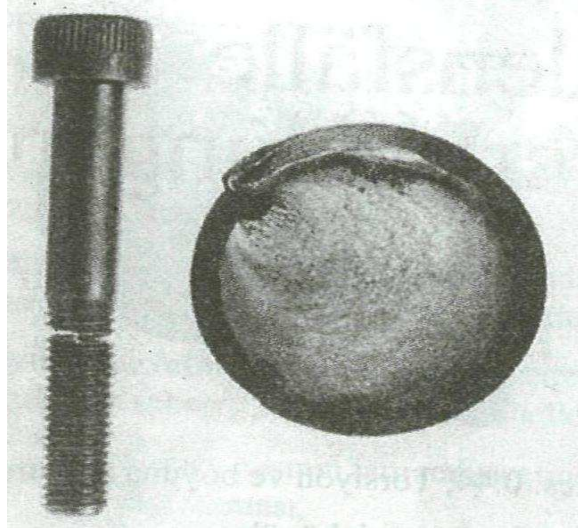
Cıvata bağlantılarının çözülmeyecek şekilde bağlanmasına karşın çözülmeyen fakat gevşeyen birleşimlerde dalgalı ve değişken boyuna yüklemelerin etkisi altında sırasıyla birbirine tersinik basma ve çekme kuvvetlerini etkisi parçalar birbirlerine göre kayarak çatlaklar meydana getirir. Zamanla bu çatlaklar kesiti taşıyamaz düzeye getirerek Şekil 2.5.'te görülen dalgalı eğilme bozulmasını meydana getirir. Cıvata boyununun yetersizliği ile ilişkili olan bu hatanın cıvata kalitesinin yüksek seçilmesi ile de aşılması mümkündür.



Şekil 2.5. Dalgalı eğilme etkisi altında bozulan cıvata bağlantısında vida enkesiti [1]

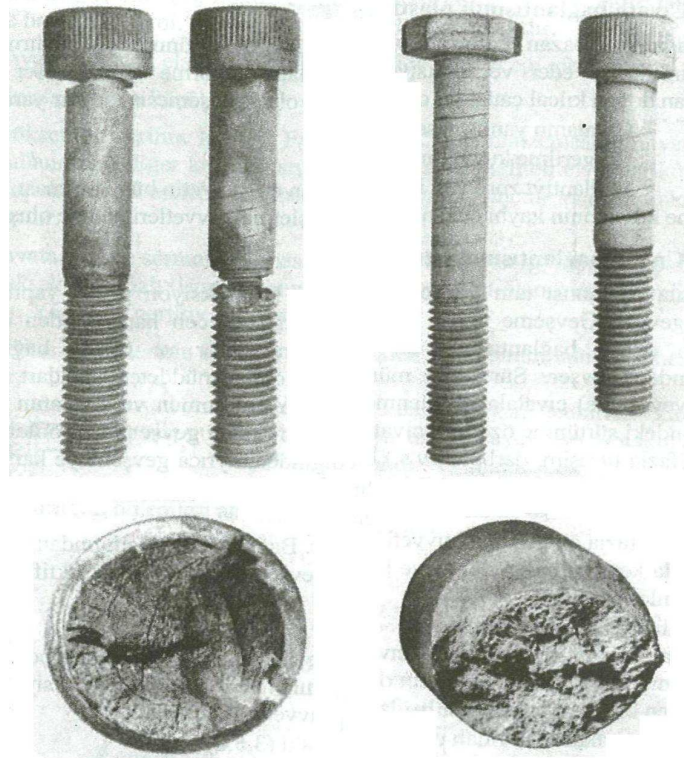
Cıvata birleşimin yalnızca torsiyon nedeni ile bozulması da mümkündür. Bu şekilde bozulmaya maruz kalan cıvata birleşimlerinde plastik deformasyon neredeyse yok denecek düzeyde kalmaktadır. Kırılma olayı yiv ekseninde gözlemlenmektedir. Başka bir deyişle torsiyon ve boyuna zorlanmadan dolayı kaynaklanan bozulmalardan farkı Şekil 2.6.'da görüleceği gibi ayrılma yüzeyinin aşırı pürüzsüz ve düzgün oluşudur. Bu hatanın meydana gelmesinin altında yatan en belirgin sebep kısa somun ya da uzun cıvata kullanımı yapılmasıdır.

Son bozulma çeşidi olarak cıvatalarda gevrek kırılma olaylarından söz edilebilir. Tamamen cıvatanın imalatının sürdürüldüğü prodesteki olgulara bağlı gerçekleşen bu bozulmalar kaplama esnasında meydana gelen moleküler olaylardan da kaynaklanabilmektedir.



Şekil 2.6. Torsiyon etkisi altında bozulan cıvata bağlantısında bozulma ve vida enkesiti [1]

Bozulma şekli son derece düzensiz ve çeşitli olup kopma bölgesinin haricinde gerilim çatlaklarına da rastlanılması olasıdır. Şekil 2.7.'de bu durumun bozulmalarda nasıl görüldüğü gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Gevrek kırılma ile bozulan cıvata bağlantıları, gerilim çatlakları ve vida ile kafa altı enkesitlerinde gevrek kırılma olayın gözlemlenmesi [1]

BÖLÜM 3. ÇELİK YAPI BİRLEŞİMLERİNİN PERFORMANS VE EMNİYETİNDE KAYNAK TEKNOLOJİSİ

3.1. Giriş

Kaynak, kaynak metalinin elektrik arkı ya da gaz alevinin etkisi altında yüksek sıcaklıkta eriyerek daha önceden hazırlanmış olan kaynak ağzı içerisinde esas metal ile karışarak katılaşması olayıdır. Kaynak yapımı kaynağa elverişli malzemelerin seçimi ve temin edilmesi ile başlar, kaynağın yapılmasına olanak sağlayacak konstrüktif biçimlemenin yapılması ile sürer ve kaynağın yapılabilmesi için uygun şartların sağlanması ile yapımı mümkün hale gelir. Son olarak ısıl işlemler, temizleme ve taşlama işlemleri yapılır.

En çok kullanılan iki birleşim aracından biri olmasına karşın kaynak, uygun şekilde yapılması ve denetlenmesi en zor olan birleşim türü olarak nitelendirilebilir. Beraberinde ciddi bir teknik bilgi ve deneyim ihtiyacını gerektirir. Literatür kaynaklarında çözüm önerisi verilmemiş olan kaynaklı çelik yapı birleşimlerine çözüm önerisi getirebilmek için kaynak teknolojisinin yapı çeliğini ilgilendiren literatürü konusunda detaylı ve kapsamlı bir bilgi sahibi olunması daha üst performans düzeylerinde çelik yapı ve çelik yapı birleşimlerinin elde edilmesinde etkili olabilir.

Bu Bölüm'de kaynak hataları ve önüne geçme yolları, gerekli teknik usul ve ekipmanların maksimum verim alınacak şekilde seçilmesi, kırılmaların önüne geçilmesi vb. konular araştırılarak kaynaklı çelik yapı birleşimlerinde maksimum emniyet ve performans elde etmenin yolları tartışılmaktadır.

3.2. Eşdeğer Karbon Oranı Kavramı ve Kaynaklı Birleşimler Üzerindeki Etkisi ve Önemi

Kaynaklanacak çeliklerin plastik deformasyon özelliği sertleşme adı verilen bir olaya bağlı olarak azalmakta ve ortaya kırılğan bir yapı ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni çeliğin sertleşme eğilimini arttıran eşdeğer karbon oranıdır. Eşdeğer karbon oranı, karbon ve diğer alaşım elemanlarının oranındaki artışa paralel artış gösterir [3].

Düşük alaşımli ve yüksek mukavemetli çeliklerde karbon ve manganez gibi elementlerin sertleşme ve çatlak oluşumuna etkilerini göz önüne alınarak bir karbon eşdeğeri tanımı yapılmıştır. % 0.2 oranına kadar eşdeğer karbon bileşimi içeren çeliklerin kaynağında sertleşme ile ilgili bir problemle karşılaşılmaz. Kaynak sonrasında parçanın kalitesi ve kullanım emniyeti değişmez. Çelik konstrüksiyon elemanlarında kullanılan çeliklerin genelde % 0.2 oranının çok üzerinde bir oranda eşdeğer karbon içeriği olmadığı söylenebilir. Ancak çalışma parçasının kalınlığı 20 mm mertebesinin üzerine çıktığında kaynak işlemi özel metotlarla yapılmayı gerektirir [4]. Tablo 3.1.'de yapı çeliklerinde kullanılması tavsiye edilen çelikler, Tablo 3.2.'de ise bu çeliklerin eşdeğer karbon oranı üzerinde etkili olan bazı elementlerin oranı verilmektedir.

Tablo 3.1. DIN 17100'e göre yapı çeliği olarak kullanılacak çelik türleri [4]

| Çeliğin Türü | Esas Metal |
|---------------------------------|--|
| | İşareti |
| DIN 17100'e göre yapı çelikleri | St 37.2, USt 37.2 RSt 37.2, St 44.2 |
| | St 37.3 |
| | St 44.3 St 52.3 |
| | St 52.2 e) St 60.2 e) St 70.2 e) |

Literatürde 5-6 civarında karbon eşdeğeri formülü yaygın olarak kullanılmaktadır. Uluslar arası kaynak enstitüsü karbon eşdeğerini Bağıntı 3.1.ile ifade etmektedir;

$$C_{eş} = C + Mn / 6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15 \quad (3.1)$$

Tablo 3.2. Bazı alaşımsız yapı çeliklerinin element C, Si ve Mn içerikleri [4]

| İşareti | Malz. No. | DIN/SEW | C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | Akma Çekme Uzama | | |
|--------------------|-----------|---------|------|-------|-------|----|----|----|-------------------|-------------------|----|
| | | | | | | | | | N/mm ² | N/mm ² | % |
| Alaşımsız Çelikler | | | | | | | | | | | |
| USİ 37-2 | 1.0036 | 17100 | 0,17 | — | — | — | — | — | 235 | 360..470 | 26 |
| Si 37-3 | 1.0116 | | 0,17 | — | — | — | — | — | 275 | 430..540 | 22 |
| Si 44-2 | 1.0044 | | 0,21 | — | — | — | — | — | 355 | 510..630 | 22 |
| Si 52-3 | 1.0570 | | 0,20 | ≤0,55 | ≤1,60 | — | — | — | — | — | — |

3.3. Kaynaklı Yapı Birleşimlerinde Yetersizlik ve Başarısızlık (Kırılma)

Kaynaklı yapılarda birleşimin fonksiyonunu yitirmesi kırılma ile meydana gelecektir. Bu kırılma gevrek ve sünek kırılma olarak iki grupta incelenebilir. Bunlardan birisi olan sünek kırılma parçanın kırılmadan önce veya çatlakların ilerlemesi esnasında göstermiş olduğu deformasyon ve çatlak ilerleme hızının yavaş olması ile tanımlanabilir. Özellikle kırık yüzeyine yakın bölgelerde fazla miktarda şekil değişimi meydana gelir. Bu tür kırıklarda sorun genellikle kaynak hatasından kaynaklanmamaktadır [3].

Diğeri ise gevrek kırılma olup çatlakların büyük hızla büyümesi ile karakterize edilir. Büyük ve kalıcı bir şekil değişimine rastlanmaz ancak çok küçük mertebede şekil değişiklikleri mevcuttur. Metalik malzemenin gevrek kırılmaya olan eğilimi azalan sıcaklık, şekil değişim oranının artması, çatlak ve çentik diplerinde üç eksenli gerilme halinin oluşması, yaşlanma ve ısıl işlem sertleşmesi ile artar. Gevrek kırılma mutlaka önlenmelidir. Hiçbir belirti olmaksızın aniden meydana gelir ve onarımı mümkün olmayan sonuçlara yol açabilir. Bu kırılma metal üzerinde plastik bir şekil değişimi olmaksızın meydana gelmektedir.

Kaynaklı bölgelerde meydana gelen kırılma olaylarının daima ısı tesiri altındaki bölgede (İTAB) meydana geldiği görülmektedir. Dolayısı ile kaynak esnasındaki ısıl işlem kaynağın sağlığı için son derece belirleyici bir unsur olarak değerlendirilebilir [5].

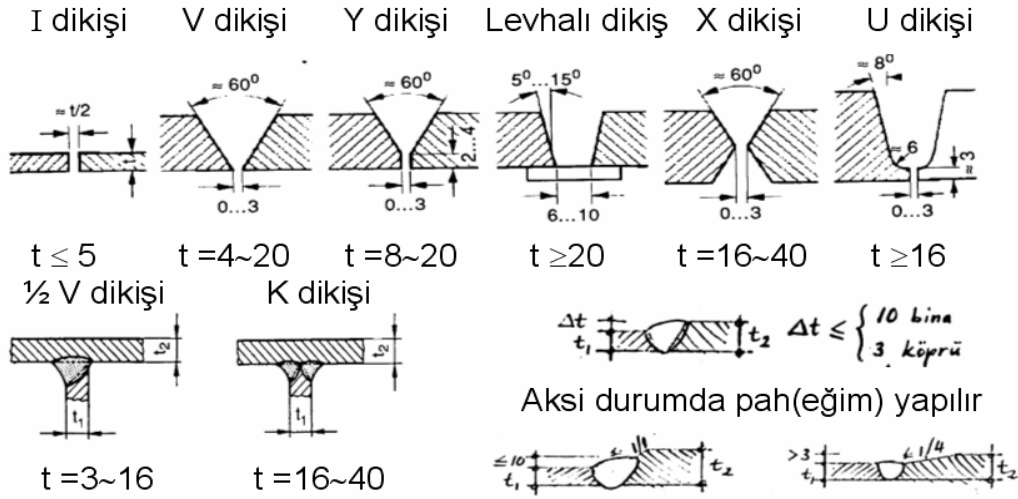
Günümüzde yapı ağırlıklarını azaltabilmek amacıyla yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımının yaygınlaşmasına karşın düşük mukavemetli ve alaşımsız çeliklerin kullanımı ise gevrek kırılma sonucu oluşan tehlikelerin nispeten ortadan kalkması açısından faydalıdır. Zira bu tür çelikler sünek davranış içerisinde bulduklarından dolayı gevrek kırılmanın önüne şekil değiştirerek geçerler. Oluşan çatlaklar sünek davranış sonucu fazla ilerlemeden durabilmektedir [5]. Gevrek kırılmanın bir önemli karakteristiği de kırılma esnasında az enerji yutulmasıdır. Buna karşılık oldukça fazla miktarda plastik şekil değişmesinin meydana geldiği sünek kırılmada büyük miktarda enerji absorbe edilir. Kırılma yüzeyleri bu yüzden lifli ve mat bir görünüme sahiptir [3].

Malzemeler çok eksenli gerilmeler altında sünekliliklerini yitirir ve gevrek bir davranış göstermeye başlarlar. Bu olgu iç gerilemelerin ortadan kaldırılmasını gerektirir. Bu olayın önlenmesi için uygun bir sıcaklıkta gerilme tavlamaının uygulanmasında fayda vardır. Gevrek kırılmasının yayılma hızı yüksek olup metalde sesin iletim hızına yakın bir mertebededir. Yani metallerde çatlakların büyümesi ve kırılmaların oluşması için uygun bir ortam bulunmaktadır. Bir çok kırılma önce ikinci derecede ve konstrüksiyonda mukavemet bakımından ciddi bir önemi olmayan bir parça üzerinden başlar ve zamanla ana parçaları kırmak suretiyle konstrüksiyonun zarara uğramasına sebebiyet verir. Büyük ve karışık ya da kalın konstrüksiyonlarda gevrek kırılma tehdidine daha çok rastlanmaktadır. Genelde bu kırılmalar projelendirme hatası ya da kaynak hatasının yapıldığı bölgelerden başlamakta olup malzemenin çentik mukavemeti ile ilgilidir.

3.4. Kaynaklı Yapı Birleşimlerinin Projelendirme ve Şekil Faktöründen Etkilenmesi

İyi bir kaynak yapılabilmesi için kaynak metalinin esas metale yeterince nüfuz etmesi gerekmektedir. Bunun gerçekleşebilmesi için kaynakçının kaynak yapılacak parçalara karşı doğru bir pozisyon alabilmesi şarttır. Kaynatılacak parçaların geometrik pozisyonu ve büyüklüğü bazen kaynak için uygun pozisyon alınmasına engel teşkil edebilir. Dışarıdan gözetilmesi kolay olan bu olayın yanında kaynak metalinin birleşim bölgesine yeterince nüfuz edebilmesi ve birleştiren metallerle

kaynak metalinin yeterince kaynayabilmesi için kaynak bölgesinin de uygun bir pozisyona getirilmesi gerekir. Bu olgunun sağlanabilmesi için kaynak bölgesinin yeterince temiz olması ve kaynak bölgesinde işleme ve parça özelliğine uygun kaynak ağzı açılması gerekmektedir. Şekil 3.1'de uygun kaynak ağzı imalatları şematize edilmektedir.



Şekil 3.1 Uygun kaynak ağzı formları [2]

Bunun yanı sıra yapı projelerinin geometrik tasarım tarzı da kaynak yapımı esnasında esas metalin şekil değiştirmesine yol açarak projesinde hedeflenen şeklin dışına çıkmasına sebebiyet verir. Bunun nedeni kaynatılacak esas metalin narin bölgelerine kaynak yapımı vasıtasıyla ısı verilmesi sonucu metalin şekil değiştirmeler yapmasıdır.

3.5. Elektrik Arkı Yoluyla Kaynak Teknolojisi

Elektrik arkı ile kaynak metodu ülkemizde özellikle şantiye ortamlarında ya da kapalı ortamların temin edilemediği yerlerde uygulanan en popüler kaynak metodudur. Bir bağlantı maşası yoluyla metale bağlanan güç ünitesi diğer kutbunda bir maşaya bağlı elektrod bulunur ve elektrik akımı yoluyla eriyen kaynak metali kaynak bölgesine nüfuz eder. Erimiş metal daima elektrodan kaynaklanacak parçaya doğru gider. [2]

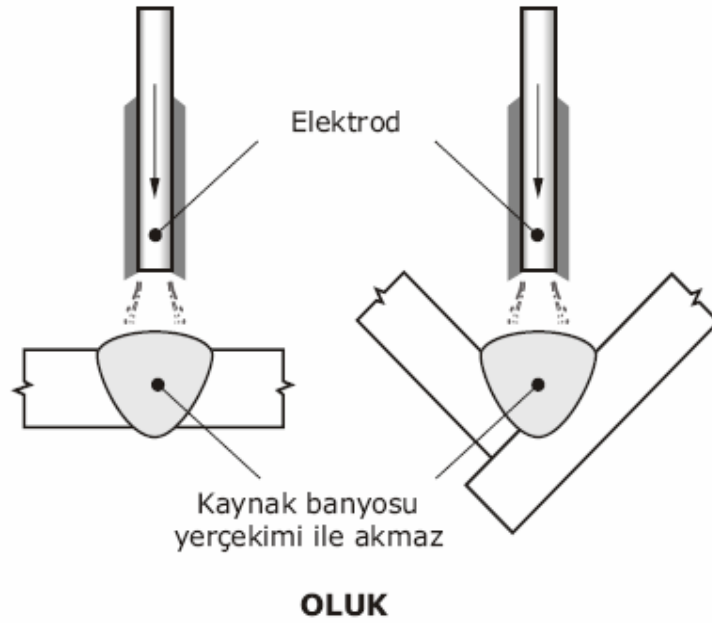
3.5.1. Elektrik arklı kaynaklarda örtülü elektrod kullanımı

Özellikle örtülü elektrodlarla ark kaynağında, kaynak makinelerinin göreceli olarak ucuz ve basit olması, kaynakçının önemli ölçüde hareket serbestisine sahip olması, kaynak makinelerinden metrelerce uzak noktalarda kaynak yapılabilir olması ve aynı kaynak makinesiyle sadece elektrod tipini değiştirerek farklı metallerin kaynağının yapılabilmesi bu yöntemin imalatta yaygın biçimde kullanılmasına neden olmaktadır.

Örtülü elektrodla ark kaynağında doğru veya alternatif akım kullanılabilir. Tüm örtülü elektrodlar doğru akımda çalışabilir, ancak belirli örtü bileşimleri alternatif akımla kararlı çalışma olanağı sağlar. Kaynak akımı iş parçası yoluyla iletilirken oluşan manyetik etkiler nedeniyle doğru akım arkı bağlantı yerinden sapar. Bu olaya ark üfleme denilmektedir. Alternatif akım yüksek değerlerde enerji kullanıldığı için sağlık ve ekonomi açısından tercih edilmemektedir. Zira doğru akımda daha kararlı ve yumuşak bir metal transferi sağlanabilmektedir. Ancak kalın çaplı elektrodların kullanılacak olması durumunda alternatif akım kullanımına gidilebilir.

Örtülü elektrodların çoğu doğru akımda ters kutuplama (elektrod "+" kutup) ile çalışacak şekilde üretilmiştir. Ancak, özellikle doğru kutuplamada (elektrod "-" kutup) çalışmak üzere üretilmiş elektrodlar da vardır. Ters kutuplama daha fazla nüfuziyet doğru kutuplama ise daha yüksek elektrod erime hızı sağlar. [6]

İdeal olarak, kaynak sırasında iş parçasının pozisyonu, ergimiş kaynak banyosunun yerçekimi kuvveti ile akmasını, yani yerinde sabit kalmasını sağlayacak şekilde olmalıdır. Buna "oluk" pozisyonu adı verilir (Şekil 3.2.). Bu pozisyon kaynakçıya kaynak banyosunu kontrol etmesi bakımından en uygun şartları sağlar. Bu pozisyonda yüksek kaynak akımı değerleri kullanılabilir ve bu nedenle kaynak daha hızlı gerçekleştirilir. Bütün kaynakların oluk pozisyonunda gerçekleştirilebilmesi için iş parçasının kolaylıkla çevrilebilmesi veya manevra edilebilmesi gerekir.

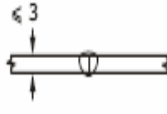
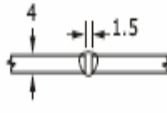
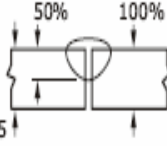
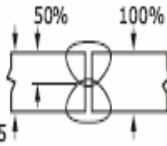
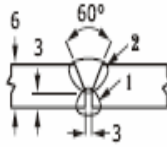
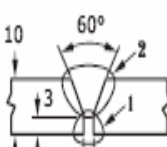
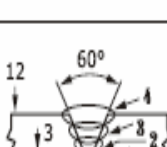


Şekil 3.2. Oluk pozisyonunun şematik gösterimi [6]

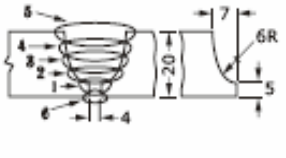
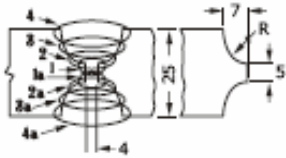
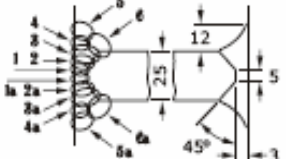
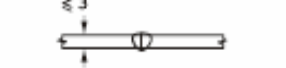
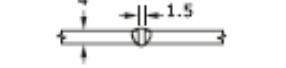
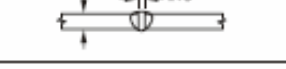
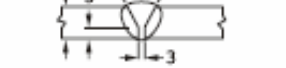


Oluk pozisyonu dışındaki tüm pozisyonlarda kaynak banyosu yer çekimi etkisiyle bağlantının dışına doğru akmaya çalışır ve bu eğilimi yenmek için uygun kaynak teknikleri kullanmak gerekir. Bu eğilimi engellemede en büyük etken elektrod örtüsündeki katkı elementleri yoluyla elde edilir. Kaynakçı ısı girdisini azaltarak akışkanlığı azalmış ve bağlantı yerinin dışına akmaya zaman bulmadan katılaşmış küçük bir kaynak banyosu sağlayarak kaynağı kontrol eder. Bu amaçla özellikle düşey ve tavan pozisyonlarındaki kaynaklarda küçük çaplı elektrodlar tercih edilir. Aynı zamanda arkın doğrultusu, yani elektrod eksenini ile kaynak yüzeyi arasındaki açı, kaynak banyosu en uygun konumda tutulacak şekilde değiştirilebilir.

Kaynakçı bağlantı yüzeylerinin uygun biçimde ergimesini sağlamak için arkı bir kenardan diğer kenara doğru hareket ettirir. Buna salınımlı elektrod hareketi adı verilir. Kaynak yapımı esnasında kaynakçının kaynak olayının teknik izahına hakim olması oldukça önemlidir. Örneğin kaynağın tavan pozisyonunda gerçekleştirilmesi gereken bağlantılarda akım şiddeti düşürülmeli ve istenilen kaynak dikişini elde etmek için daha fazla paso yapılmalıdır. Gereği olduğu durumlarda kesinlikle fazla sayıda paso yapma eğiliminden ödün verilmemelidir [6].

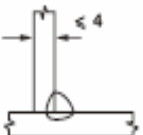
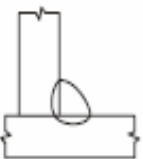


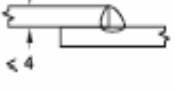
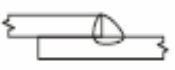


Tablo 3.3. Alaşımız çelikler için bağlantı tipi, levha kalınlığı ve kaynak pozisyonuna bağlı olarak, elektrod çapı, paso sayısı, kaynak akımı, minimum ark gerilimi ve kaynak hızı değerleri I (örnek olarak alınmalıdır, başka değerler de kullanılabilir) [6]

| Bağlantı Tipi | Levha Kalınlığı (mm) | Kaynak Pozisyonu | Pasolar | Elektrod Çapı (mm) | Kaynak Akımı (A) | Min. Gerilim (V) | Üretim Hızı (m/saat) |
|---|----------------------|------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|
|  | 1.5 | Oluk | 1 | 3.25 | 70 | 29 | 40 |
| | 2 | | 1 | 3.25 | 85 | 29 | 43 |
| | 3 | | 1 | 4.00 | 115 | 25 | 27 |
|  | 4 | Oluk | 1 | 4.00 | 135 | 25 | 24 |
|  | 5 | Oluk | 1 | 6.00 | 190 | 30 | 27 |
|  | 5 | Oluk | 2 | 6.00 | 190 | 30 | 14 |
|  | 6 | Oluk | 1 2* | 4.00 5.00 | 130 175 | 25 28 | 5 |
|  | 10 | Oluk | 1 2* | 4.00 6.00 | 130 225 | 25 30 | 4 |
|  | 12 | Oluk | 1 2 3 4* | 4.00 6.00 6.00 6.00 | 130 225 275 275 | 25 30 30 30 | 3 |

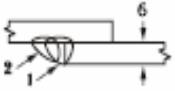


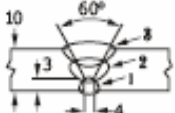
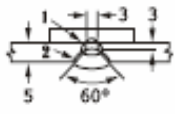
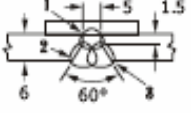
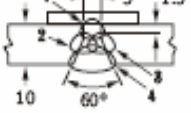
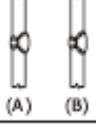
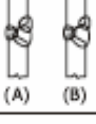

Tablo 3.4. Alaşimsız çelikler için bağlantı tipi, levha kalınlığı ve kaynak pozisyonuna bağlı olarak, elektrod çapı, paso sayısı, kaynak akımı, minimum ark gerilimi ve kaynak hızı değerleri II (örnek olarak alınmalıdır, başka değerler de kullanılabilir) [6]

| Bağlantı Tipi | Levha Kalınlığı (mm) | Kaynak Pozisyonu | Pasolar | Elektrod Çapı (mm) | Kaynak Akımı (A) | Min. Gerilim (V) | Üretim Hızı (m/saat) |
|---|----------------------|------------------|--|--|--|--|----------------------|
|  | 20 | Oluk | 1 2 3 4 5 6 | 4.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00 | 130 275 275 275 325 275 | 25 30 30 30 34 30 | 1.8 |
|  | 25 | Oluk | 1 1a 2 2a 3 3a 4 4a | 4.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00 | 130 275 275 275 275 275 325 325 | 25 30 30 30 30 30 34 34 | 1.2 |
|  | 25 | Oluk | 1 - 1a 2 - 2a 3 - 3a 4 - 4a 5 - 5a 6 - 6a | 4.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00 | 130 275 325 190 190 190 | 25 30 34 30 30 30 | 0.75 |
|  | ≤ 3 2 3 | Düsey | 1 1 1 | 3.25 3.25 4.00 | 70 80 110 | 29 29 26 | 40 36 26 |
|  | 4 | Düsey | 1 | 4.00 | 120 | 27 | 20 |
|  | 5 | Düsey (yukarı) | 1 | 3.25 | 110 | 25 | 6 |
|  | 6 | Düsey (yukarı) | 1 | 3.25 | 110 | 25 | 4.6 |
|  | 6 | Düsey (aşağı) | 1 2 | 3.25 5.00 | 110 150 | 25 25 | 5.3 |
|  | 10 | Düsey (yukarı) | 1 2 | 4.00 4.00 | 130 180 | 25 25 | 3 |

Tablo 3.5. Alaşimsız çelikler için bağlantı tipi, levha kalınlığı ve kaynak pozisyonuna bağlı olarak, elektrod çapı, paso sayısı, kaynak akımı, minimum ark gerilimi ve kaynak hızı değerleri III (örnek olarak alınmalıdır, başka değerler de kullanılabilir) [6]

| Bağlantı Tipi | Levha Kalınlığı (mm) | Kaynak Pozisyonu | Pasolar | Elektrod Çapı (mm) | Kaynak Akımı (A) | Min. Gerilim (V) | Üretim Hızı (m/saat) |
|---|----------------------|------------------|---------|--------------------|------------------|------------------|----------------------|
|  | 1.5 | Yatay | 1 | 2.50 | 50 | 21 | 27 |
| | 1.5 | | 1 | 3.25 | 70 | 27 | 18 |
| | 2 | | 1 | 3.25 | 100 | 25 | 18 |
| | 3 | | 1 | 4.00 | 150 | 25 | 18 |
| | 4 | | 1 | 5.00 | 160 | 25 | 18 |
|  | 5 | Yatay | 1 | 6.00 | 190 | 30 | 14 |
| | 6 | | 1 | 6.00 | 190 | 30 | 11 |
| | 10 | | 1 | 6.00 | 190 | 30 | 6 |
|  | 12 | Yatay | 3 | 6.00 | 190 | 30 | 3 |
|  | 1.5 | Düşey | 1 | 2.50 | 45 | 20 | 23 |
| | 1.5 | | 1 | 3.25 | 70 | 27 | 18 |
| | 2 | | 1 | 3.25 | 90 | 24 | 18 |
| | 3 | | 1 | 4.00 | 140 | 24 | 18 |
| | 4 | | 1 | 4.00 | 150 | 24 | 17 |
| | 5 | | 1 | 4.00 | 160 | 24 | 15 |
|  | 1.5 | Yatay | 1 | 2.50 | 70 | 22 | 30 |
| | 1.5 | | 1 | 3.25 | 100 | 25 | 30 |
| | 2 | | 1 | 4.00 | 130 | 25 | 30 |
| | 3 | | 1 | 4.00 | 135 | 24 | 27 |
| | 4 | | 1 | 5.00 | 155 | 28 | 27 |
|  | 5 | Yatay | 1 | 6.00 | 250 | 30 | 27 |
| | 6 | | 1 | 6.00 | 250 | 30 | 21 |
| | 8 | | 1 | 6.00 | 250 | 30 | 15 |
| | 10 | | 1 | 6.00 | 620 | 30 | 12 |
|  | 5 | Düşey (yukarı) | 1 | 3.25 | 110 | 25 | 5.5 |
| | 6 | | 1 | 4.00 | 130 | 25 | 5.5 |
| | 10 | | 1 | 4.00 | 130 | 25 | 3 |
| | 12 | | 2 | 4.00 | 130 | 25 | 1.5 |
| | 20 | | 3 | 5.00 | 150 | 25 | 1 |
| | 25 | | 4 | 5.00 | 150 | 25 | 0.5 |
|  | 5 | Tavan | 1 | 5.00 | 150 | 25 | 11 |

Tablo 3.6. Alaşimsız çelikler için bağlantı tipi, levha kalınlığı ve kaynak pozisyonuna bağlı olarak, elektrod çapı, paso sayısı, kaynak akımı, minimum ark gerilimi ve kaynak hızı değerleri IV (örnek olarak alınmalıdır, başka değerler de kullanılabilir) [6]

| Bağlantı Tipi | Levha Kalınlığı (mm) | Kaynak Pozisyonu | Pasolar | Elektrod Çapı (mm) | Kaynak Akımı (A) | Min. Gerilim (V) | Üretim Hızı (m/saat) |
|---|----------------------|------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|
|  | 6 | Tavan | 1 2 | 5.00 3.25 | 150 110 | 25 25 | 4.6 |
|  | 5 12 | Tavan | 1 - 2 - 3 4 1 - 5 | 5.00 3.25 5.00 | 150 110 150 | 25 25 25 | 3 2 |
|  | 1.5 1.5 2 3 | Oluk | 1 1 1 1 | 2.50 3.25 3.25 5.00 | 70 90 90 125 | 24 24 24 24 | 61 49 37 30 |
|  | 10 | Dişey (aşığı) | 3 | 5.00 | 150 | 25 | 3.4 |
|  | 5 | Tavan | 1 2 | 3.25 5.00 | 110 150 | 25 25 | 4.3 |
|  | 6 | Tavan | 1 2 3 | 3.25 5.00 5.00 | 110 150 150 | 25 25 25 | 2.7 |
|  | 10 | Tavan | 1 2 3 4 | 3.25 4.00 5.00 5.00 | 110 130 150 150 | 25 25 25 25 | 1.8 |
|  | 6 | Yatay | 2 | 4.00 | 130 | 25 | 5.5 |
|  | 10 | Yatay | 3 | 4.00 | 130 | 25 | 3.3 |
|  | 12 | Oluk | 1 | 6.00 | 300 | 30 | 6 |

Yetersiz ya da tek paso ile yapılan dikişlerin kenar kısımlarda taşma ve ergime azlığına rastlanır. Bu da dikişlerin kötü olması anlamına gelmektedir. Yapılan bir kaynaktaki bağlantı tipi, levha kalınlığı, seçilen kaynak pozisyonu, paso sayısı, elektrod çapı, uygulanacak akım vb. unsurlar bütünüyle birbirine bağlı olup kaynak işlemi sonundaki performansı belirleyen unsurlardır [6]. Tablo 3.3., 3.4., 3.5. ve 3.6.'da bu olgular arasında olması gereken ilişki ifade edilmektedir.

Düşey pozisyondaki bağlantılarda kaynağa aşağıdan başlanır ve ark yukarı doğru hareket ettirilir. Kaynak bağlantı yüzeylerinde yeterli ergimeyi sağlamak için elektroda üçgen biçiminde salınım hareketi verilir. Salınım aynı zamanda ısının dağılmasını ve böylece de kaynak banyosu akışkanlığının kontrol edilebilmesini sağlar. Eğer kaynakçı dikiş yüzeyinin kaynak ekseninden kaçışını engelleyemiyorsa, akım değerini düşürmeli ve dikişi daha fazla pasoda daha düşük salınımla yapmalıdır.

Uygulanmasının zor oluşuna karşın kaynak, ark yukarıdan aşağıya doğru hareket ettirilerek yapılabilir. Bu durumda kaynak hızı kritik bir parametredir. Çünkü, ergimiş metalin aşağı doğru yani arkın önüne akmaması gerekir. Aksi takdirde esas metalde ergime meydana gelmez. Bu durumun önüne geçmek için kaynak banyosu göreceli olarak küçültülmelidir ve bu durumda elektrod salınımı için çok az bir yer vardır. Bu olayda kaynak için gerekli paso sayısının aşırı derecede artması anlamına gelmektedir. Buna karşın kaynak hızı aşağıdan yukarı ark yönü ile yapılan kaynağa göre % 33 civarında artar [6].

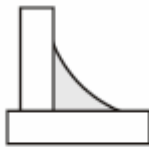
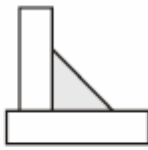
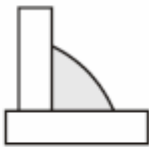
3.5.2. Elektrik arklı kaynaklarda kullanılan örtülü elektrodların karakteristik özellikleri ve seçimi

Elektrikli ark kaynağında genelde kullanılan kaynak metal malzemesi olarak bilinen örtülü elektrodlar yapılacak kaynağın karakteristiğine ve esas metalin özelliklerine göre üretilmektedir. En uygun kaynak metalinin seçimi kaynak işleminin başarısını artırarak ve güvenlik düzeyini daha üst mertebelere getirir.

3.5.2.1. Elektrik arklı kaynaklarda kullanılan elektrotlarda “örtü teknolojisi”

Örtülü elektrotlarla ark kaynağında elektrod örtüsünün kullanılmasının temel nedeni ergimiş kaynak metalini atmosferin (oksijen ve azot) kötü etkilerinden korumaktır. Aynı zamanda örtü, kaynak işleminin başarısına katkıda bulunan birkaç ek görevi de yerine getirir. Elektrod örtüsü ark içinde elektrod çekirdeği ile birlikte eriyerek metal yüzeyini kaplar. Havadaki oksijen ve azotun kaynak banyosuna girmesi bu yolla önlenmiş olur. Kaynak banyosunu koruyan bu örtü tabakasına cüruf adı verilir ve kaynak metalini koruyan bu tabaka daha sonra temizlenerek yüzeyden alınır.

Bunun yanı sıra elektrod örtüsü arkın kararlılığının da sabit kalmasını sağlar. Başka bir deyişle arka ait şartların değişmemesini tedarik eder. Kaynak banyosunda oluşacak olan dikişin yüzeyindeki gerilme dağılımı ve oksijen içeriği üzerinde rol oynayarak dikişin güvenilirliğini sağlar. Eğer düşük oksijen ve yüksek gerilme dağılımı ile karşılaşıldığında kaynakta dışbükeye eğilim meydana gelir. Benzer şekilde yüksek oksijen ve düşük gerilme dağılımı ise şeklin içbükeye eğilim göstermesine yol açar (Şekil 3.3.). Kaynak metalinin üniform yayılım göstermesini engelleyen bu iki durumun kaynak banyosunda oluşması istenmeyen bir durumdur. Yüzeyde oluşan gerilmeler ve oksijen içeriği üst ya da alt düzeylerde seyir göstermemelidir [6].

| Oksijen İçeriği | Yüksek | Orta | Düşük |
|-----------------|---|---|---|
| Yüzey Gerilimi | Düşük | Orta | Yüksek |
| Dikiş Profili |  |  |  |
| | İçbükeye | Düz | Dışbükeye |

Şekil 3.3. Kaynak örtüsünün dikiş profilin üzerindeki üniformluk ve şekil etkisi [6]

Elektrod örtüleri temiz ve kuru tutulmadıklarında kaynak banyosunda özellikle hidrojen kaynaklı kirlenmelere yol açarak kaynakta çatlakların oluşumuna da

sebebiyet verebilmektedir. Dolayısı ile örtülü elektrodlar dikkatli bir şekilde depolanarak saklanmalıdır [5].

3.5.2.2. Örtü tipinin elektrik ark kaynağı elektrotları üzerindeki karakteristik etkileri

Örtülü elektrodlar, yapılarına göre değişik karakteristiklerde özellikler göstermektedir. Bu karakteristik özelliklere göre örtülü elektrodların 5 grupta incelenmesi mümkündür. Bunlardan birincisi asit örtülü elektrodlardır. Esas olarak silikat ve oksitten meydana gelen bu örtülü elektrodalarda yüksek miktarda oksijen muhtevası söz konusudur. Sünek bir kaynak dikişinin yapılabilmesini sağlayabilmelerine karşın mukavemet değerleri oldukça düşüktür. Bu yüzden yaygın olarak kullanılmamaktadırlar.

Diğer bir örtü çeşidi de selülozdur. Adını içerdiği selülozdan alan bu elektrod örtüsü ark sıcaklığında ayrışarak hidrojen oluşumuna sebep olur. Kaynak banyosundaki havanın yerini alan hidrojen, selüloz örtülü elektrodlara diğerlerine göre % 70 mertebesinde fazla bir oranda ark nüfuziyeti sağlar. Bunun yanında oluşan dikişin mekanik özellikleri iyi olmakla birlikte şekil olarak hafif dışbükey konumda ortaya çıkmaktadır. Özellikle düşey yukarıdan aşağıya doğru kaynaklarda verimli sonuçlar vermelerine karşın, yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında kullanılmaları tavsiye edilmemektedir [6].

Üçüncü olarak ise titanyum oksit bazlı iyi cüruf oluşumuna olanak veren rutil elektrod örtülerinden bahsetmek mümkündür. Kullanımı kolay ve kararlı bir ark temin edebilen bu örtülerden yapılmış elektrodlardan yüksek çekme dayanımını elde etmek söz konusu değildir. Dolayısı ile bu özelliği bu tür örtüye sahip elektrodların kullanım alanının çelik yapı sektöründe önemli derecede kısıtlı olduğunu söylenebilir.

Bir diğer örtü cinsi ise yüksek mukavemetli çeliklerin kaynatılmasında kullanılan, çoğunlukla kalsiyum bileşikleri ihtiva eden çok iyi mekanik özelliklere sahip bazik örtülerdir. Fakat bazik örtülü elektrodların kullanımı oldukça meşakkatli ve

masraflıdır. Çatlama riskini en az düzeye indirmek amacıyla kullanım öncesinde 400 dereceye kadar ısıtılarak kurutulmaları gerekmektedir. Bu yolla içerdiği hidrojen miktarı asgari düzeye çekilir ve dikiş altı çatlaklarının önüne geçilmiş olunur. [5]

Son örtü çeşidi ise elektrodun verimini arttırmak amaçlı demir tozu ilavesi kullanılan demir tozu içerikli örtülerdir. Örtülü elektrodların normal verimleri % 75 ila 90 arasındadır ve ısıdan kaynaklanan buharlaşma ve oksidasyon sonucu azalır. Bunlar sayesinde elektrodun verimi % 100 ün dahi üzeri çekilerek düz ve pürüzsüz yüzeyli kaynaklar yapılabilir [5].

3.5.2.3. Elektrikli ark kaynağında kullanılacak örtülü elektrotun seçilmesi

Elektrod seçimi, kaynaklı bağlantının tasarımı sırasında yapılır ve “her işe uygun” mükemmel elektrod mevcut değildir. Belirli bir işe en uygun elektrod, kaynak edilecek çeliğin cinsi ve mekanik özellikleri başta olmak üzere birtakım faktörler göz önüne alınarak seçilir. Doğal olarak, elektrod imalatçıları, kaynaklı imalat sektöründe kullanılan çeşitli türden çelikleri ve yukarıda değinilen faktörleri göz önüne alarak çeşitli türden çok sayıda örtülü elektrodu piyasaya sürmüşlerdir. Elektrod üreticilerinin kataloglarında, ürettikleri her tip elektrod için, bunların hangi standarda göre üretildikleri, hangi tip çelikler için kullanılabilecekleri, yığılan kaynak metalinin kimyasal ve mekanik özellikleri, elektrodun kullanılabileceği kaynak pozisyonu gibi çeşitli bilgiler yer alır.

Her üretici elektrodlarına kendi özel isimlerini vermekle birlikte elektrodlar belirli standartlara göre üretilirler ve bu standartlara ait belirli işaretlerle belirtilirler. Ülkemizde alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler için en çok TS 563 EN 499 Türk Standardı, AWS A5.1/ASTM-233 Amerikan Standardı ve EN 499 Avrupa Standardı kullanılmaktadır. Çelik yapıların imalat ya da denetimini üstlenen kişilerin mutlak surette kullanılan elektrodları tanıyabilmelerinde fayda olacaktır. Tablo 3.7., 3.8. ve 3.9.’da Türk Standardı ile Amerikan Standardına ait kaynak elektrodu gösterimleri izah edilmektedir [6].

Tablo 3.7. TS 563 EN 499'a göre alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan elektrodların gösterilişi [6]

| ÜRÜN TİPİ | | | | ÖRTÜ TİPİ | |
|--|--|--|----------------------------|--------------------------|---------------|
| Örtülü Elektrod (Elektrik Ark Kaynağı) | | | | A | asit |
| MEKANİK ÖZELLİKLER | | | | C | selülozik |
| | | | | R | rutil |
| Elektrod Tanımı | Akma Dayanımı (N/mm²) | Çekme Dayanımı (N/mm²) | Uzama (%) (L=5d) | RR | rutil (kalın) |
| 35 | min. 355 | 440 - 570 | min. 22 | RC | rutil+sel. |
| 38 | min. 380 | 470 - 600 | min. 20 | RA | rutil+asit |
| 42 | min. 420 | 500 - 640 | min. 20 | RB | rutil+bazık |
| 46 | min. 460 | 530 - 680 | min. 20 | B | bazık |
| 50 | min. 500 | 560 - 720 | min. 18 | | |
| ÇENTİK DARBE | | VERİM / AKIM TİPİ | | | |
| Sembol | 47 J Darbe Dayanımı İçin Sıcaklık Değeri (°C) | Sembol | Elektrod Verimi (%) | Akım Tipi | |
| Z | - | 1 | ≤ 105 | DC / AC | |
| A | +20 | 2 | < 105 | DC | |
| 0 | 0 | 3 | > 105 ≤ 125 | DC / AC | |
| 2 | - 20 | 4 | > 105 ≤ 125 | DC | |
| 3 | - 30 | 5 | > 125 < 160 | DC / AC | |
| 4 | - 40 | 6 | > 125 < 160 | DC | |
| 5 | - 50 | 7 | > 160 | DC / AC | |
| 6 | - 60 | 8 | > 160 | DC | |
| E 46 3 1Ni B 5 4 H5 | | | | | |
| KİMYASAL BİLEŞİM DEĞERLERİ | | | | HİDROJEN İÇERİĞİ | |
| Sembol | Mn | Mo | Ni | (maks. ml/100 gr) | |
| - | 2 | - | - | H5 | 5 |
| Mo | 1.4 | 0.3 - 0.6 | - | H10 | 10 |
| MnMo | 1.4 - 2 | 0.3 - 0.6 | - | H15 | 15 |
| 1Ni | 1.4 | - | 0.6 - 1.2 | | |
| 2Ni | 1.4 | - | 1.8 - 2.6 | | |
| 3Ni | 1.4 | - | 2.6 - 3.8 | | |
| Mn1Ni | 1.4 - 2 | - | 0.6 - 1.2 | | |
| 1NiMo | 1.4 | 0.3 - 0.6 | 0.6 - 1.2 | | |
| Z | diğer kompozisyonlar | | | | |
| KAYNAK POZİSYONU | | | | | |
| 1 | bütün pozisyonlar | | | | |
| 2 | yukarıdan aşağı hariç bütün poz. | | | | |
| 3 | düz alın, yatay-düşey köşe | | | | |
| 4 | düz alın, düz köşe | | | | |
| 5 | 3. madde, yukarıdan aşağı | | | | |

Tablo 3.8. AWS' ye göre örtülü karbon çeliği ark kaynağı elektrodları [6]

| Sınıfı | Örtü Tipi | Kaynak Pozisyonu * | Akım Tipi ve Kutup | Çekme Dayanımı | | Akma Dayanımı | | Uzama min. % | V - Çentik Darbe Enerjisi |
|--------|-----------------------------|---------------------|--------------------|----------------|-------------------|---------------|-------------------|--------------|---------------------------|
| | | | | Psi | N/mm ² | Psi | N/mm ² | | |
| E6010 | Selülozik, Sodyum | F, V, OH, H | DC (+) | 62000 | 430 | 50000 | 340 | 22 | -29°C'da 27J |
| E6011 | Selülozik, Potasyum | F, V, OH, H | AC, DC (+) | 62000 | 430 | 50000 | 340 | 22 | -29°C'da 27J |
| E6012 | Rutil, Sodyum | F, V, OH, H | AC, DC (-) | 67000 | 460 | 55000 | 380 | 17 | - |
| E6013 | Rutil, Potasyum | F, V, OH, H | AC, DC (+/-) | 67000 | 460 | 55000 | 380 | 17 | - |
| E6020 | Demir oksit | H-ış köşe | AC, DC (-) | 62000 | 430 | 50000 | 340 | 25 | - |
| E6022 | Demir oksit | F | AC, DC (+/-) | 67000 | 460 | - | - | - | - |
| E6027 | Demir oksit, Demir tozu | H-ış köşe, F | AC, DC (-) | 62000 | 430 | 55000 | 340 | 25 | - |
| E7014 | Rutil, Demir tozu | F, V, OH, H | AC, DC (+/-) | | | | | 17 | - |
| E7015 | Bazik, Sodyum | F, V, OH, H | DC (+) | | | | | 22 | -29°C'da 27J |
| E7016 | Bazik, Potasyum | F, V, OH, H | AC, DC (+) | | | | | 22 | -29°C'da 27J |
| E7018 | Bazik, Demir tozu, Potasyum | F, V, OH, H | AC, DC (+) | | | | | 22 | -29°C'da 27J |
| E7024 | Rutil, Demir tozu | H-ış köşe, F | AC, DC (+/-) | 72000 | 500 | 60000 | 420 | 17 | - |
| E7027 | Demir oksit, Demir tozu | H-ış köşe, F | AC, DC (-) | | | | | 22 | -18°C'da 27J |
| E7028 | Bazik, Demir tozu, Potasyum | H-ış köşe, F | AC, DC (+) | | | | | 22 | -18°C'da 27J |
| E7048 | Bazik, Demir tozu, Potasyum | F, OH, H, V-ışığıya | AC, DC (+) | | | | | 22 | -29°C'da 27J |

*) Kaynak Pozisyonları :

F : Çukuk pozisyonu, H : Yatay pozisyon, H-ış köşe : Yatay iç köşe pozisyon, H-ış köşe : Yatay dış köşe pozisyon, V : Düşey pozisyon, V-ışığıya : Yukarıdan aşağıya düşey pozisyon, OH : Tavan pozisyonu

Tablo 3.9. Elektrod işaretlerinin sonuna gelen eklerin anlamı [6]

| Ek | Çekirdek Teli Çelik Cinsi | Örnek | Ek | Çekirdek Teli Çelik Cinsi | Örnek |
|-----|---------------------------|-----------|-----|--|-----------|
| A1 | Karbon - Molibden | E7011-A1 | C2L | Nikel çeliği | E7016-C2L |
| B1 | Krom - Molibden | E8016-B1 | C3 | Nikel çeliği | E8018-C3 |
| B2 | Krom - Molibden | E8018-B2 | NM | Nikel-6 Molibden | E8018-NM |
| B2L | Krom - Molibden | E8015-B2L | D1 | Mangan - Molibden | E9018-D1 |
| B3 | Krom - Molibden | E9016-B3 | D3 | Mangan - Molibden | E9016-D1 |
| B3L | Krom - Molibden | E9018-B3L | D2 | Mangan - Molibden | E10015-D2 |
| B4L | Krom - Molibden | E8015-B4L | G | Diğer tüm düşük alaşımlı çelik elektrodlar | E7020-G |
| B5 | Krom - Molibden | E8016-B5 | | | |
| C1 | Nikel çeliği | E8016-C1 | | | |
| C1L | Nikel çeliği | E7018-C1L | M | Askeri şartname | E11018-M |
| C2 | Nikel çeliği | E8018-C2 | W | Az bakır içeren | E7018-W |

Elektrod seçimi esnasında dikkat edilmesi gereken başlıca hususlar şunlardır [5].

1. Kaynak edilecek çeliğin kimyasal bileşimi, ısısal durumu ve mekanik özellikleri nelerdir?
2. Kaynakta çatlama riski var mıdır?
3. Kaynak metalinden istenilen mekanik ve kimyasal özellikler nelerdir?
4. Elde hangi tip kaynak makinesi mevcuttur?
5. Kaynak pozisyonu nasıl olacaktır?
6. Kaynak edilecek çeliğin kalınlık mertebesi hangi düzeydedir?
7. Bağlantı tipi ve ısı girdisinde bir sınırlama var mıdır?

Düşük karbon içeriğine sahip çeliklerin kaynağında kaynatılacak parça kalınlıklarının 25mm altında olması kaynak işleminde gereksinim duyulan ön tavlama ve son tavlama işlemlerine olan ihtiyacı ortadan kaldırır [5]. Bu tür çelikler AWS' ye göre E60XX tipindeki elektrodlarla kaynatılabilir. Daha üst değerlerde kaynak emniyeti istenilen durumlarda ise E70XX tipi elektrodlar tercih edilebilir.

Kaynatılacak çelikteki karbon oranı % 0.30 u aştığında ya da malzeme kalınlığının fazla olduğu durumlarda ön tavlama ve/veya son tavlama işlemlerinin yapılması gereklidir ve martenzit oluşumu riski ön plana çıkar. Sert ve kırılğan yapıdaki

martenzit kaynamış metal grubunun soğuması esnasında çatlaklara sebebiyet verir. Bu yüzden kaynama işlemi geçirmiş olan metal grubunun yavaş soğuması için çaba gösterilmesi gerekmektedir. Yüksek soğuma hızı daha önce bahsettiğimiz gibi kaynağın emniyet durumu açısından sorun teşkil eder. Bu tip çeliklerin kaynatılmasında V tipi kaynak ağızlarının kullanılması ve düşük hidrojenli bazik örtülü elektrodların kullanılması önerilmektedir. Öte yandan yapılacak kaynakların çok pasolu çekilmesinde de soğuma hızını düşürerek çatlakların oluşumunu önleyeceğinden dolayı fayda vardır [5].

3.5.3. Örtülü elektrodlarla yapılan elektrik arklı kaynaklarda ısı etkisinin önemi ve kaynak üzerindeki etkileri

Elektrik arkı vasıtasıyla yapılan kaynaklarda iş parçasını başlangıç sıcaklığı, kaynak esnasında nasıl bir ısı dağılımı ile karşılaşıldığı, kaynak sonrası nasıl ve hangi hızla soğuduğu olguları kaynak işleminin kalitesinde etkili olmaktadır.

3.5.3.1. Örtülü elektrodlarla yapılan elektrik arklı kaynaklarda ısınmanın kaynak üzerindeki etkileri

Kaynak işlemi sırasında parçaya kaynak bölgesinden bölgeyi eritebilecek düzeyde bir ısı verilmektedir. Bu ısının hangi koşullarda nasıl bir yerel dağılım ile kaynak bölgesinde varlık gösterdiği kaynak metalinin kaynak sonrası gösterdiği mekanik davranışı belirleyen en önemli faktördür [3].

Kaynak esnasında verilen ısı nedeniyle kaynaklanan metalin bir kısmı ile kaynak metalinin bir arada bir alaşım oluşturduğu füzyon bölgesi oluşur. Burada kaynak metali ve esas metal karışarak kaynak ağızı içinde katılaşır. Çeliklerin kaynatılması esnasında kaynatılan bölgedeki sıcaklık 700 ila 1400 derece civarlarında değişir. Erişilen maksimum sıcaklık düzeyi, soğuma hızı ve çeliğin birleşimine bağlı olarak değişik iç yapı ve özellik gösteren kısımlar ortaya çıkmaktadır. Bunlar demir-karbon oranına bağlı olarak isimlendirilen ostenit, sementit, perlit ve ferrit yapılarıdır.

İTAB'da farklı ısılarda farklı yapılaşmalar oluşturur. 900 derecenin altında İTAB önemli bir dönüşüm oluşturmaz. Bu ısının üzerine ulaşıldığında dönüşümler olmasına karşın tane çapları ince kalır ve kristalleşerek uygun boyutta katılır. Sıcaklık artış 1150 derecenin üzerine çıktığında kristalleşmenin oluşacağı bölgedeki taneler irileşmeye başlar. İTAB'ın hemen yanında oluşan bu yapı ince taneli bölgelere göre gevrek ve kırılgan olduğu için kaynaklı bağlantılarda istenmeyen bir durumdur. Fakat kullanılacak elektrod cinsinin doğru seçilmesi ile bu olayın kısmi olarak önlenmesi ya da azaltılması mümkündür [3].

İTAB'da oluşan bu yapılaşmalarda kaynak esnasında uygulanan enerji, soğuma hızı, parçanın şekli ve boyutları, sıcaklığı ve ısı iletkenliği ile ilişkilidir. İTAB'da sert ve kırılgan bir yapının ortaya çıkması çatlakların oluşmasına sebebiyet vermektedir. Genellikle yüzeyden görülemeyen çatlaklar zamanla yeteri büyüklüğe kadar ulaştığında hiç beklenmedik bir anda parçanın kaynak dikişine paralel olarak büyük bir hızla boydan boya kırılırlar. İTAB'da sertliğin 350 HV' yi aşmaması bu çatlakların oluşumunu önemli derecede azaltır. Suzuki ve Kanatani kaynak sonrası oluşan sertliği ve eşdeğer karbon oranını Bağıntı 3.2 ve 3.3 ile ifade etmektedir;

$$C_{eş} = C + Mn / 6 + Si / 24 + Ni / 15 + Cr / 5 + Mo / 4 + Cu / 13 + P / 2 \quad (3.2)$$

$$HV_{10max} = (666. \% C_{eş} + 40) \pm 40 \text{ kp/mm}^2 \quad (3.3)$$

Bu tür durumların önlenmesi için izlenen yol uygun sıcaklıkta ön tavlamanın ardından kaynak işleminin yapılması ve akabinde soğuma gerçekleşmeksizin çeliğin orantılı soğumasını sağlayacak normalize tavlama yapılmalıdır. Bunun yanı sıra bazik örtülü elektrodların kullanımında da büyük fayda vardır. Mümkünse bazik elektrod tok (ostenitik) karakterli olmalı ve kaynak bağlantısının yapımı esnasında tek paso yapımından kaçınılmalıdır [3].

Öte yandan kaynar dökülmüş çeliklerde segregasyon bölgeleri fosfor ve kükürt toplanmıştır ve bunlar profilin iç kısmında kalır. Bu kısımlar haddelenme ya da dövme sonucunda düzelemeyeceğinden bu kısımlara kaynak yapımından kaçınılmalıdır. Aksi taktirde S ve P kaynak banyosuna geçerek gözenek ve

çatlakların oluşumuna sebebiyet verir. Bu bölgelere mutlaka kaynak yapılacaksa bindirme kaynak yöntemi seçilmeli ve kullanılan elektrodların yeterli derecede deoksidan element içermesine dikkat edilmelidir.

3.5.3.2. Örtülü elektrodlarla yapılan elektrik arklı kaynaklarda soğumanın kaynak üzerindeki etkileri

Soğumanın hızlı oluşu kaynağın yapısı üzerinde olumsuz etkilere yol açar. Eşdeğer karbon oranı yükseldikçe çeliklerde soğumaya hızının arttığı görülür. Eşdeğer karbon oranı yüksek olan çeliklerde parça boyutlarının imkan verdiği derecede kalın çaplı, bazik örtülü ve tok (ostenitik karakterli) elektrodlarla, yüksek amper altında yapılan kaynaklarda daha yavaş soğuyan kaynaklı birleşimler elde edilebilir [3].

Kaynak bölgesi üzerinde 900 dereceyi aşmamış kısımlarda soğuma hızının etkisi ihmal edilebilir. Kaynak metali ise zaten imalatçı firmalar tarafından bu oluşuma el vermeyecek şekilde ayarlanmıştır. Fakat aynı şeyin ana malzeme için söylenmesi olanaksızdır. Dolayısı ile düşük sıcaklıkta kaynak yapımından kaçınılması ya da çalışma ortamında iklimsel önlemlerin alınması yerinde bir uygulama olur.

Parça üzerindeki hızlı soğuma riski kaynak işleminden önce malzemede ön tavlama yapılarak önlenabilir. Ancak kaynak işleminin tavlamaya müteakiben hemen yapılması gerekir. Güvenlik açısından kaynak işleminden sonra normalizasyon tavlaması da uygulanabilir. Çelik yapılarda özellikle kolonların altında kullanılan taban levhası gibi ≈ 50 mm mertebesindeki elemanlarda bu metoda başvurulabilir. Ancak yöntemin asıl uygulama alanı eşdeğer karbon oranı yüksek olan çeliklerdir. Uygulama için önerilen uygulama sıcaklığı yaklaşık olarak $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir [3].

3.6. Kaynaklı Birleşimlerde Gaz Altı Kaynağı Teknolojisi

Çelik yapılarda birleşim unsurlarının kaynak vasıtasıyla bir araya getirilmesinde en çok kullanılan kaynak metodunun gaz altı kaynağı olduğu söylenebilir. Şantiye ortamlarında uygulama zorluğu nedeni ile pek tercih edilmemesine karşın imalathane tarzı kapalı mekanların olduğu yerlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak gaz altı

kaynağının uygun şartlar ve doğru donanımlar ile tedarik edilerek yeterli vasıfta personele verilmesi ve işlem prosedürünün imalatçı ya da kontrolör mühendis tarafından dikkatli bir şekilde takip edilmesi denetlenmesi gerekmektedir.

3.6.1. Gaz altı kaynak teknolojisi

Bu yöntemde kaynak için gerekli ısı, sürekli beslenen ve ergiyen bir tel elektrodla kaynak banyosu arasında oluşturulan ark yoluyla ve elektrodun geçen kaynak akımının elektrodta oluşturduğu direnç ısıtması aracılığı ile üretilir. Elektrod çıplak bir tel olup, elektrod besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrod, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur [7].

Alaşımız çelikler, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum, bakır, titanyum ve nikel alaşımları gibi metaller uygun koruyucu gaz, elektrod ve kaynak değişkenlerini seçmek şartıyla bu yöntemle kaynak edilebilirler. Yöntemin en büyük avantajı zaman kazanımı konusundadır. Kaynak işlemi sonunda silinmesi çok kolay bir cüruf tabakası kalmaktadır ve sınırlı boydaki bir elektrod yerine tel elektrod kullanımı ile ara vermeksizin çok uzun boyda kaynakların yapılması mümkündür. Aynı zamanda kaynak metalinin kaynak banyosuna yığılma hızı da oldukça yüksektir. Bu sayede elektrikli ark kaynağına göre daha hızlı kaynak çekilmesi mümkün olur.

Buna karşın kaynağı gerçekleştiren makineler oldukça ağırdır ve bir yerden diğerine nakli hayli güç olmaktadır. Kaynak pensesinin büyüklüğü ve birleşim bölgesine 10-20 mm mertebesinde tutulması durumu zaman zaman uygulama güçlüğüne yol açabilmektedir. Kaynağın yapılacağı ortamın hava akımından korunması ve kapalı bir ortama ihtiyaç duyulması yöntemin beraberinde getirdiği diğer zorluklardır.

Bu teknikte kaynak yapımı esnasında yüksek ısıların ortaya çıkışı makinelerde soğutma ihtiyacını beraberinde getirir. Soğutma işi bir hava ya da su ünitesi yardımı ile sağlanır. Hava soğutmalı makinelerin uzun süreli çalışma şartlarına yeterince

dayanıklı olmamasına karşın su soğutmalı makinelerinde düşük sıcaklıktaki hava koşullarında suyun donması nedeniyle dezavantaj getirdiği bilinmektedir. Antifriz kullanımı ile dahi bu durumun aşılamadığı şartlar olabilmektedir. Başka önemli bir hususta gazın soğukta hareketinin ağırlaşmasından dolayı kaynak bölgesine soğuk hava altında ulaşmaması olayıdır. Bunun için gaz temin edilen tüplerin başlıklarına ısıtıcı monte edilmesi çözümüne gidilmektedir. Görüldüğü gibi gaz altı kaynağı yapımı için uygun şartları sağlamak son derece takip isteyen ve maliyet gerektiren bir olgudur.

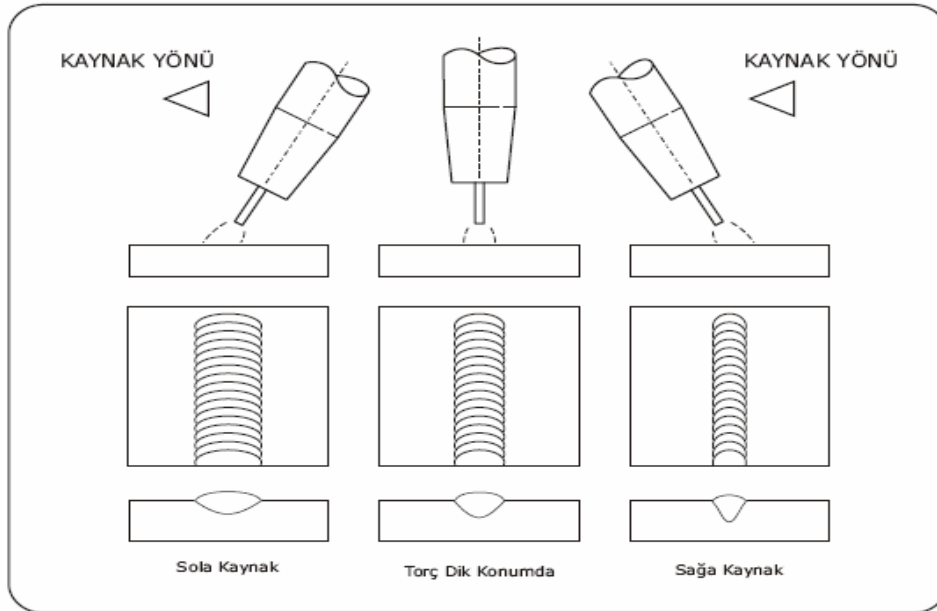
Bütün uygun koşullar elde edildiğinde ise kaynak torcu denilen bir mekanizma ile güç, tel elektrod ve koruyucu gaz bir araya gelerek kaynak bölgesinde bir ark oluşturacak ve uygun bir torç tutuş şekli ile kontrolü daha kolay güvenli bir kaynak elde edilmesi mümkün olacaktır. Gazaltı kaynaklarında genelde alternatif akım kullanılmamaktadır ve kaynak torcunun güç kablosu kaynak ünitesinin pozitif kutbuna bağlanması tercih edilir. Bu bağlantı şekline ters kutuplama denir ve metal iletiminin yumuşak ve nüfuziyetli, arkın ise kararlı olmasını temin eder. Düz kutuplamada ancak telin hızlı eritilmesi gereğinde başvurulur [7].

3.6.2. Gaz altı kaynağında insan faktörünün önemi ve denetimi

Gazaltı kaynağında kaynakçının el hareketi ve makine ayarlarındaki bilinci son derece önemlidir. Örneğin kaynakçının ark boyunu kısa tutması kaynakta gevrekliğe ve gözenekliliğe yol açar. Bu durum havadan oksijen ve azot absorbe edilmesinden kaynaklanır. Benzer şekilde ark boyunun uzun tutulması kaynak metalinin nüfuziyet yeteneğini ve gazın koruma özelliğini bozar. Kaynakçı makine üzerinde seçtiği ayarlara göre kaynak hızını da iyi ayarlamalıdır. Yavaş yapılan kaynaklarda kaynak metali esas metal yerine kaynak banyosu üzerinde yanarak geniş bir kaynak dikişi oluşmasına sebebiyet verir. Benzer şekilde hızlı yapılan bir kaynakta ise arkın ergittiği esas metalin bu bölümlerinin yeterince kaynak metaliyle doldurulamaması söz konusu olacağından dikiş kenarında yanma olukları meydana gelir.

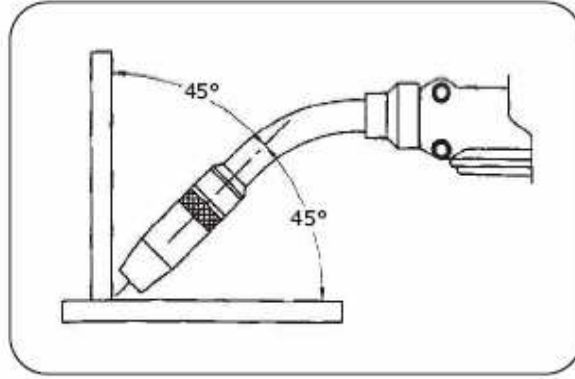
Diğer tüm ark kaynağı yöntemlerinde olduğu gibi, kaynak elektrodunun kaynak bağlantısına göre açılı kaynağı dikişi şeklini ve nüfuziyetini etkiler. Elektrodun ucu

kaynak yönünün aksi yönüne doğru yönelmişse, bu teknik "sağa kaynak", kaynak doğrultusuna doğru yönelmişse "sola kaynak" olarak adlandırılır. Elektrod açıları ve bunların dikiş şekline ve nüfuziyete etkileri Şekil 3.4.'te gösterilmiştir [7].



Sekil 3.4. Torç tutuşunun kaynak dikişi üzerindeki etkileri [7]

Bütün diğer şartlar değiştirilmeden, hareket açısı sıfırdan itibaren sola kaynak tekniğine doğru arttırılacak olursa, nüfuziyet artar ve kaynak dikişi geniş ve düz hale dönüşür. En yüksek nüfuziyet sağa kaynak tekniği ile hareket açısı 25° iken meydana gelir. Sağa kaynak tekniği, aynı zamanda daha dışbükey ve daha dar bir dikiş, daha kararlı bir ark ve iş parçası üzerinde daha az sıçrama meydana getirir. Tüm pozisyonlarda, ergimiş kaynak banyosunun daha iyi kontrol edilmesi ve korunması için normal olarak kullanılan elektrod açısı 5 ila 15 derece arasında değişen bir hareket açısıdır. Yatay pozisyonda iç köşe kaynağı yaparken elektrod Şekil 3.5.'teki gibi düşey parçayla 45° çalışma açısı yapacak şekilde tutulmalıdır [7].



Şekil 3.5. Gazaltı kaynağında yatay pozisyonda iç köşe kaynağı için torç tutuş pozisyonu [7]

3.6.3. Gaz altı kaynağı için uygun elektrot teli ve koruyucu gaz seçimi

Gazaltı kaynağında kullanılan elektrodlar tozaltı ark veya özlü elektrodla ark kaynağında kullanılanlara nazaran çok daha küçük çapa sahiptirler. Genelde elektrod çapları 0.8 ile 1.6 mm arasındadır. Ancak 0.5 mm'ye kadar ince ve 3.2 mm'ye kadar kalın çaplı elektrodlarda mevcut olup kullanılmaktadır. AWS' e göre yapı çeliğinde kullanılacak elektrodlar Tablo 3.10.'da verilmektedir.

Tablo 3.10. AWS' ye göre gazaltı kaynağı için uygun tel elektrodlar

| | |
|--|----------------|
| Sıcak veya Soğuk Haddelenmiş Alaşımız Karbon Çelikleri | E70S-3, E70S-1 |
| | E70S-2, E70S-4 |
| | E70S-5, E70S-6 |
| Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çelikler | E80S-D2 |
| | E80S-Ni1 |
| | E100S-G |

Metallerin çoğu oksit oluşturmak üzere oksijenle birleşmeye kuvvetli bir eğilim ve metal nitritleri oluşturmak üzere de azotla birleşmeye daha düşük ölçüde bir eğilim gösterirler. Oksijen, ergimiş çelikteki karbonla karbon monoksit gazı oluşturmak üzere reaksiyona girer. Bu reaksiyonların ürünleri oksitler nedeniyle ergime hatalarına, gözenek oluşumuna, oksit ve nitritler nedeniyle oluşan mukavemet kayıplarına ve kaynak metalinin gevrekleşmesi sebebiyet verir [7].

Koruyucu gazlar yapılacak kaynağı bu etkilerden korumanın yanında uygulama kolaylıkları ve kaynak dikişlerinin alacağı şekil açısından da etkiler. Yani bu gazlar örtülü elektrotlardaki örtünün yerini tutmaktadır. Dolayısı ile ne tür gaz karışımının kullanılacağı kaynak dikişinin karakterini etkilemektedir. Bu da gazaltı kaynağında kullanılacak gazın seçiminin dikkatle yapılması gerektiğini ve gazların dikiş üzerinde hangi eğilimlere sahip olduğunun bilinmesini gerektirir.

Gazaltı ark kaynağında belirgin biçimde farklı metal iletim şekilleri vardır. Temel iletim şekilleri, kısa devre, küresel ve spreysidir. Metal iletimini faktörü yapılacak kaynağın karakteri açısından önem arz etmek olup kullanılacak gazın çeşidini de doğrudan etkilemektedir.

Aslında bu parametreler birbirine doğrudan bağlıdır demek daha yerinde bir ifade olur. Kısa devre iletiminde kaynak akımı ve gerilimi düşüktür. Ark hızla katılaşıyor, küçük bir kaynak banyosu oluşturur. Bu sayede, ince metallerin tüm pozisyonlarda kaynağı veya geniş kök aralıklarının doldurulması mümkün hale gelir. Ancak ısı girdisi düşük olduğundan, kalın elektrot tellerinde ve malzemelerde, yetersiz nüfuziyete neden olabilmektedir.

Sprey iletim verilen bir elektrot çapı için kaynak akımı arttırıldığında, Argon oranı yüksek bir karışım gazıyla metal iletim şekli küreselden spreye dönüşür. Erimiş metal ark boyunca küçük damlacıklar halinde iletilir ve iletim hızı yüksektir. Bu iki iletim şekilleri arasında gerçekleşen küresel metal iletimi de bulunmaktadır. Koruyucu gaz seçimi için Tablo 3.11.'de verilen bilgilerin takip edilmesi faydalı olacaktır [7].

Tablo 3.11. Gazaltı kaynağı için koruyucu gaz seçimi [7]

| Ana Metal | Kalınlık | İletim Modu | Önerilen Koruyucu Gaz | Avantajlar / Tanımlar |
|--------------------------------|----------------|-----------------------------------|---|---|
| Karbon Çeliği | maks. 2 mm | Kısa Devre | Ar + CO ₂ / Ar + CO ₂ + O ₂ | Yeterli nüfuziyet ve distorsiyon kontrollü. |
| | 2 mm - 3,2 mm | Kısa Devre | Ar + % 8-25 CO ₂ Ar + He + CO ₂ | Daha yüksek metal yığıma hızı. En az distorsiyon ve sıçrama. Pozisyon kaynağında iyi banyo kontrollü. |
| | 3,2 mm'den çok | Kısa Devre | CO ₂ Ar + % 15-25 CO ₂ | Yüksek kaynak hızı. İyi nüfuziyet ve banyo kontrollü. Pozisyon kaynağına uygun. |
| | | Kısa Devre / Küresel | Ar + % 25 CO ₂ | Yüksek akım ve yüksek hız kaynağına uygun. |
| | | Kısa Devre | Ar + % 50 CO ₂ | Derin nüfuziyet, dilslik sıçrama, yüksek ilerleme hızı. Pozisyon kaynağı iyi. |
| | | Kısa Devre + Küresel (Gömülü Ark) | CO ₂ | Derin nüfuziyet ve en yüksek ilerleme hızı fakat delme riski yüksek. Yüksek akımla mekanize kaynak. |
| | | Sprey | Ar + % 1-8 O ₂ | İyi ark kararlılığı. O ₂ arttıkça daha akışkan kaynak banyosu oluşur. Güzel dikiş görüntüslü ve esas metalle kaynaşma. İyi banyo kontrollü. |
| | | Sprey | Ar + % 5-20 CO ₂ | Banyo akışkan. CO ₂ arttıkça esas metalin oksidasyonu ile cilraf ve tufal oluşumu artar. Kararlı ark, sağlam kaynak metali ve artan dikiş genişliği. |
| | | Kısa Devre Sprey İletim | Ar + CO ₂ + O ₂ Ar + He + CO ₂ He + Ar + CO ₂ | Kısa devre ve sprey iletim modlarına uygun. Geniş kaynak akımı aralığı ve iyi ark performansı. İyi banyo kontrollü ve düzgün dikiş biçimi. |
| | | Yüksek Akım Yoğunluğu | Ar + He + CO ₂ + O ₂ Ar + CO ₂ + O ₂ | Yüksek metal yığıma hızı (3,5-7 kg/saat) sağlar. Bu değerlere erişmek için özel ekipman ve kaynak teknikleri gerekebilir. |
| Düşük ve Yüksek Alaşımli Çelik | maks. 2,4 mm | Kısa Devre | Ar + % 8-20 CO ₂ He + Ar + CO ₂ Ar + CO ₂ + O ₂ | İyi kaynaşma ve dikışı görüntüslü. İyi mekanik özellikler. |
| | | Kısa Devre / Küresel | Ar + % 20-50 CO ₂ | Yüksek kaynak hızı. İyi nüfuziyet ve banyo kontrollü. Pozisyon kaynağına uygun. Yüksek akım ve yüksek hız kaynağına uygun. |
| | 2,4 mm'den çok | Sprey (Yüksek Akım Yoğunluğu) | Ar + % 2 O ₂ Ar + % 5-10 CO ₂ Ar + CO ₂ + O ₂ Ar + He + CO ₂ + O ₂ | Kenar yanığını (undercut) azaltır. Yığıma hızı daha yüksek ve yayılma daha iyi. Derin nüfuziyet ve iyi mekanik özellikler. |
| | | Darbeli Sprey | Ar + % 2 O ₂ Ar + % 5 CO ₂ Ar + CO ₂ + O ₂ Ar + He + CO ₂ | Hem ince hem de kalın malzemelerin pozisyon kaynağında kullanılır. Geniş bir ark karakteristiği ve yığılan metal aralığın da kararlı kaynak imkanı sağlar. |

3.6.4. Gaz altı kaynağının uygun şekilde tatbik edilmesi ve olası kaynak hataları


Gaz altı kaynağında meydana gelen başlıca hatalar kaynak metalinde gözenek oluşumu, kaynak metalinin çatlaması, İTAB bölgesi çatlakları, erime azlığı, yanma oluşunun oluşması ve kaynak metalinin yetersiz ya da aşırı nüfuziyetidir. Kaynaklı çelik yapı birleşimlerinin daha güvenli ve performanslı olarak elde edilebilmesi için yapı mühendisliği bilgi ve becerilerinin içerisinde olası kaynak hataları ile sebeplerinin de edinilmiş olması faydalı olacaktır.

Gözenek, kaynak metalinde hapsolmuş küçük bir gaz cebidir. Kaynak dikişinin belirli bir noktası veya tüm boyunda görülebilir. Bu süreksizlik veya hata kaynak dikişinin içinde veya yüzeyinde olsun herhangi bir kaynaklı birleştirmenin yapısal bütünlüğünü ciddi olarak zayıflatır. Gözenek oluşumunun en temel nedeni yetersiz gaz korumasıdır ve ortamın iklimsel koşulları ile gazın iletilmesini sağlayan aksamdaki aksaklıkların giderilmesi veya kontrol edilmesi ile kolaylıkla aşılabilir.

Kirli bir iş parçası da gözeneğe neden olabilir. Kaynağa başlamadan önce, iş parçası üzerindeki pas, gres, boya, yağ, kaplamalar ve pislikler temizlenmelidir. Ayrıca, daha temiz kaynak metali için, deoksidasyon elementlerini (Si, Mn, Al, Ti, Zr vb.) daha çok içeren kaynak elektrodları kullanılabilir. Gözeneğin diğer bir nedeni de yanlış koruyucu gaz kullanımındır. Daima ana malzeme ve kaynak teline uygun, kaynak için üretilmiş koruyucu gazlar kullanılmalıdır. Öte yandan kaynak telinin gaz nozulundan çok ileriye çıkarılarak kaynak yapılması da gözenek oluşumuna sebebiyet verebilir (tel gaz nozulundan sonra en çok 12-15 mm uzamalıdır). Ana malzemedeki safsızlıklar, çelik bileşimindeki fosfor ve kükürt gibi elementlerin kaynak banyosu ile temas edebilme şansına eriştiğinde gözenek oluşumuna neden olabileceği de bilinmektedir [8].

Oksijen, çelikte mevcut olan karbonla birleşerek karbon monoksiti (CO) oluşturur. Bu gaz ise, katılaştıkça kaynak banyosunda hapsolarak gözeneğe neden olur. Buna ek olarak, oksijen çelikteki diğer elementlerle birleşir ve kaynak metalinde metalik olmayan kalıntıları oluşturur [8]. Tablo 3.12.'de kaynakta gözenek hatalarının başlıca oluşum nedenleri ve çözümleri belirtilmektedir .

Tablo 3.12. Gözenek oluşumu hataları ve giderilme yolları [7]

|  | |
|---|--|
| Nedeni | Giderilmesi |
| 1 - Yetersiz gaz koruması. 2 - Koruyucu gazın kirlenmesi. 3 - Elektrodun kirlenmesi. 4 - İş parçasının kirlenmesi. 5 - Ark gerilimi çok yüksek. 6 - Serbest elektrod uzunluğu fazla. | 1 - Gaz akışını en uygun değere getir. Kaynak bölgesindeki havayı tamamen uzaklaştırmak için gaz akışını artır. Türbülansın kaçınmak ve havanın kaynak bölgesinde hapsolmesini önlemek için aşırı gaz akımını azalt. Gaz hattındaki kaçakları ortadan kaldır. Kaynak bölgesine doğru esen hava cereyanını (fanlar, açık kapılar vb.) durdur. CO ₂ kaynağında ısıtıcıları kullanarak donmuş (tukanmış) regülatörleri ısıt. Kaynak hızını azalt, meme ile iş parçası arasındaki mesafeyi azalt. Kaynağın sonunda, ergimiş metal katılaşmaya kadar torcu tutmaya devam et. 2 - Kaynak için uygun kalitede koruyucu gaz kullan. 3 - Sadece temiz ve kuru elektrod kullan. 4 - Kaynak öncesi iş parçası yüzeyinden tüm gres, yağ, boya, rutubet, pas ve kiri temizle. Daha yüksek derecede deokside etme özelliğine sahip elektrod kullan. 5 - Gerilimi azalt. 6 - Serbest elektrod uzunluğunu azalt. |

Kaynak üzerinde oluşan çatlaklar kaynağın performansını alt düzeye indirgeyen ve önlenilmesi gereken hatalardır. Azot, çelik kaynak metalinde sünekliği ve darbe dayanımını azaltır böylece çatlamalara neden olur. Azot ayrıca kaynak üzerinde gözenek oluşumuna da yol açmaktadır. Su buharındaki hidrojen, erimiş çelikte çözünür ve gözenek veya bazı ana metallerde dikiş altı (ITAB) çatlağı oluşturur [8]. Tablo 3.13. ve 3.14.'te çatlak oluşumu ve giderme yolları verilmektedir .

Tablo 3.13. Kaynak metalinde çatlak oluşumu hatası [7]

| Nedeni | Giderilmesi |
|--|--|
| <p>1 - Yanlış bağlantı tasarımı.</p> <p>2 - Çok fazla dikiş genişliği/derinliği oranı.</p> <p>3 - Çok küçük bir kaynak dikişi. (özellikle içköşe ve kök dikişlerinde)</p> <p>4 - Isı girdisi aşırı çekme ve distorsiyona neden olacak kadar yüksek.</p> <p>5 - Sıcak çatlama.</p> <p>6 - Bağlantı elemanlarında yüksek zorlanma.</p> <p>7 - Bağlantının sonundaki kraterde hızlı soğuma.</p> | <p>1 - Zorlanma şartlarına dayanıklı şekilde yeterli dolgu metali yığmaya yani kaynak kesidini arttırmaya imkan verecek uygun kaynak ağzı hazırla.</p> <p>2 - Dikiş genişliğini arttırmak veya nüfuziyeti azaltmak için ya ark gerilimini arttır veya akımı azalt veya her ikisini de azalt.</p> <p>3 - Yığılan metal kesitini arttırmak için kaynak hızını azalt.</p> <p>4 - Ya akımı ya da gerilimi veya her ikisini birden azalt. Kaynak hızını arttır.</p> <p>5 - Yüksek manganez içeriğine sahip elektrod kullan (arktaki manganez kaybını en az düzeye indirmek için daha kısa ark boyu kullan). Ağzı açısını yeterli oranda dolgu metali ilavesi sağlamaya imkan verecek şekilde ayarla. Soğuma sırasında dikişe gelen zorlanmaları azaltmak için paso sırasını ayarla. İstenen özelliği sağlayan başka bir dolgu metali kullan.</p> <p>6 - İç gerilmelerin şiddetini azaltmak için ön tavlama yap. Zorlanma şartlarını azaltmak için kaynak sırasını ayarla.</p> <p>7 - Geri adım tekniği ile kraterleri ortadan kaldır.</p> |

Tablo 3.14. İTAB bölgesinde çatlak oluşumu hatası [7]

| Nedeni | Giderilmesi |
|--|--|
| <p>1 - Isı tesiri altındaki bölgede sertleşme.</p> <p>2 - İç gerilmeler çok yüksek.</p> <p>3 - Hidrojen gevrekleşmesi var.</p> | <p>1 - Ön tavlama yaparak soğuma hızını azalt.</p> <p>2 - Gerilme giderme ısıtılmasını kullan.</p> <p>3 - Temiz elektrod ve kuru koruyucu gaz kullan. Esas metaldeki kirleri temizle. Kaynağı soğumadan birkaç saat yüksek sıcaklıkta tut (hidrojenin yayılabilmesi için gerekli sıcaklık ve zaman esas metalin cinsine bağlı olarak değişir).</p> |

Düşük ısı girdisi ile kaynak yapılması sonucu ya da çok pasolu kaynak yapımlarında esas metalin tamamen erimemesi olayına yetersiz erime denmektedir. İş parçasıyla elektrod arasındaki açının yanlış olması nedeniyle kaynak metali arkın önüne geçerek bu durumu yaratabilir. Sorunun diğer bir nedeni de kirli iş parçası olabilir [8]. Tablo 3.15.'te bu sorun ve çözüm yolları belirtilmektedir .

Tablo 3.15. Ergime azlığı hatası [7]

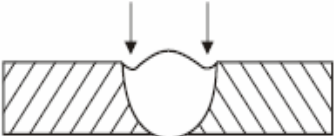
| Nedeni | Giderilmesi |
|--|---|
| 1- Kaynak bölgesindeki yüzeyler film veya aşırı oksitlerden arınmamış. | 1 - Kaynaktan önce tüm ağız yüzeylerindeki ve kaynak bölgesi yüzeylerindeki hadde sırasında oluşan tufal kalıntılarını temizle. |
| 2 - Yetersiz ısı girdisi. | 2 - Elektrod besleme hızını ve ark gerilimini yükselt, serbest elektrod uzunluğunu azalt. |
| 3 - Çok büyük bir kaynak banyosu. | 3 - Daha denetlenebilir bir kaynak banyosu elde etmek için aşırı elektrod salınımından kaçın. Kaynak hızını artır. |
| 4 - Yanlış kaynak tekniği. | 4 - Salınım tekniği kullanırken kaynak ağzının yüzeylerinde kısa sürelerle kal. Bağlantının köküne ulaşabilecek geçit sağla. Elektrodu kaynak banyosunun ön yüzüne doğru yönlendir. |
| 5 - Yanlış bağlantı tasarımı. | 5 - Uygun bir serbest elektrod uzunluğu ile kaynak ağzının dibine ve yan cidarlarına ulaşmaya yetecek büyüklükte ağız açısı kullan veya "J" ya da "U" kaynak ağzı kullan. |
| 6 - Aşırı kaynak hızı. | 6 - Kaynak hızını azalt. |

Kaynak dikişinin kenarındaki ana malzeme oyuk şeklinde erir ve kaynak metali bu kısmı yeteri kadar dolduramazsa kenar yanığı ortaya çıkar. Bu süreksizlik, kaynak dikişi kenarında zayıf bir bölge yaratır ve çatlamalara neden olur. Bu sorunla karşılaşmamak için, kaynak akımı ve gerilimi yüksek tutulmamalı ve torcun tutuş açısı iyi ayarlanmalıdır. Bazen bu hata torç ilerleme hızının yüksek olmasından da kaynaklanabilir [8]. Tablo 3.16. bu durumun neden ve çözümlerine işaret etmektedir.

Kaynak metali esas metalin tamamını eriterek dikişin diğer tarafından sarkıtığında aşırı nüfuziyetten söz edilmektedir. Çoğunlukla aşırı ısı girdisinden kaynaklanır ve mevcut ayarlara göre kaynak hızının ayarlanması son derece etkilidir. Yetersiz

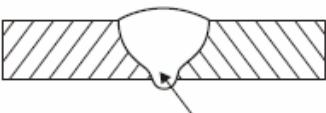
nüfuziyet, ana metalle kaynak metali arasındaki kaynamanın olması gerekenden daha sığ gerçekleşmesidir.

Tablo 3.16. Yanma oluğu oluşumu hatası (undercut) [7]

|  | |
|--|--|
| Nedeni | Giderilmesi |
| 1 - Kaynak hızı çok yüksek. 2 - Kaynak gerilimi çok yüksek. 3 - Kaynak akımı çok yüksek. 4 - Kalış zamanı yetersiz. 5 - Torç açısı hatalı. | 1 - Daha düşük kaynak hızı kullan. 2 - Gerilimi azalt. 3 - Elektrod besleme hızını düşür. 4 - Ergimiş kaynak banyosunun kenarında kalış zamanını artır. 5 - Ark kuvvetlerinin metalin yerleşmesine yardımcı olmalarını sağlayacak biçimde torç açısını değiştir. |

En olası nedeni yetersiz ısı girdisidir. Benzer şekilde kaynak hızının seçilen makine ayarlarına göre optimum hızda seçilmesi ile de doğrudan alakalıdır. Yetersiz nüfuziyet aynı zamanda uygun olmayan kaynak ağzı ve/veya aşırı kalın malzemeden ileri gelebilir. Kaynak ağzı tasarımı ve hazırlığı dikişin en altına erişime izin verirken, düzgün bir ark karakteristiği ve doğru iş parçası-nozul arası mesafe iyi bir kaynak elde etmek için şarttır [8]. Tablo 3.17. ve 3.18.'de bu durumun nedenleri ve çözümleri sunulmaktadır .

Tablo 3.17. Aşırı nüfuziyet hatası [7]

|  | |
|---|---|
| Nedeni | Giderilmesi |
| 1 - Aşırı ısı girdisi. 2 - Yanlış bağlantı hazırlığı. | 1 - Elektrod besleme hızını (kaynak akımını) ve gerilimi azalt. Kaynak hızını artır. 2 - Kök aralığını azalt. Kök yüzeyinin boyutlarını artır. |

Tablo 3.18. Yetersiz nüfuziyet hatası [7]

| Nedeni | Giderilmesi |
|--|---|
| 1 - Yanlış bağlantı hazırlığı. 2 - Yanlış kaynak tekniği. 3 - Yetersiz kaynak akımı. | 1 - Bağlantı tasarımı, serbest elektrod uzunluğunda kaynak ağzının dibine ulaşabilecek bir geçit sağlamalıdır. Aşırı kök yüksekliğini azalt. Alın kaynağında kök açıklığını artır ve arka taraftaki oyuğun derinliğini artır. 2 - En yüksek nüfuziyete ulaşmak için elektrod açısının iş parçası yüzeyine dik olmasını sağla. 3 - Arkı kaynak banyosunun ön tarafına doğru tut. Elektrod besleme hızını (kaynak akımını) artır. |

Kaynak hatalarına karşı önlem almak ve sorunlarını gidermek buradan da anlaşılacağı gibi bilgi birikimi ve iyi bir gözlem gerektirmektedir.

BÖLÜM 4. ÇELİK YAPI BİRLEŞİMLERİNİN BİLGİSAYAR ORTAMINDA MODELLENMESİ VE SONUÇLARININ TAHKİK EDİLMESİ

4.1. Giriş

Çelik yapı birleşimlerinin hesap edilmesi, bazen birleşimin yapı içerisinde aldığı pozisyona ve yüklere göre yorumlanması zor olarak nitelendirilebilecek bir hale gelebilir. Hatta simetrik olmayan karmaşık bir çelik yapı düşünüldüğünde yapının tasarlanması için çok sayıda birleşim çeşidi de ortaya çıkabilir. Böylece uzun bir zaman dilimine ihtiyaç duyulması talebi ortaya çıkar. Zaman faktörünün verimli kullanılması gereksinimi çeşitli matematiksel ve yorumsal hataların yapılmasına sebebiyet verebilir.

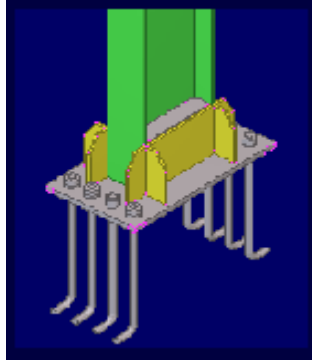
Türk standartları doğrultusunda çelik yapılar için eleman bazında hesap yapabilen ya da yalnızca çizim yapabilen paket yazılımlara sıklıkla rastlanabilmektedir. Ancak gösterdikleri çeşitlilik dolayısı ile ülkemizde birleşimlerin hesap edilmesi için kullanılagelen kapsamlı ve fonksiyonel bir yazılımın henüz bulunmadığı söylenebilir. Çelik yapı birleşimlerinin hesaplanmasında yorum, hata ve zaman sıkıntısının önüne geçerek bir çelik yapıdaki bütün birleşimlerin hesap edilebilmesi yapı güvenliği açısından faydalı olacaktır. Öte yandan kabul edilen ortak bilimsel kuramlar doğrultusunda, değişik örnekler üzerinde, her iterasyon sonucu elde edilen sonuçların değerlendirilebildiği, hızlı ve iteratif bir şekilde hesaplamalar yapılabilmesi için çelik yapı birleşimlerinin bilgisayar ortamında modellenmesi iyi bir yol olabilir.

Çelik yapılara ilişkin literatür incelendiğinde, klasik bir çelik yapıya ilişkin birleşim hesap prosedürlerinin tümüne yer verilmesini beklemek kitapların belli sayfa adetlerinde olduğu dikkate alındığında mümkün değildir. Dolayısı ile belli birleşim çeşitlerinin çözümünü gerçekleştirmek için literatür dışında prosedürler uygulanması ihtiyacı ortaya çıkacaktır. Bu çözümlerin literatürde benzer birleşimler

incelenerek hazırlanmış olması durumunda dahi sonuçların doğruluğunu teyit etmek için, gerekli deneylerin yapılması ve bu konuda bilimsel çalışma yapan kuruluşlarca incelenmesinin ardından kabul görmesi çelik yapı birleşimlerinin güvenliği adına daha uygun bir yol olabilir.

Bilgisayar ortamında çelik yapı birleşimlerinin hesaplanmasına ait bir kütüphane oluşturulması yukarıda bahsedilen kuramlar açısından faydalı olacaktır. Tezin bu Bölüm'ünde böyle bir çalışmanın yapılabilirliği lineer elastik koşullar altında, literatürde karşılaştırma imkanı olan örneklerden seçilen 10 adet birleşim unsuru üzerinde irdelenecektir. Hesap adımları literatür içindeki formülasyonlardan alınmıştır. Programlama usul ve teknikleri, yazılım kodları, hesap formüllerinin çıkartılışı vb. gibi bilgiler çalışmayı amacından uzaklaştıracağı için değinilmeyecektir. Çalışmada izlenen metot, literatürden elde edilen formüllerin "Visual Basic" yazılım editörü yoluyla bilgisayar ortamına aktarılıp hesap yaptırılması ve ardından sonucun manüel metotlarla doğrulanması olacaktır.

4.2. Ankastre Kolon Ayaklarının Bilgisayar Ortamında Modellenmesi



Şekil 4.1. Ankastre kolon ayağı

HEA400 profili ile teşkil edilmiş bir kolon ayağı üzerinde 2420 t.cm'lik moment, 23 tonluk düşey kuvvet ve 4.5 tonluk bir yatay kuvvet etkimektedir. Tüm çelik elemanları St37-2 olan bu sistemde taban levhası HEA400 kolonu ve INP200 ($W_x = 214 \text{ cm}^3$) kamasına 3mm kalınlıklı kaynak ile bağlanırken, kolon 10mm et

kalınlığındaki 50 cm yükseklikli bayrak plakasına 7mm'lik, bayrak ise taban levhasına 5mm'lik kaynak ile bağlanmıştır [9].

BS20 beton üzerine 5 cm grout boşluğu ile oturtulacak taban levhasının ebatları 54x100x3cm olarak seçilmiştir. Taban plakası her 2 kenarından 4'er adet M30'luk ankraj cıvataları ile merkezleri plaka kenarından 75mm uzakta olacak şekilde beton içerisine tespit edilmiştir. Kolon ile taban levhası arasındaki kaynak $l'=290\text{mm}$ ve kama taban levhası arasındaki kaynak $l'=150\text{mm}$ 'dir.

Bahsedilen birleşimi ankastre kolon ayağı şeklinde tasarlayarak, birleşim hesap detaylarını bilgisayar modeli yoluyla hesaplatalım. İlk önce ankastre kolon ayağı hesap modülünü açarak veri girişine ait kısmı Şekil 4.2. 'dekine benzer şekilde oluşturulur.

| HESAP GİRDİLERİ | | | | | |
|---|-----------|---|--------|--------------------------------------|---------------------|
| Taban levhası malzeme çeşidi = | St 37 | Taban plakası uzun kenar mesafesi (A) = | 100 cm | Kama uzunluğu (h2) = | 20 cm |
| Kaynak emniyet gerilmesi = | St 37 | Taban plakası kısa kenar mesafesi (B) = | 54 cm | Kama uzun kenar boyutu (h4) = | 20 cm |
| Kullanılacak beton sınıfı = | BS 20 | Ankraj bulon çapı (d) = | M 30 | Kama kısa kenar uzunluğu (b1) = | 9 cm |
| Tatbik momenti (M) = | 2420 t.cm | Bayrak plakası kalınlığı (t1) = | 1 cm | Kama mukavemet momenti (Wx) = | 214 cm ³ |
| Düşey yük (S) = | 23 ton | Ankraj bulonu kenar mesafesi (e1) = | 7.5 cm | Kolon gövdesi kaynak uzunluğu (l') = | 29 cm |
| Yatay yük (H) = | 4.5 ton | Bayrak levhası yüksekliği (h1) = | 50 cm | Çimento şerbeti kalınlığı (t3) = | 5 cm |
| Bayrak levhası-kolon kaynak kalınlığı (a1) = | 0.7 cm | Taban plakasının bir kenarındaki ankraj bulon adedi (n) = | 4 adet | | |
| Güve levhası - taban plakası kaynak kalınlığı (a2) = | 0.5 cm | Kolonun taban plakasının kısa kenarına paralel uzunluğu (b) = | 30 cm | | |
| Kolon gövdesi - taban levhası kaynak kalınlığı (a3) = | 0.3 cm | Kolonun taban plakasının uzun kenarına paralel uzunluğu (h) = | 39 cm | | |
| Kamayı taban levhasına bağlayan kaynak kalınlığı (a4) = | 0.3 cm | Kamayı taban levhasına bağlayan kaynak uzunluğu (l4) = | 15 cm | | |

Şekil 4.2. Ankastre kolon ayağı için veri girişi kısmının oluşturulması

Giriş ekranında formülasyonlar içerisinde kullanılan alfabetik simgelerin açıklamaları da yer almaktadır. Modelin yazılım içerisindeki akışı şu şekildedir;

- Programın ilk önce taban levhası üzerindeki maksimum basınç (Bağıntı 4.2.1.) ve çekme (Bağıntı 4.2.2.) gerilmelerini hesap edecektir. Bunun için çekme ve basınç kuvvetleri olan D ve Z değerlerinin moment alınması

yoluyla hesabını sağlayan $e(z)$ ve $e(d)$ değerlerini hesaplayacaktır. Bunun akabinde kuvvet ve moment değerleri de bilindiğinden D ve Z kuvvetleri hesaplanabilir (Şekil 4.3.).

$$D = \frac{M + S \cdot e_z}{e_z + e_d} \quad (4.2.1.)$$

$$Z = \frac{M - S \cdot e_z}{e_z + e_d} \quad (4.2.2.)$$

| | | | | | |
|--|----------|-----|-----------------------------|------|----|
| $e(z) = A/2 - e_1 =$ | 42.5 | cm | $e(d) = 3/8 \cdot A =$ | 37.5 | cm |
| $D = (M + S \cdot e(z)) / (e(z) + e(d)) =$ | 42.46875 | ton | $c_1 = (B - b - t_1) / 2 =$ | 11.5 | cm |
| $Z = (M - S \cdot e(d)) / (e(z) + e(d)) =$ | 19.46875 | ton | | | |

Şekil 4.3. Taban levhası üzerindeki maksimum basınç ve çekme kuvvetlerinin hesap edilmesi

- Bunun akabinde taban levhasının altındaki beton kütlelerinin yeterliliği kontrol edilmelidir. Bunun için beton altındaki “p” basınç kuvveti hesaplanır ve model içerisinde bir döngü kurularak seçilen beton sınıfının mukavemet değeri ile karşılaştırılmalıdır (Bağıntı 4.2.3.). Dolayısı ile yazılım içerisinde beton sınıflarının mukavemet değerleri ile bir kütüphane oluşturulması gerekir.

$$\rho = \frac{4 \cdot D}{A \cdot B} \leq \rho_{em} \quad (4.2.3.)$$

- 3.işlem ankraj bulonlarının birim kesit alanına gelen kuvvetin hesaplanarak yazılım kütüphanesine girilen emniyet değeri ile karşılaştırılmasıdır (Bağıntı 4.2.4.). Diş açımından dolayı çap kaybı 0.86 katsayısı ile çarpılarak sağlanır (Şekil 4.4.).

$$n \cdot \frac{\pi \cdot (0.86 \cdot d)^2}{4} \cdot \sigma_{zem} \geq Z \quad (4.2.4.)$$

| | | | |
|--|----------|---------------------|---------------------------|
| $p = (4 \cdot D \cdot 1000) / (A \cdot B) =$ | 31.45833 | kg/cm ² | Beton Sınıfı Yeterlidir. |
| $G(zemn) = [Z \cdot 4] / (\pi \cdot (0.86 \cdot d)^2 \cdot n) =$ | 0.931470 | ton/cm ² | Ankraj bulunu yeterlidir. |

Şekil 4.4. Beton basıncı ve ankraj bulunu tahkikleri

- Bir sonraki tahkik taban levha kalınlığının sınanmasıdır. Bunun için izlenecek yol oluşacak maksimum momentin belirlenmesi ve buna bağlı minimum taban levha kalınlığının hesaplanmasıdır (Bağıntı 4.2.5. – 4.2.6.). İşlemler esnasında yazılım kütüphanesine saç kalınlıklarının 20mm'e kadar çift sayılar şeklinde girilmesi, 20mm'den sonra ise sayı son hanesinin 0 ya da 5 seçilmesi piyasada bulunan saç kalınlıklarının sonuçlar ile örtüşmesini sağlayacaktır (Şekil 4.5.).

$$M_{\max} = \left\{ M_1 = p \cdot \frac{c_l^2}{2} \text{ ya da } M_2 = \frac{p \cdot B}{2} \cdot \left(\frac{B}{4} - c_l \right) \right\} \quad (4.2.5.)$$

$$t \geq 2.45 \sqrt{\frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{çem}}}} \quad (4.2.6.)$$

| | | | | | |
|---|----------|----------|-----------------------------------|-----------|----------|
| $M1 = p \cdot c_l^2 / 2 =$ | 2080.182 | kg.cm/cm | $M2 = (pB/2) \cdot (B/4 - c_l) =$ | 1698.7499 | kg.cm/cm |
| $M_{\max} = [M1, M2] \max =$ | 2080.1 | kg.cm/cm | | | |
| $t = 2.45 \cdot \sqrt{(M_{\max} / G_{\text{çem}})} =$ | 2.944662 | cm | Taban levhası kalınlığı = | 30 | mm |

Şekil 4.5. Taban levha kalınlığı tahkiki

- Sistemdeki kaynakların sınanması, mevcut konumlarına göre çeşitlilik gösterir. a_1 kaynağına etkiyen kuvvetin tespiti ve kayma güvenliği sınaması kolon ve guse levhası arasındaki bağın yeterliliğini kaynak güvenliği açısından ortaya koyacaktır (Bağıntı 4.2.7. – 4.2.8.). Dolayısı ile karşılaştırma için program kütüphanesinde kaynak emniyet değerleri ile ilgili bir veri tablosu oluşturulmalıdır (Şekil 4.6.).

$$P = \frac{S}{4} + \frac{1}{2} \cdot \frac{M}{h} \quad (4.2.7.)$$

$$h_1 \geq \frac{P}{a_1 \cdot \tau_{\text{kem}}} + 2 \cdot a_1 \quad (4.2.8.)$$

| | | |
|-----------------------------|----------|---|
| $p1 = (S/4)+(1/2*M/h) =$ | 36 | ton |
| $T_k = p1/(a1*(h1-2*a1)) =$ | 1.058201 | ton/cm ² a1 Kaynak kalınlığı yeterlidir. |

Şekil 4.6. Guse ve kolon arasındaki a₁ kaynağının tahkik edilmesi

- a₁ kaynak kalınlığına ilave olarak bayrak levhasının uç kesitindeki gerilme değerinin malzeme emniyet değerini aşmaması gerekmektedir (Bağıntı 4.2.9.). Bunun için taban levhasının kısa kenarından bakıldığında ortaya çıkan ilgili kesit üzerinden şeklin ağırlık merkezi ve atalet momenti hesaplanmalıdır. Akabinde gerilmeye neden olan maksimum moment belirlenir (Şekil 4.7.). Yazılım içerisinde girdi tablolarından alınan malzeme emniyet gerilmesi kıyas faktörü olarak kullanılmalıdır.

$$M_{\max} = (M_d, M_z)$$

$$M_d = D \cdot \left(\frac{A-h}{2} - \frac{A}{8} \right) \quad \text{ve} \quad M_z = Z \cdot \left(\frac{A-h}{2} - e_1 \right) \quad (4.2.9.)$$

| | | |
|---|----------|---|
| $y = ((2*t1*h1*(h1/2+t)+(t*B*t/2))/((2*t1*h1)+(t*B))) =$ | 11.61450 | cm |
| $I_x = (2*t1*h1^3/12)+2*t1*h1*((h1/2+t)*y^2+t*B*(y-t/2)^2) =$ | 64254.89 | cm ⁴ |
| $M(D) = D*((A-h)/2-A/8) =$ | 743.2031 | t.cm |
| $M(Z) = Z*((A-h)/2-e1) =$ | 438.0468 | t.cm |
| $M_{\max} = (M(D), M(Z)) =$ | 743.2031 | t.cm |
| $G = M_{\max}/I_x*(h1+t-y) =$ | 0.478684 | ton/cm ² Guse levhalarının uç kesiti gerilmesi yeterlidir. |

Şekil 4.7. Guse uç kesitinde gerilme analizi

- Kaynak kontrolleri a₂ ve a₃ kaynaklarının kontrolü ile devam eder (Bağıntı 4.2.10. ve 4.2.11.). a₂ kaynağının kontrolünde gerekli olan taban levhasına ait statik moment de hesaplanmalıdır. Bu kaynaklar kesmeye çalışmaktadır. Dolayısı ile program kütüphanesindeki kaynak kesme değeri ile karşılaştırma yapılmalıdır (Şekil 4.8.).

$$\tau_k = \frac{Q \cdot S_x}{I_x \cdot 2 \cdot a_2} \leq \tau_{kem} \quad (4.2.10.)$$

$$\tau_k = \frac{H}{2 \cdot a_3 \cdot (l' - 2 \cdot a_3)} \leq \tau_{kem} \quad (4.2.11.)$$

| | | | | | |
|--|----------|---------------------|---------------------------------|----------|-----|
| $S_x = B \cdot t \cdot (\gamma - t/2) =$ | 1638.549 | cm ³ | $Q = (D, Z)_{max} =$ | 42.46875 | ton |
| $T_k = (Q \cdot S_x) / (l' \cdot a_2) =$ | 1.082985 | ton/cm ² | a2 kaynak kalınlığı yeterlidir. | | |
| $T_k = H / (2 \cdot a_3 \cdot (l' - 2 \cdot a_3)) =$ | 0.264084 | ton/cm ² | a3 kaynak kalınlığı yeterlidir. | | |

Şekil 4.8. Taban levhası üzerindeki kaynakların kontrolü

- Günümüzde kullanılan en popüler ankraj tertip metodu tespit ankrajları ve kuvvetin aderans ile aktarıldığı uygulamalardır. Bu örnekteki çözümde kuvvetin aderans ile aktarıldığı yöntem tercih edilerek hesap yapılmaktadır. Bu durumda toplam aktarılan çekme kuvvetinin hesabı için Bağıntı 4.2.14., basınç kuvveti için Bağıntı 4.2.12. ve aderans kuvveti için Bağıntı 4.2.13.. kullanılabilir. Şekil 4.9.'da ankraj bulonu başına düşen çekme kuvvetinin aderans kuvvetinden düşük olup olmadığı tahkik edilmektedir.

$$Z_1' = \left[2 \cdot G^2 - \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 + d^2) \right] \cdot p_{em} \quad (4.2.12.)$$

$$Z_2' = \pi \cdot \tau_{aem} \cdot [D \cdot N + d \cdot (C - N - F)] \quad (4.2.13.)$$

$$Z' = Z_1' + Z_2' \quad (4.2.14.)$$

| | | | | | |
|---|-----------|----|----------------------------------|-----------|----|
| $Z_1' = (2G^2 - \pi/4 \cdot (D^2 + d^2)) \cdot p_{em} =$ | 12957.637 | kg | $Z' = Z_1' + Z_2' =$ | 16493.277 | kg |
| $Z_2' = \pi \cdot \tau_{aem} \cdot (D \cdot N + d \cdot (C - N - F)) =$ | 3535.64 | kg | | | |
| $Z_1 = Z'/n =$ | 4867.1875 | kg | < Z'-Aderans kuvveti yeterlidir. | | |

Şekil 4.9. Ankraj bulonları için aderans kuvveti tahkiki

- Bunun yanında bu sistem için gerekli ölçülerinde tanımlanması gerekir. Ankraj tertip ölçüleri için literatürde tablolar bulunmaktadır (Tablo 4.1.) ve bu tablolardan seçilen ankraj bulonu çapına göre kütüphaneler oluşturularak aderans hesabı sonunda verilmelidir. Bunlar boru çapı (D) ve uzunluğu (N), borunun kaynakılacağı kare levhaların “G” genişliği ve “F” kalınlığı, alt kısımda kalacak kare levha ile zemin arası “C” mesafesi, alt kare levhanın

üstü ve ankrajın taban kotu arasındaki “E” mesafesi ve Kare levhalara yapılacak (a) kaynak kalınlıklarıdır (Şekil 4.10.).

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| C = | 570 | mm | N = | 250 | mm | D = | 3 | inç | 76 | mm | |
| E = | 60 | mm | F = | 15 | mm | G = | 120 | mm | a = | 6 | mm |

Şekil 4.10. Ankraj bulonları için dizpozisyon ve tertibat verilerin kütüphaneden verilmesi

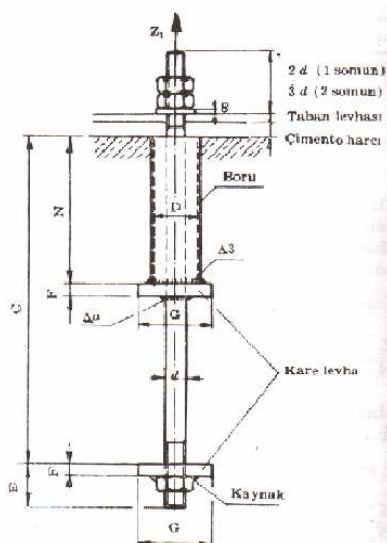
- Geriye kalan tek soru taban levhası altındaki kamanın yeterli olup olmadığıdır. Bunun için ilk önce kamanın içerisinde olduğu beton kütesinin mukavemet açısından yeterli olup olmadığı tahkik edilir (Bağıntı 4.2.15.). Son olarak kama kesitinin gerilme düzeyi sınanmalıdır (Bağıntı 4.2.16. - 4.2.17.). Karşılaştırmalar yazılım kütüphanesine girilen beton ve çelik malzeme emniyet gerilmeleri kullanılarak yapılır (Şekil 4.11.).

$$\rho' = \frac{H}{l_k \cdot (b_k - t')} \quad (4.2.15.)$$

$$M = \rho' \cdot \frac{(b_k - t')^2}{2} \quad (4.2.16.)$$

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \sigma_{cem} \quad (4.2.17.)$$

Tablo 4.1. Ankraj bulonları için dizpozisyon ve tertibat verileri [9]



| Bulon | C mm | N mm | D mm | E mm | F mm | G mm | a mm |
|-------|------|------|---------|------|------|------|------|
| M 24 | 520 | 225 | 3 (76) | 50 | 13 | 100 | 5 |
| M 30 | 570 | 250 | 3 (76) | 60 | 15 | 120 | 6 |
| M 36 | 620 | 275 | 3 (76) | 75 | 20 | 130 | 6 |
| M 42 | 670 | 300 | 4 (102) | 90 | 25 | 150 | 6 |
| M 48 | 720 | 325 | 4 (102) | 95 | 25 | 170 | 7 |
| M 56 | 840 | 350 | 5 (127) | 110 | 30 | 200 | 8 |
| M 64 | 960 | 375 | 5 (127) | 120 | 30 | 230 | 8 |
| M 72 | 1080 | 400 | 6 (152) | 140 | 40 | 250 | 9 |

| | | | |
|---|----------|---------------------|--------------------------|
| $p' = H \cdot 1000 / (b_1 \cdot (h_2 - h_3)) =$ | 33.33333 | kg/cm ² | Beton Sınıfı Yeterlidir. |
| $M = p' / 1000 \cdot b_1 \cdot (h_2 - h_3)^2 / 2 =$ | 33.74999 | t.cm | |
| $G_k = M / w_k =$ | 0.157710 | ton/cm ² | Kama kesiti yeterlidir. |

Şekil 4.11. Kama tahkiki için beton sınıfı ve malzeme yeterliliği sınaması

- Ankastre mesnet ile ilgili irdelenmesi gereken son unsur ise (a4) kaynak kalınlığının güvenlik düzeyidir (Bağıntı 4.2.18. – 4.2.19. - 4.2.20.). Ancak a4 kaynağı üzerindeki kuvvetin 2 bileşeni olduğundan birbirinden bağımsız kayma ve çekme gerilmesi analizleri yapılarak gereği görülürse kıyaslama gerilmesi tahkikine başvurulur. Öte yandan çekme gerilmesi formülünde kullanılacak kaynak atalet momenti değeri de hesaplanmalıdır (Şekil 4.12.).

$$M = H \cdot \left(b_k - \frac{b_k - t'}{2} \right) \quad (4.2.18.)$$

$$\tau_k = \frac{H}{F_k} \quad (4.2.19.)$$

$$\sigma_k = \frac{M}{I_k} \cdot \left(\frac{b_k}{2} + a_4 \right) \quad (4.2.20.)$$

| | | | |
|---|----------|---------------------|--|
| $I_k = 2 \cdot a_4^3 \cdot (4 - 2a_4) / 12 + 2 \cdot a_4 \cdot b_1^3 \cdot (h_4/2 + a_4/2) =$ | 705.6207 | cm ⁴ | |
| $F_k = 2 \cdot a_4 \cdot (4 - 2a_4) =$ | 8.64 | cm ² | $M = H \cdot (h_4 + h_3) / 2 =$ 56.25 t.cm |
| $G_k = M / I_k \cdot (h_4/2 + a_4) =$ | 0.821085 | ton/cm ² | a4 kaynağı yalnızca çekmede yeterlidir. |
| $T_k = H / F_k =$ | 0.520833 | ton/cm ² | a4 kaynağı yalnızca kaymada yeterlidir. |
| Kıyaslama gerilmesi (G _v) kontrolü yapılacaktır. | | | |
| $G_v = G_k^2 + T_k^2 =$ | 0.972341 | ton/cm ² | Kama - taban levhası kaynağı yeterlidir. |

Şekil 4.12. Kamayı taban levhasına bağlayan kaynaklarda tahkik

4.2.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının manüel olarak yapılan sayısal uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması

Çalışmanın kontrolü hesaplamalar manüel olarak yapılarak doğrulanmak istenirse; Maksimum basınç ve çekme kuvvetleri;

$$D = \frac{2420 + 23 \cdot 42.5}{80} = 42.47 \text{ t} \quad Z = \frac{2420 - 23 \cdot 37.5}{80} = 19.47 \text{ t}$$

Beton basınç gerilmesi kontrolü;

$$p = \frac{42470}{\frac{100}{4} \cdot 54} = 31.46 \text{ kg/cm}^2 < 55 \text{ kg/cm}^2$$

Ankraj bulonlarının tahkiki;

$$F_z = \frac{\pi \cdot (0.86 \cdot 3)^2}{4} = 5.23 \text{ cm}^2 \quad \sigma_z = \frac{19.47}{4 \cdot 5.23} = 0.93 \text{ t/cm}^2 < 1.12 \text{ t/cm}^2$$

Taban levhasının kalınlığı;

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= 31.46 \cdot \frac{11.5^2}{2} = 2080 \text{ kg/cm} \\ M_2 &= \frac{31.46 \cdot 54}{2} \cdot \left(\frac{54}{4} - 11.5 \right) = 1699 \text{ kg/cm} \end{aligned} \right\} M_{\max} = 2080 \text{ kg/cm}$$

$$t \geq 2.45 \cdot \sqrt{\frac{2080}{1440}} = 2.94 \text{ cm} \rightarrow \text{Seçilen } 30 \text{ mm.}$$

Guse levhasını profil başlığına bağlayan kaynaklarda;

$$P = \frac{23}{4} + \frac{1}{2} \cdot \frac{2420}{39} = 36.78 \text{ t} \quad \tau_k = \frac{36.78}{0.7 \cdot (50 - 2 \cdot 0.7)} = 1.08 \text{ t/cm}^2 < 1.1 \text{ t/cm}^2$$

Guse levhalarının uç kesitindeki gerilme;

$$y = \frac{2 \cdot 50 \cdot 28 + 3 \cdot 54 \cdot 1.5}{2 \cdot 50 + 3 \cdot 54} = 11.6 \text{ cm}$$

$$I_x = 2 \cdot \frac{50^3}{12} + (28 - 11.6)^2 + 3 \cdot 54 \cdot (11.6 + 1.5)^2 = 64255 \text{ cm}^4$$

$$M_D = 42.47 \cdot \left(\frac{100-39}{2} - \frac{100}{8} \right) = 764.46 \text{ t/cm}$$

$$M_z = 19.47 \cdot \left(\frac{100-39}{2} - 7.5 \right) = 447.81 \text{ t/cm}$$

$$\sigma = \frac{764.46}{64255} \cdot (50 + 3 - 11.6) = 0.49 \text{ t/cm}^2 < 1.44 \text{ t/cm}^2$$

Guse levhalarını taban levhasına bağlayan dikişlerde;

$$S_x = 54 \cdot 3 \cdot (11.6 - 1.5) = 1636.2 \text{ cm}^3 \quad Q = D = 42.47 \text{ t}$$

$$\tau_k = \frac{42.47 \cdot 1636.2}{64255 \cdot 2 \cdot 0.5} = 1.08 \text{ t/cm}^2 < 1.1 \text{ t/cm}^2$$

Kolon gövdesini taban levhasına bağlayan dikişlerde;

$$\tau_k = \frac{4.5}{2 \cdot 0.3 \cdot (29 - 2 \cdot 0.3)} = 0.26 \text{ t/cm} < 1.1 \text{ t/cm}^2$$

Kama elemanı beton gerilmesi tahkiki;

$$p' = \frac{4500}{9 \cdot (20 - 5)} = 33.3 \text{ kg/cm}^2 < 55 \text{ kg/cm}^2$$

Kama profilinde tahkik; (I200 ün başlık genişliği 90 mm' dir.)

$$M = 0.0333 \cdot 9 \cdot \frac{(20-5)^2}{2} = 33.7 \text{ t/cm}$$

$$\sigma = \frac{33.7}{214} = 0.16 \text{ t/cm}^2 \text{ (I200 de } W_x = 214 \text{ cm}^3 \text{)}$$

Kamayı taban levhasına bağlayan kaynaklarda kontrol;

$$I_k = 2 \cdot 0.3 \cdot \frac{(15 - 2 \cdot 0.3)^3}{12} + 2 \cdot 0.3 \cdot 9 \cdot 0 \cdot 10 \cdot 15^2 = 705.6 \text{ cm}^4$$

$$F_k = 2 \cdot 0.3 \cdot (15 - 2 \cdot 0.3) = 8.64 \text{ cm}^2 \quad M = 4.5 \cdot \frac{20+5}{2} = 56.25 \text{ t/cm}$$

$$\sigma_k = \frac{56.25}{705.6} \cdot \left(\frac{20}{2} + 0.3 \right) = 0.82 \text{ t/cm} > 0.75 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{4.5}{8.64} = 0.52 \text{ t/cm}^2 \quad \sigma_k = \sqrt{0.82^2 + 0.52^2} = 0.97 \text{ t/cm}^2 < 1.1 \text{ t/cm}^2$$

Çekme kuvvetinin aderans ile aktarılması durumunda ankraj bulonda tahkik;

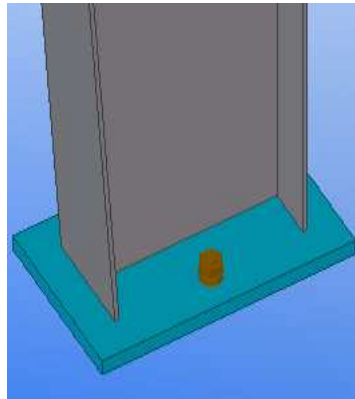
$$Z_1' = \left[2 \cdot 12^2 - \frac{\pi}{4} \cdot (7.6^2 + 3^2) \right] \cdot 55 = 12956 \text{ kg.}$$

$$Z_2' = \pi \cdot 4.0 \cdot [7.6 \cdot 25 + 3.0 \cdot (57 - 25 - 1.5)] = 3537 \text{ kg.}$$

$$Z' = 12956 + 3537 = 16493 \text{ kg.} \quad Z' = 16493 \text{ kg.} > Z' = \frac{19470}{4} = 4868 \text{ kg.}$$

Tahkikler sonucunda bilgisayar uygulaması ve sayısal uygulamadan aynı sonuçların elde edildiği görülmektedir.

4.3. Mafsallı Kolon Ayaklarının Bilgisayar Ortamında Modellenmesi



Şekil 4.13. Mafsallı kolon ayağı

Bu tip teşkillere genelde değişken kesitli (tapered) kolonların altında rastlanılmaktadır. INP300 kolonundan yapılacak bir mafsallı kolon ayağı, kenardan minimum 50mm uzaklıkta M20 ankraj cıvatası ile BS16 betonu üzerine istinat

edilecektir. Minimum şartlar altında kalan statik unsurlar tamamlanarak, birleşimin hesabı bilgisayar ortamında modellenir [9].

Hesaplarda izin verilen minimum kaynak kalınlığı olarak 3mm kullanılmalı ve kaynak uzunluklarını profilin fosfat bölgesinden dolayı gövdede $l_g=240\text{mm}$ olarak seçilmelidir. Şekil 4.14.'te veriler girdi tablosuna girilmiş halde program parçasında verilmektedir.

- Hesapla butonunu aktive edilerek hesap çıktıları alındığında (Şekil 4.15.) ilk olarak beton kalitesi (Bağıntı 4.3.1.) ve taban levhası tahkiki (Bağıntı 4.3.2. – 4.3.3.) yapılacak, ardından kaynak kalınlığının yeterliliği (Bağıntı 4.3.4.) sınanacaktır.

$$A \cdot B \geq \frac{S}{\rho_{em}} \quad (4.3.1.)$$

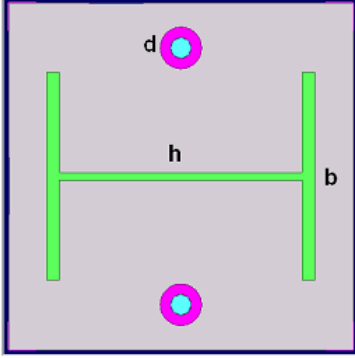
$$\left. \begin{aligned} c_A &= \frac{1}{2} \cdot (A - 0.95h) \\ c_B &= \frac{1}{2} \cdot (B - 0.80b) \end{aligned} \right\} \rightarrow \max.(c) \quad (4.3.2.)$$

$$t \geq C \sqrt{\frac{3\rho}{\sigma_{\zeta em}}} \quad (4.3.3.)$$

$$\sigma_k = \frac{S}{F_k} \leq \sigma_{kem} \quad (4.3.4.)$$

Genelde kolon başlık ve gövdesinin tümünde kaynak verilirse de imalatçılar tarafından tüm kısmın kaynaklandığı gözlenilmektedir. Böylece birleşim bölgesi güvenli bir şekilde tasarlanır.

HESAP GİRDİLERİ



Düşey kuvvet 18.5 ton

ST37

BS16

Gövde kaynak kalınlığı 3 mm

Baslık kaynak kalınlığı 3 mm

Gövde kaynak boyu 240 mm

Baslık kaynak boyu 125 mm

1100kg/cm²

d 20 mm b 125 mm h 300 mm

A 350 mm B 225 mm

HESAPLA TEMİZLE

Şekil 4.14. Mafsallı kolon ayağı için veri girişi kısmının doldurulması

HESAP VE HESAP ÇIKTILARI

$P = S/(A \cdot B) = 23.492 \text{ kg/cm}^2$ Beton kalitesi yeterli

$C(a) = (A - 0.95h)/2 = 3.25$ $C(b) = (B - 0.80b)/2 = 6.25$

$t = C \cdot \text{Sqr}[(3P)/(G_{em})] = 1.3826 \text{ cm}$ $C(\max) = 6.25 \text{ cm}$

Seçilen taban levhası kalınlığı $t = 15 \text{ mm}$

$M = p \cdot C(\max)/2 = 458.82$ $W = t^2/6 = 0.375$

$G = M/W = 1223.5$ Taban levhası kalınlığı yeterlidir.

$F(k) = \{2a(g)[l(g) - 2a(g)]\} + \{2a(g)[l(b) - 2a(b)]\} = 21.18 \text{ cm}^2$

$S/F(k) = 0.8734 \text{ kg/cm}^2$ Kaynak kalınlığı yeterlidir.

Şekil 4.15. Mafsallı kolon ayağı hesap çıktıları

4.3.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının manüel olarak yapılan sayısal uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması

Çalışmanın kontrolü hesaplamalar manüel olarak yapılarak doğrulanabilir, Beton basınç gerilmesi;

$$p = \frac{18500}{22.5 \cdot 35} = 23.5 \text{ kg/cm}^2 < 40 \text{ kg/cm}^2$$

Taban levhası kalınlığı;

$$c_A = \frac{1}{2} \cdot (35 - 0.95 \cdot 30) = 3.25 \text{ cm.} \quad c_B = \frac{1}{2} \cdot (22.5 - 0.8 \cdot 12.5) = 6.25 \text{ cm.}$$

$$c_{\max} = 6.25 \text{ cm.} \quad t \geq 6.25 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 23.5}{1440}} = 1.38 \text{ cm.}$$

$$M = 23.5 \cdot \frac{6.25^2}{2} = 459 \text{ kg cm/cm} \quad W = \frac{1.5^2}{6} = 0.375 \text{ cm}^3 / \text{cm}$$

$$\sigma = \frac{459}{0.375} = 1224 \text{ kg/cm}^2 < 1440 \text{ kg/cm}^2$$

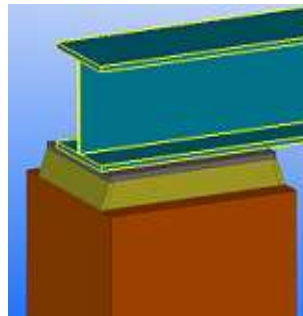
Kolon profilini taban levhasına bağlayan kaynaklarda kontrol;

$$F_k = 2 \cdot 0.3 \cdot [(24 - 2 \cdot 0.3) + (12.5 - 2 \cdot 0.3)] = 21.18 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_k = \frac{18.5}{21.18} = 0.87 \text{ t/cm}^2 < 1.1 \text{ t/cm}^2$$

Tahkikler sonucunda bilgisayar uygulaması ve sayısal uygulamadan aynı sonuçların elde edildiği görülmektedir.

4.4. Kargir Mesnet Üzerine Taban Levhalı Oturan Kiriş Birleşiminin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi



Şekil 4.16. Kargir mesnet üzerine taban levhalı oturma birleşimi

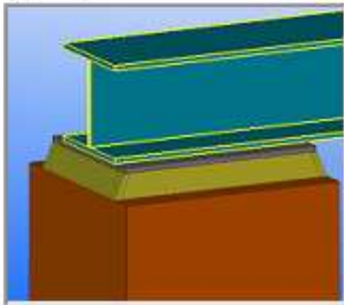
Tuğla duvar üzerine 200*300*15mm ebatlarındaki taban levhası vasıtasıyla koyulacak olan NPI300 kirişi, 7 tonluk kesme kuvveti taşımaktadır [9]. Bu birleşimin uygun olup olmadığını bilgisayar ortamında modelleyerek gösterelim.

- Şekil 4.17’deki gibi verilerin girilmesinin ardından, ilk olarak seçilen taban levhasına ait “A” kenarı tahkik edilir (Bağıntı 4.4.1.).

$$A_{\min} = \frac{h}{3} + 10cm \quad (4.4.1.)$$

HESAP GİRDİLERİ

| | | | | |
|--------------------------------------|-------|--------------|---|-----|
| Yatak malzemesi = | TUĞLA | Kuvvet (T) = | 7 | ton |
| Taban levhası mesnetlenme boyu (A) = | 200 | mm | | |
| Taban levhası diğer boyutu (B) = | 300 | mm | | |
| Taban levhası malzemesi = | ST 37 | | | |
| Kiriş yüksekliği (h) = | 300 | mm | | |
| Kiriş genişliği (b) = | 125 | mm | | |
| HESAPLA | | SİL | | |



Şekil 4.17. Kargir mesnet üzeri taban levhalı oturma birleşim detayına ait bilgi girdisi oluşturulması

- Sonraki aşama ise birim yüzeye gelen kesme kuvvetinin yatak vazifesi gören levha altı malzemesinin birim yüzey dayanımını aşıp aşmadığıdır (Bağıntı 4.4.2.).

$$\rho = \frac{A}{a \cdot b} \leq \rho_{em} \quad (4.4.2.)$$

- Son olarak taban levha kalınlığının yeterliliği tahkik edilerek hesap işlemi sonlandırılır (Bağıntı 4.4.3.). Böylece Şekil 4.18.’de görüleceği gibi birleşimin uygun olduğu kanısına varılabilir.

$$t \geq \frac{b_1 - b}{2} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \rho}{\sigma_{em}}} \quad (4.4.3.)$$

| HESAP VE HESAP ÇIKTILARI | | | |
|--------------------------|----------------|--------------------|---------------------------|
| A min = | 20 | cm | a mesafesi yeterlidir. |
| $p = T/(A \cdot B) =$ | 11.666 | kg/cm ² | Yatak malzemesi uygundur. |
| $t = (B-b)/2$ | $3p/G_{emn} =$ | 13.641 | mm |
| Levha kalınlığı = | 14 | mm | |

Şekil 4.18. Kargir mesnet üzeri taban levhali oturma birleşim detayına ait hesap çıktıları

4.4.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının manüel olarak yapılan sayısal uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması

Çalışmanın kontrolü, hesaplamaların manüel olarak yapılması ile doğrulanabilir;

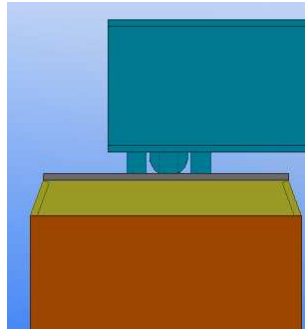
$a = 20 \text{ cm.}$ alındığında $b_1 \geq \frac{A}{a \cdot p_{em}} = \frac{7000}{20 \cdot 12} = 29.2 \text{ cm.}$ olması gerekir.

$a = 200 \text{ mm.}, b_1 = 300 \text{ mm.}$ seçilirse, $a = \frac{35000}{55 \cdot 35} = 18.2 \text{ kg/cm}^2 < 12 \text{ kg/cm}^2$

$u = \frac{300 - 125}{2} = 87.5 \text{ mm.}, t \geq 87.5 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 11.67}{1440}} = 13.6 \text{ mm} \rightarrow 14 \text{ mm.}$

Tahkikler sonucunda bilgisayar uygulaması ve sayısal uygulamadan aynı sonuçların elde edildiği görülmektedir.

4.5. Kargir Mesnet Üzerine Mesnet Parçalı Oturan Kiriş Birleşiminin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi



Şekil 4.19. Kargir mesnet üzerine mesnet parçalı oturan kiriş birleşimi

35 tonluk bir kesme kuvveti taşıyan IPE500 kesitli bir kiriş mesnet parçası yardımıyla BS20 beton kaliteli bir betonarme kolon üzerine isnat edilmek isteniyor [9]. Verilen birleşimin güvenlik düzeyini bilgisayar ortamında model kurarak inceleyelim. Bu birleşimi hesap etmek için gerekli verileri bir tablo yolu ile elde edilir (Şekil 4.20.). Hesap ve hesap adımlarının akabinde oluşan hesap çıktıları Şekil 4.21.'de verilmektedir.

- İlk olarak kirişin mesnet üzerine yeterli “A” uzunluğunda oturup oturmadığı sınanır (Bağıntı 4.5.1.).

$$A_{\min} = \frac{h}{3} + 10cm \quad (4.5.1.)$$

- Bir sonraki kontrolde kirişin altında yatak olarak bulunan malzemenin kiriş yüklerini aktarmada için yeterli olup olmadığı tahkik edilir (Bağıntı 4.5.2.).

$$p = \frac{A}{a \cdot b_1} \leq p_{em} \quad (4.5.2.)$$

HESAP GİRDİLERİ

Kuvvet (T) = ton Yatak malzemesi =

Taban levhası mesnetlenme boyu (A) = mm

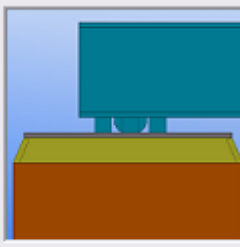
Taban levhası diğer boyutu (B) = mm

Taban levhası malzemesi = mm

Kiriş genişliği (b) = mm

Mesnet uzunluğu (l) = mm

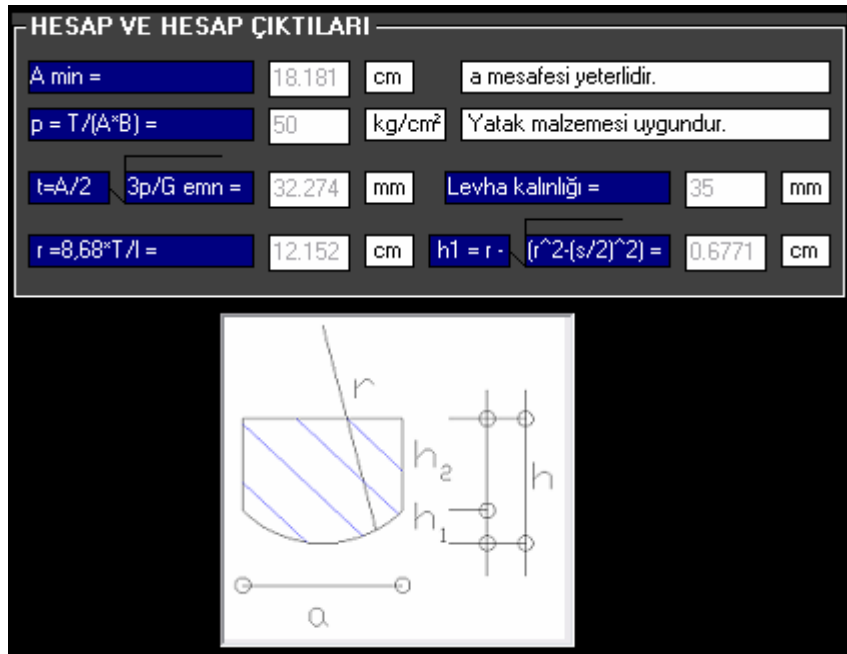
Mesnet genişliği (s) = mm



Şekil 4.20. Kargir mesnet üzerine mesnet parçalı oturan kiriş birleşimi için veri girişi kısmının oluşturulması

- Bunun yanında kiriş altındaki taban levhası aldığı yükü güvenle yatak malzemesine verebilmelidir. Taban levhasının kalınlığı yeterli düzeyde seçilirse bu olgu sağlanabilir (Bağıntı 4.5.3.).

$$t \geq \frac{a}{2} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot p}{\sigma_{em}}} \quad (4.5.3.)$$



Şekil 4.21. Kargir mesnet üzerine mesnet parçalı oturan kiriş birleşimi için hesap ve hesap çıktıları

- Son olarak mesnet parçasının fiziksel özellikleri belirlenerek tahkikler sonlandırılır. Mesnet parçasının boyutları birleşimdeki diğer öğeler ile birlikte değerlendirilmelidir (Bağıntı 4.5.4.).

$$r \geq 8.68 \cdot \frac{A}{l} \quad (4.5.4.)$$

4.5.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının manüel olarak yapılan sayısal uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması

Çalışmanın kontrolü, hesaplamalar manüel olarak yapılarak doğrulanabilir;

$$a = \frac{35000}{55 \cdot 35} = 18.2 \text{ mm} \quad a = 200 \text{ mm. uygundur.}$$

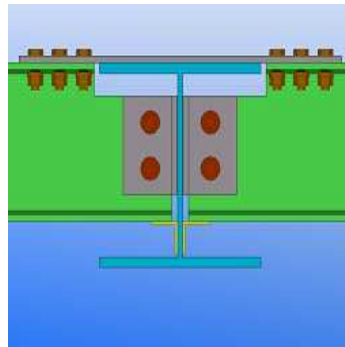
$$p = \frac{35000}{35 \cdot 20} = 50 \text{ kg/cm}^2 \quad t = \frac{200}{2} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 50}{1440}} = 32.2 \text{ mm} \rightarrow 35 \text{ mm.}$$

$$r = 8.68 \cdot \frac{35}{25} = 12.15 \text{ cm} \rightarrow r = 150 \text{ mm.}, \quad s = 80 \text{ mm. seçilsin,}$$

$$h_1 = 150 - \sqrt{150^2 - \left(\frac{80}{2}\right)^2} = 5.43 \cong 6 \text{ mm.}$$

Tahkikler sonucunda bilgisayar uygulaması ve sayısal uygulamadan aynı sonuçların elde edildiği görülmektedir.

4.6. Moment Aktaran Sürekli Kiriş Birleşimlerinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi



Şekil 4.22. Moment aktaran sürekli kiriş birleşimi

IPE500 ve IPE400 kirişlerinden oluşan başlık (süreklilik) levhalı bir çelik yapı birleşimi IPE 500 kolonu üzerinde 12.8 tonluk yükü 4 adet M16'lık bulonun takılı olduğu 370*115*12mm levha ile taşınmaktadır. IPE400 kolonu ise 3 adet M16'lık bulonla 115*300*12mm levha ile 7.2 tonluk yükü taşımaktadır.

Başlık süreklilik levhasının tertibinde toplam 16 adet M20'lik bulon, 190*1120*15mm bir levhaya yerleştirilmiştir. Birleşim üzerindeki moment değeri ise 15.5 t.m. 'dir [9]. Verilen birleşimi bilgisayar ortamında model kurarak inceleyelim. İlk olarak anlatılan örnek için verilerin toplanacağı bir girdi tablosu hazırlanmalıdır (Şekil 4.23.) .

-HESAP GİRDİLERİ-

| | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|-----|--|----------------------------------|-----|---|------|
| 1. kirişteki kuvvet (S1) = | 7.2 | ton | 2. kirişteki kuvvet (S2) = | 12.8 | ton | 1. bağlantıdaki bulon sayısı (n1) = | 3 |
| 1. kiriş gövde kalınlığı (tg1) | 8.6 | mm | 2. kiriş gövde kalınlığı (tg2)= | 10.2 | mm | 2. bağlantıdaki bulon sayısı (n2) = | 4 |
| 1. kiriş başlık kalınlığı (tb1) = | 13.5 | mm | 2.kiriş başlık kalınlığı (tb2)= | 16 | mm | Başlık bağlantısındaki toplam civata sayısı (n) = | 16 |
| | | | | | | 1. birleşimdeki kaynak kalınlığı (a1) = | 3 mm |
| | | | | | | 2. birleşimdeki kaynak kalınlığı (a2) = | 4 mm |
| T taşıyıcı kiriş yüksekliği (h) = | 500 | mm | BİRİNCİ BİRLEŞİMDE : | Bulonlar arasındaki mesafe (e) = | 100 | mm | |
| Birleşimdeki moment (M) = | 15.5 | t.m | Bulonun kuvvet doğrultusuna dik kenara olan uzaklığı (e1) = | 45 | mm | | |
| Malzeme sınıfı | ST 37 | | Bulonun kuvvet doğrultusuna paralel kenara olan uzaklığı (e2)= | 45 | mm | | |
| Süreklilik levhası uzunluğu (L) = | 1120 | mm | İKİNCİ BİRLEŞİMDE : | Bulonlar arasındaki mesafe (e) = | 100 | mm | |
| Süreklilik levhası genişliği (b) = | 190 | mm | Bulonun kuvvet doğrultusuna dik kenara olan uzaklığı (e1) = | 45 | mm | | |
| Süreklilik levhası kalınlığı (t1)= | 15 | mm | Bulonun kuvvet doğrultusuna paralel kenara olan uzaklığı (e2)= | 45 | mm | | |
| 1 bağlantı korniyer kalınlığı (tk1) = | 12 | mm | SÜREKLİLİK LEVHASINDA : | Bulonlar arasındaki mesafe (e) = | 100 | mm | |
| 1. bağlantı korniyer uzunluğu (lk1)= | 300 | mm | Bulonun kuvvet doğrultusuna dik kenara olan uzaklığı (e1) = | 45 | mm | | |
| 2. bağlantı korniyer kalınlığı (tk2)= | 12 | mm | Bulonun kuvvet doğrultusuna paralel kenara olan uzaklığı (e2)= | 45 | mm | | |
| 2. bağlantı korniyer uzunluğu (lk2) = | 370 | mm | | | | | |

Şekil 4.23. Moment aktaran sürekli kiriş birleşimlerine ait veri girişi kısmının oluşturulması

- Tahkiklere ilk olarak civata adetlerinin üzerlerindeki kesme kuvvetlerine başarıyla aktarıp aktaramayacağını sınınanması ile başlanabilir. Bunun için bir civatanın taşımasına müsaade edilebilecek maksimum yükün belirlenmesi gerekir (Bağıntı 4.6.1. – 4.6.2.). Toplam civata adedi de bilindiği surette birleşimin taşıyabileceği maksimum kuvvet saptanabilir. Kiriş üzerindeki kesme kuvveti bu değerden küçük olmalıdır. Bağıntı 4.6.1. ve 4.6.2.'den küçük değere sahip olanı bir civata için maksimum kuvvet olarak alınmalıdır.

$$N_{Sl} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \tau_{sem} \quad (4.6.1.)$$

$$N_L = d \cdot t_{\min} \cdot \sigma_{lem} \quad (4.6.2.)$$

- Süreklilik levhası üzerindeki moment değeri başlık levhası tarafından aktarılır. Süreklilik levha tertibatının yeterliliğini tahkik etmek için, ilk önce Bağıntı 4.6.1. ve 4.6.2. kullanılarak bulon başı maksimum kuvvet hesap edilir. Bağıntı 4.6.3. ile hesaplanan “Z” kuvveti süreklilik levhasındaki bulonlar tarafından emniyetle karşılanabilmelidir. Bulonların ardından levhanın kesit alanı da sınıır (Bağıntı 4.6.4.).

$$Z = \frac{M}{h} \quad (4.6.3.)$$

$$\left[\sigma = \frac{Z}{b_1 \cdot t_1 - 2 \cdot d \cdot t_1} \leq \sigma_{cem} \right] \quad (4.6.4.)$$

- Öte yandan kirişlerin gövdelerine kaynatılan plakalarda kaynakların da sınıanması gerekir. Bu işlem için her iki kaynakta uygulanmak üzere Bağıntı 4.6.5. kullanılarak kesme güvenliği kontrol edilir. Bu işlemler sonucunda yazılım ekranında Şekil 4.24.’te verilen veri çıktı tablosu oluşur.

$$\left[\tau_k = \frac{Q}{F_k} \leq \tau_{kem} \right] \quad (4.6.5.)$$

- Son olarak birçok literatürde ortak olarak kabul edilen, cıvatalara ait konstrüktif dizpozisyon kontrolü yapılabilir (Şekil 4.25.).

HESAP VE HESAP ÇIKTILARI

BİRİNCİ KİRİŞTEKİ KONTROLLER $t_{min(1)} = 8.6$ mm

$d(max1) = 5 \cdot t_{min} \cdot 0.2 = 1.8736$ mm Şeçilen bulon türü M 16 Şeçilen delik çapı 18 mm

$N(s1) = 2 \cdot 3.14 \cdot d^2 / 4 \cdot T(emn) = 5.3522$ ton $N(l1) = d \cdot t_{min(1)} \cdot G(emn) = 4.0936$ ton

$N(emn1) = 4.0936$ ton $N_{max1} = (N_{emn1}) \cdot n1 = 12.280$ ton 1. birleşimdeki bulonlar yeterlidir.

İKİNCİ KİRİŞTEKİ KONTROLLER $t_{min(2)} = 10.2$ mm

$d(max2) = 5 \cdot t_{min} \cdot 0.2 = 2.0583$ mm Şeçilen bulon türü M 16 Şeçilen delik çapı 18 mm

$N(s2) = 2 \cdot 3.14 \cdot d^2 / 4 \cdot T(emn) = 5.3522$ ton $N(l2) = d \cdot t_{min(2)} \cdot G(emn) = 4.8552$ ton

$N(emn2) = 4.8552$ ton $N_{max2} = (N_{emn2}) \cdot n2 = 19.420$ ton 2. birleşimdeki bulonlar yeterlidir.

SÜREKLİLİK LEVHASINDAKİ KONTROLLER $t_{min(3)} = 13.5$ mm

$d(max3) = 5 \cdot t_{min} \cdot 0.2 = 2.3980$ mm Şeçilen bulon türü M 20 Şeçilen delik çapı 22 mm

$N(s) = 3.14 \cdot d^2 / 4 \cdot G(emn) = 4.8465$ ton $N(l) = d \cdot t_{min} \cdot G(emn) = 7.938$ ton

$N(emn) = 4.8465$ ton $N_{max} = N_{emn} \cdot n = 38.772$ ton Başlıktaki bulonlar yeterlidir.

$Z = M/h = 31$ ton $G = Z / (b \cdot t \cdot 2 \cdot d \cdot t) = 1.3963$ ton/cm² Levha kalınlığı yeterlidir.

$F(k1) = 2 \cdot a1(L1 - 2 \cdot a1) = 17.64$ cm² $T(k1) = S1/F(k1) = 0.4091$ ton/cm² Kaynak gerilmesi yeterlidir.

$F(k2) = 2 \cdot a2(L2 - 2 \cdot a2) = 28.96$ cm² $T(k2) = S2/F(k2) = 0.4419$ ton/cm² Kaynak gerilmesi yeterlidir.

Şekil 4.24. Moment aktaran sürekli kiriş birleşimlerine ait hesap ve hesap çıktıları

| | | | | | |
|--------------|----|--------------|-----|----|-------------------------|
| $e_{min} =$ | 56 | $e_{max} =$ | 128 | mm | e mesafesi uygundur. |
| $e1_{min} =$ | 32 | $e1_{max} =$ | 48 | mm | $e1$ mesafesi uygundur. |
| $e2_{min} =$ | 24 | $e2_{max} =$ | 48 | mm | $e2$ mesafesi uygundur. |
| $e_{min} =$ | 56 | $e_{max} =$ | 128 | mm | e mesafesi uygundur. |
| $e1_{min} =$ | 32 | $e1_{max} =$ | 48 | mm | $e1$ mesafesi uygundur. |
| $e2_{min} =$ | 24 | $e2_{max} =$ | 48 | mm | $e2$ mesafesi uygundur. |
| $e_{min} =$ | 70 | $e_{max} =$ | 160 | mm | e mesafesi uygundur. |
| $e1_{min} =$ | 32 | $e1_{max} =$ | 60 | mm | $e1$ mesafesi uygundur. |
| $e2_{min} =$ | 30 | $e2_{max} =$ | 60 | mm | $e2$ mesafesi uygundur. |

Şekil 4.25. Moment aktaran sürekli kiriş birleşimlerine ait konstrüktif bazda cıvata mesafelerinin kontrolü (TS 648)

4.6.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının manüel olarak yapılan sayısal uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması

Çalışmanın kontrolü hesaplamalar manüel olarak yapılarak doğrulanabilir, süreklilik levhasında;

$$Z = \frac{1550}{50} = 31 \text{ ton} \quad F_n = 19 \cdot 1.5 - 2 \cdot 2.1 \cdot 1.5 = 22.20 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{31}{22.20} = 1.40 \text{ t/cm}^2 < 1.44 \text{ t/cm}^2$$

Başlık bulonlarında; M 20 uygun bulonda $d = 20 \text{ mm.} (\sqrt{5 \times 1.5} - 0.2 = 2.54 \text{ cm.})$

$$\left. \begin{aligned} N_{s1} &= \frac{\pi \cdot 2.1^2}{4} \cdot 1.4 = 4.85t. \\ N_L &= 2.1 \cdot 1.35 \cdot 2.8 = 7.94t. \end{aligned} \right\} N_{em} = 4.85t.$$

$t_{\min} = 13.5 \text{ mm.}$ (IPE 400) profilinin başlık kalınlığıdır.

$$8 \cdot 4.85 = 38.8 \text{ t.} > Z = 31.0 \text{ t.}$$

(IPE 500) kirişinin bağlantısında; Bulonlar, ($d = 17 \text{ mm.} < \sqrt{5 \times 1.02} - 0.2 = 2.06 \text{ cm.}$)

$$\left. \begin{aligned} N_{s2} &= 2 \cdot \frac{\pi \cdot 1.7^2}{4} \cdot 1.4 = 6.355t. \\ N_L &= 1.7 \cdot 1.02 \cdot 2.8 = 4.855t \end{aligned} \right\} N_{em} = 4.855 \text{ t.}$$

$t_{\min} = 10.2 \text{ mm.}$ (IPE 500) profilinin gövde kalınlığıdır.

$$4 \cdot 4.855 = 19.42 \text{ t} > Q_{sol} = 12.8 \text{ t.}$$

Kaynaklar, ($a = 4 \text{ mm.}$ $l' = 370 \text{ mm.}$) $F_k = 2 \cdot 0.4 \cdot (37.0 - 2 \cdot 0.4) = 28.96 \text{ cm}^2$

$$\tau_k = \frac{12.80}{28.96} = 0.44 \text{ t/cm}^2$$

(*IPE* 400) kirişinin bağlantısında; Bulonlar, ($d = 17 \text{ mm} < \sqrt{5 \times 0.86} - 0.2 = 1.87 \text{ cm}$.)

$$\left. \begin{array}{l} N_{s2} = 6.355t. \\ N_L = 1.7 \cdot 0.86 \cdot 2.8 = 4.094t. \end{array} \right\} N_{em} = 4.094 \text{ t.}$$

$t_{\min} = 8.6 \text{ mm}$. (*IPE* 400) profilinin gövde kalınlığıdır.

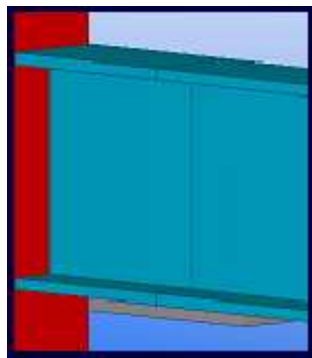
$$3 \cdot 4.094 = 12.28 \text{ t} > Q_{\text{sağ}} = 7.20 \text{ t}.$$

Kaynaklar, ($a = 3 \text{ mm}$. $l' = 300 \text{ mm}$.)

$$F_k = 2 \cdot 0.3 \cdot (30.0 - 2 \cdot 0.3) = 17.64 \text{ cm}^2 \quad \tau_k = \frac{7.20}{17.64} = 0.41 \text{ t/cm}^2$$

Tahkikler sonucunda bilgisayar uygulaması ve sayısal uygulamadan aynı sonuçların elde edildiği görülmektedir.

4.7. Çekme Başlığı Ek Levhali Birleşimlerinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi



Şekil 4.26. Çekme başlığı ek levhali birleşimi

Alt başlığından kaynaklı ek levhası, gövdesinden kaynak bağlantısı ile yapılmak istenen INP380 profil kirişi, ek noktasında $M = 16 \text{ t.m}$. 'lik moment ve $Q = 4$ tonluk kuvvet taşımaktadır. Ek levhasının boyutları $200 \times 800 \times 18 \text{ mm}$ seçilir ve 5 mm 'lik

kaynak kalınlığı yapılacağı tasarlanırsa birleşimin güvenlik düzeyinin nasıl olacağı sorusunu bilgisayar ortamında model kurarak inceleyelim [9]. İlk olarak verilerin toplanması ile tahkik işlemlerine başlanabilir. (Şekil 4.27.)

| HESAP GİRDİLERİ | | | |
|--|-------|-----------------|------------------|
| Malzeme sınıfı | ST 37 | | |
| Başlıtaki ek levha genişliği (b ek) = | 200 | mm | |
| Başlıtaki ek levha et kalınlığı (t ek) = | 18 | mm | |
| Profil yüksekliği (h)= | 380 | mm | |
| Q ek = | 4 | ton | M ek = 16 ton.cm |
| Başlık ek levhası kaynağının bütün uzunluğu (Lk) = | 800 | mm | |
| Gövde kaynak uzunluğu (L kg) = | 300 | mm | |
| Profil başlık genişliği (b)= | 149 | mm | |
| Profil başlık et kalınlığı (t b) = | 20.5 | mm | |
| Profil mukavemet momenti (W/x) = | 1260 | cm ³ | |
| Profil gövde kalınlığı (t g) = | 13.7 | mm | |
| Kaynak kalınlığı (a ek) = | 5 | mm | |

Şekil 4.27. Çekme başlığı ek levhalı birleşimlere ait veri girişi kısmının oluşturulması

- Birleşim kontrolü ek levha kesitinin yeterliliğinin doğrulanması ile başlar. Bunun için profil başlık enkesiti ve levha enkesiti karşılaştırılır (Bağıntı 4.7.1.).

$$F_{ek} = b_e \cdot t_e \geq F_{baslik} = b \cdot t \quad (4.7.1.)$$

- Sonraki adım kaynak kontrollerinin yapılmasıdır. İlk olarak profil gövdesi boyunca yapılan kaynak tahkik edilebilir. Bunun için Bağıntı 4.7.2. ile kayma gerilmesi sınaması yapılır.

$$\tau_k = \frac{Q_{ek}}{t_g \cdot (h_1 - 2 \cdot t_g)} \leq \tau_{kem} \quad (4.7.2.)$$

- Son olarak ek bölgesindeki moment tesiri kuvvet cinsinden temsil edilerek (Bağıntı 4.7.3.) kayma gerilmesi tahkiki yapılır. Bunun için Bağıntı 4.7.4. kullanılabilir. İşlemleri sonucu bilgisayar ortamında Şekil 4.28.'deki gibi bir tabloya taşınarak sonuçlar özetlenebilir.

$$Z = \frac{M_{ek}}{h} \quad (4.7.3.)$$

$$\tau_k = \frac{Z}{2 \cdot a \cdot (l_2' - a)} \leq \tau_{kem} \quad (4.7.4.)$$

| HESAP VE HESAP ÇIKTILARI | | | |
|--|--------|---------------------|------------------------------------|
| $F_{ek} = b_{ek} \cdot t_{ek} =$ | 36 | cm ² | Ek levhası yeterlidir. |
| $F_{nb} = b \cdot t_b =$ | 30.545 | cm ² | |
| $T_k = Q_{ek} / (t_g \cdot [L_{kg} - 2 \cdot t_g]) =$ | 0.1071 | ton/cm ² | Gövde kaynak gerilmesi yeterlidir. |
| $M_{ek}' = 1/2 \cdot W_x \cdot G_{max} =$ | 9.072 | ton.cm | $M_{ek} =$ 16 ton.m |
| $Z = M_{ek} / h =$ | 42.105 | ton | |
| $T_k = Z / (2 \cdot a_{ek} \cdot [L_{ek} / 2 - a_{ek}]) =$ | 1.0659 | ton/cm ² | Levha kaynak gerilmesi yeterlidir. |

Şekil 4.28. Çekme başlığı ek levhalı birleşimlere ait hesap ve hesap çıktıları

4.7.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının manüel olarak yapılan sayısal uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması

Çalışmanın kontrolü hesaplamalar manüel olarak yapılarak doğrulanabilir;

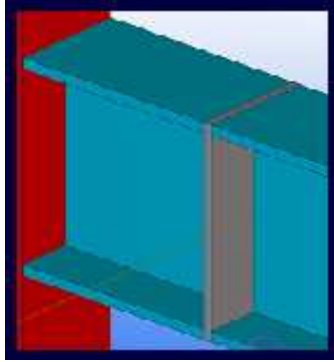
$$F_{ek} = 20 \cdot 18 = 36 \text{ cm}^2 > 14.9 \cdot 2.05 = 30.55 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{4}{1.37 \cdot (30 - 2 \cdot 1.37)} = 0.11 \text{ t/cm}^2 \leq 1.1 \text{ t/cm}^2 \quad Z = \frac{1600}{38} = 42.11 \text{ t}$$

$$\tau_k = \frac{42.11}{2 \cdot 0.5 \cdot (40 - 0.5)} = 1.07 \text{ t/cm}^2 \leq 1.1 \text{ t/cm}^2$$

Tahkikler sonucunda bilgisayar uygulaması ve sayısal uygulamadan aynı sonuçların elde edildiği görülmektedir.

4.8. Enine Ek Levhalı Birleşimlerinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi



Şekil 4.29. Enine ek levhalı ek birleşimi

Bölüm 4.7.'de verilen problemin profil gövdesi boyunca uzanan bir levha yardımıyla çözülmesi de mümkündür. Aynı kuvvet ve profil için ek teşkilini enine levha ek ile bilgisayar ortamında modelleyerek hazırlayalım. İlk olarak formülasyonlarda kullanılacak veriler toplanmalıdır (Şekil 4.30.).

| HESAP GİRDİLERİ | | | |
|----------------------------------|-------|--------|-------------|
| Malzeme sınıfı | ST 37 | M ek = | 1600 ton.cm |
| | | Q ek = | 4 ton |
| Başlık kaynak uzunluğu 1 (L kb1) | 149 | | mm |
| Başlık kaynak uzunluğu 2 (L kb2) | 50 | | mm |
| Ek levhası kalınlığı (t ek) | 20 | | mm |
| Gövde kaynak uzunluğu (L kg) = | 300 | | mm |
| Profil yüksekliği (h) = | 380 | | mm |
| Gövde kaynak kalınlığı (a g) = | 10 | | mm |
| Başlık kaynak kalınlığı (a b) = | 10 | | mm |
| Başlık genişliği (b) = | 149 | | mm |
| Başlık kalınlığı (t) = | 20 | | mm |

Şekil 4.30. Enine ek levhalı ek birleşimlerine ait veri girişi kısmının oluşturulması

- Ek levhasının seçiminde levha kalınlığının profil başlığından kalın seçilmesi ve kaynak kalınlığının minimum 3mm, maksimum gövde kalınlığının %70 mertebesinde seçilmesi faydalı sonuçlar önerilir [9].

- Bunun akabinde kaynakların tahkiki yapılabilir. Sırasıyla birleşimdeki kaynaklar kesme ve çekme güvenliği açısından Bağıntı 4.8.1. – 4.8.2. ile sınılanır (Şekil 4.31.).

$$\sigma_k = \frac{M_{ek}}{I_K} \cdot \frac{h}{2} \leq \sigma_{kem} \quad (4.8.1.)$$

$$\tau_k = \frac{Q_{ek}}{2 \cdot a \cdot (h_e - 2 \cdot a)} \leq \tau_{kem} \quad (4.8.2.)$$

| HESAP VE HESAP GİRDİLERİ | | | |
|---|----------------------------------|---------|---------------------------------------|
| Ek levhası kalınlığı | Ek levhası kalınlığı yeterlidir. | | |
| E L eb = L kb1+L kb2 = | 249 | cm | |
| I k = 2*a b*(E L eb-2*a b)*(h /2) ^2+2*a g*((L kg-2 ag)/12) ^3 = | 16582.466 | cm^4 | |
| G max = (M ek/l k) * (h/2) = | 1833.2 | Kg/cm^2 | Kaynak gerilmesi yetersizdir. |
| G k = (M ek/l k) * (L kg/2) = | 1447.3 | Kg/cm^2 | Kaynak gerilmesi yetersizdir. |
| T k = Q ek / (2*a g*(L kg-2*a g)) = | 71.428 | Kg/cm^2 | Kaynak gerilmesi yeterlidir. |
| Kıyaslama gerilmesi kontrolü yapılacaktır. | | | |
| G v = | Gk^2+Tk^2 = | 1449.0 | Kg/cm^2 Kaynak gerilmesi yetersizdir. |

Şekil 4.31. Enine ek levhalı ek birleşimlerine ait hesap ve hesap çıktıları

Yazılımdan elde edilen sonuçlar birleşimin verilen şartlar altında sağlıklı olarak yapılamayacağını gösterir. Kaynatılan parçaların kalınlıkları göz önüne alındığında kaynak kalınlığını arttırmak, birleşen parçaların minimum kalınlığının %70 ini aşacağından tercih edilmemelidir. Öte yandan kaynak uzunluklarının arttırılması da profilin geometrik özellikleri dolayısı ile mümkün değildir. Birleşimin bu tertiple yapılması uygun bir çözüm olarak değerlendirilemez.

4.8.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının manüel olarak yapılan sayısal uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması

Çalışmanın kontrolü hesaplamaların manüel olarak yapılması ile doğrulanabilir; Ek levhasının kalınlık tahkiki;

$$t_e=20\text{mm} \approx t_{\text{başlık}}=20.5\text{mm}$$

Kaynakların kesme ve çekme gerilmeleri ;

$$I_k = 2 \cdot (14.9 - 2 \cdot 1.0) \cdot 1.0 \cdot 19^2 + 4 \cdot 1.0 \cdot (5.0 - 2 \cdot 1.0) \cdot \left(\frac{38}{2} - 2.05\right)^2 + 2 \cdot 1.0 \cdot \frac{(30 - 21.0)^3}{12} = \dots$$

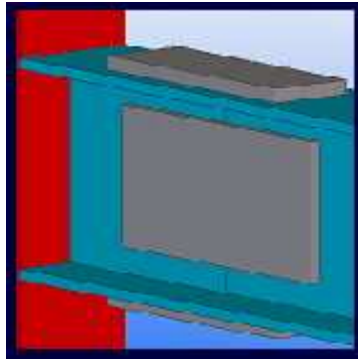
$$\dots = 16420 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{k,\max} = \frac{1600}{16420} \cdot 19 = 1.85t / \text{cm}^2 \geq 1.10t / \text{cm}^2$$

$$\tau_{k,\max} = \frac{4}{2 \cdot 1.0 \cdot (30 - 2 \cdot 1.0)} = 0.071t / \text{cm}^2 \leq 1.10t / \text{cm}^2$$

Tahkikler sonucunda bilgisayar uygulaması ve sayısal uygulamadan aynı sonuçların elde edildiği görülmektedir. Verilen şartlar altın kaynak gerilmesi çekmede güvenli değildir.

4.9. Başlık ve Gövdeden Takviyeli, Ek Levhalı Birleşimlerinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi



Şekil 4.32. Başlık ve gövdeden takviyeli, ek levhalı birleşim

Bölüm 4.7.'de verilen problemin, profil gövdesine paralel uzanan bir levha ve başlık takviyelerin bir arada kullanılması yardımıyla çözülmesi de mümkündür. Aynı kuvvet ve profil için ek teşkilini başlık ve gövdeden takviyeli ek ile bilgisayar ortamında modelleyerek hazırlayalım. İlk olarak formülasyonlarda kullanılacak veriler toplanmalıdır (Şekil 4.33.).

| HESAP GİRDİLERİ | | | |
|--|-------|-----|--|
| Malzeme sınıfı | ST 37 | | |
| Başlıktaki ek levha genişliği (b eb) = | 200 | mm | Profil başlık genişliği (b)= |
| Başlıktaki ek levha et kalınlığı (t eb) = | 18 | mm | Profil başlık et kalınlığı (t b) = |
| Gövde levhası et kalınlığı (t eg)= | 12 | mm | Profil gövde kalınlığı (t g)= |
| Profil yüksekliği (h)= | 380 | mm | Gövde ek levhasının yüksekliği (h eg)= |
| Q ek = | 4 | ton | M ek = |
| | | | 1600 |
| | | | ton.cm |
| Başlık ek levhası kaynağının bütün uzunluğu (Lk) = | 800 | mm | Profil mukavemet momenti (Wx) = |
| | | | 1260 |
| | | | cm ³ |
| Gövde kaynak uzunluğu (L kg) = | 300 | mm | X gy= |
| | | | 75 |
| | | | mm |
| Gövde kaynak kalınlığı (a eg) = | 5 | mm | Başlık kaynak kalınlığı (a eb) = |
| | | | 5 |
| | | | mm |

Şekil 4.33. Başlık ve gövdeden takviyeli, ek levhalı birleşimlere ait veri girişi kısmının doldurulması

- Başlık ek levhası enkesitinin, başlık enkesitinden büyük ya da eşit seçilmesi uygun bir tercih olur. Gövde ek levhası ise minimum profil gövde kalınlığının 0.8 katı mertebesinde seçilebilir [9].
- Bunun akabinde başlık ek levhasındaki kaynaklar incelenebilir. Bunun için gövde kaynak kesiti üzerinde kayma gerilmesi tahkiki yapılır (Bağıntı 4.9.1. – 4.9.2.).

$$N = \frac{M_{ek}^B}{h} + \frac{N_{ek}^B}{2} \quad (4.9.1.)$$

$$\tau_k = \frac{N}{2 \cdot a \cdot \left(\frac{l'}{2} - a\right)} \leq \tau_{kem} \quad (4.9.2.)$$

- Son olarak gövde ek levhası üzerinde benzer şekilde kayma gerilmesi (Bağıntı 4.9.5.) sınaması yapılır. Ancak gövde levhası için çekme gerilmesinde tahkik yapılması söz konusudur (Bağıntı 4.9.4.).

$$M_{ek}^G = M_{ek}^G + Q_{ek} \cdot e \quad (4.9.3.)$$

$$\sigma_k = \frac{M_{ek}^G}{I_{ek}} \cdot \frac{h_e}{2} + \frac{N_{ek}^G}{h_e \cdot a} \quad (4.9.4.)$$

$$\tau_k = \frac{Q_{ek}}{2 \cdot h_e \cdot a} \quad (4.9.5.)$$

4.9.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının manüel olarak yapılan sayısal uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması

Yazılım sonucu veriler Şekil 4.34.'te gösterilmektedir. Çalışmanın kontrolünü hesaplamaları manüel olarak yaparak doğrulayalım, Ek levhasının kalınlık tahkiki;

$$F_{ek}^B = 20 \cdot 1.8 = 36 \text{ cm}^2 > F^B = 14.9 \cdot 2.05 = 30.55 \text{ cm}^2$$

$$t_{e1} = 12 \text{ mm} > 0.8 t_g = 0.8 \cdot 13.7 = 10.9 \text{ mm}$$

| - HESAP VE HESAP ÇIKTILARI - | | | | | | |
|--|---------------------------------------|--------------------|--|------------------------------|-----------------|--|
| F eb = b eb * t eb = | 36 | cm ² | Ek levhası yeterlidir. | | | |
| F nb = b * t b = | 30.545 | cm ² | | | | |
| 0,8 * t g = | 10.88 | mm | Ek levhası yeterlidir. | | | |
| I eb = 2 * b eb * t eb * ((h k + t eb) / 2) ² = | 28512 | cm ⁴ | I eg = 2 * t eg * h eg ³ / 12 = | 5400 | cm ⁴ | |
| M ek w = 1/2 * w * x * G emn = | 907.2 | ton.cm | M (max) = | 1600 | ton.cm | |
| M eb = M max / toplam * I eb = | 1345.2 | ton.cm | N = M max / h = | 35.400 | ton | |
| T k = N / (2 * a eb * (L kb / 2 - a eb)) = | 896.22 | kg/cm ² | Kaynak gerilmesi yeterlidir. | | | |
| M eg = M max / toplam * I eg = | 2.5477 | ton.m | M eg' = M eg + Q ek * X gy = | 284.77 | ton.cm | |
| G k = M eg / toplam * L kg / 2 = | 125.95 | kg/cm ² | Kaynak gerilmesi yeterlidir. | | | |
| T k = Q ek / (2 * a eg * L kg) = | 133.33 | kg/cm ² | Kaynak gerilmesi yeterlidir. | | | |
| Gv = | G k ² + T k ² = | 183.42 | kg/cm ² | Kaynak gerilmesi yeterlidir. | | |
| Kıyaslama gerilmesi kontrolü yapılacaktır. | | | | | | |

Şekil 4.34. Başlık ve gövdeden takviyeli, ek levhalı birleşimlere ait hesap ve hesap çıktıları

Başlık kaynak dikişlerinde;

$$I_{ek}^B = 2 \cdot 20 \cdot 0 \cdot 1.8 \cdot 19.9^2 = 28513 \text{ cm}^4$$

$$I_{ek}^G = 2 \cdot 1.2 \cdot \frac{30^3}{12} = 5400 \text{ cm}^4$$

$$M_{ek}^B = 16 \cdot \frac{28513}{28513 + 5400} = 13.54 \text{ tm}$$

$$Q_{ek}^B = 0 \quad N = \frac{1345}{38} = 35.39 \text{ ton}$$

$$\tau_k = \frac{35.39}{2 \cdot 0.5 \cdot (40 - 0.5)} = 0.90t / cm^2 < 1.10t / cm^2$$

Gövde kaynak dikişlerinde;

$$M_{ek}^G = 16 \cdot \frac{5400}{28513 + 5400} = 2.55tm \quad Q_{ek}^B = Q_{ek} = 0$$

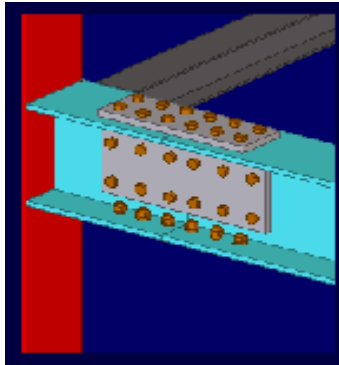
$$M_{ek}^{G'} = 255 + 4.0 \cdot 7.5 = 285t.cm \quad \sigma_k = \frac{285}{28513 + 5400} \cdot \frac{30}{2} = 0.13t / cm^2 <$$

$$1.10t / cm^2$$

$$\tau_k = \frac{4.0}{2 \cdot 0.5 \cdot 30} = 0.13t / cm^2 < 1.10t / cm^2$$

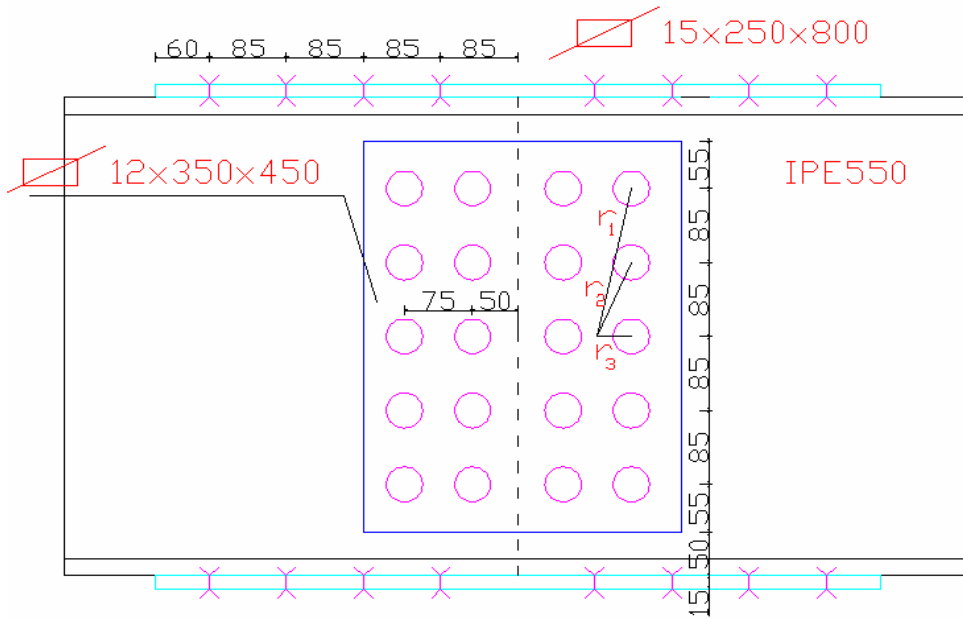
Tahkikler sonucunda bilgisayar uygulaması ve sayısal uygulamadan aynı sonuçların elde edildiği görülmektedir.

4.10. Bulonlu Ek Levhalı Birleşimlerinin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi



Şekil 4.35. Bulonlu ek levhalı birleşim

IPE550 kesitli bir kirişe ek yapılması gerektiğini göz önüne alınsın. Ek tertibi uygun bulonlardan seçilsin. Kiriş başlıklarında 250*800*15mm levha üzerine takılı 16 şar adet m20 bulonu, gövdede ise 350*450*12mm levha üzerine takılı 20 adet M20 bulonu mevcut olsun (Şekil 4.36.). Ek bölgesinde kesme kuvvetinin 8.35ton ve moment değerinin de 6.40t.m. olduğu bilinmektedir [9]. Bu birleşimin güvenliğini ilk önce gerekli verileri toplayarak (Şekil 4.37.) bilgisayar ortamında modelleyelim.



Şekil 4.36. Bulonlu - ek levhalı birleşim probleminin şematik gösterimi

- İlk olarak başlık levhalarının yeterli olup olmadığı tahkik edilebilir. Başlık levhasına ait genişliğinin profil başlığından büyük seçilmesinde fayda vardır. (b_e, t_{2e}) ebatlı başlık levhasının en kesiti, profil başlık enkesitinden büyük olduğundan başlık levhası yeterli kabul edilebilir (Bağıntı 4.10.1.).

$$F_{n,ek} = b_e \cdot t_{2e} - 2 \cdot d \cdot t_{2e} \geq F_n^B = b \cdot t - 2 \cdot d \cdot t \quad (4.10.1.)$$

| HESAP GİRDİLERİ | | | |
|---|----------|--|----------------------|
| Malzeme sınıfı | ST 37 | Başlıkta kullanılan bulon | M 20 |
| | | Gövdede kullanılan bulon | M 20 |
| Başlıktaki ek levha genişliği (b eb) = | 250 mm | Profil başlık genişliği (b)= | 210 mm |
| Başlıktaki ek levha et kalınlığı (t eb) = | 15 mm | Profil başlık et kalınlığı (t b) = | 17.2 mm |
| Gövde levhası et kalınlığı (t eg)= | 12 mm | Profil gövde kalınlığı (t g)= | 11.1 mm |
| Profil yüksekliği (h)= | 550 mm | Gövde ek levhasının yüksekliği (h eg)= | 450 mm |
| Q ek = | 8.35 ton | M ek = | 640 ton.cm |
| | | Profil mukavemet momenti (W/x) = | 2440 cm ³ |
| Göv. Bulonların x yönündeki ağı. merkezinin orta eks. uzaklığı (L merk) = | 87.5 mm | R 1 = | 174.1 mm |
| Bir başlık profiline bağlı bulon sayısı = | 16 adet | R 2 = | 92.9 mm |
| Profil gövdesinde gövde boyunca uzanan civata sıra sayısı = | 5 | R 3 = | 3.75 mm |
| Y cx = | 170 mm | X cy = | 37.5 mm |
| | | Gövdedeki bulon sayısı (n) = | 20 adet |

Dikine civata sayısı = 5

Şekil 4.37. Bulonlu - ek levhalı birleşimlere ait veri girişi kısmının oluşturulması

- Gövde ek levhasının seçiminde ise profil gövde kalınlığından daha alt düzeyde bir kalınlık seçilmemesi uygun bir çözüm olur [9].
- Birleşim bölgesi üzerindeki moment değeri değerlendirilirken olası maksimum moment değeri de göz önüne alınmalı ve bölgede bulunan hakim momentin daha düşük olması durumunda bu değer göz önüne alınabilir (Bağıntı 4.10.2.).

$$M_{\max} = W_x \cdot \sigma_{\zeta em} \quad (4.10.2.)$$

- Sonraki aşama ise statik etkilerin dağıtılmasıdır. Bunun için kesit alanlar ve alanlara ait atalet momentleri bilinmelidir (Bağıntı 4.10.3. – 4.10.4.). Statik etkiler, alanlar ve atalet momentlerine bağlı olarak dağıtılır (Bağıntı 4.10.5.-9.).

$$F_{ek} = F_{ek}^B + F_{ek}^G = (2 \cdot b_e \cdot t_{2e}) + (2 \cdot h_e \cdot t_{1e}) \quad (4.10.3.)$$

$$I_{ek} = I_{ek}^B + I_{ek}^G = \left[2 \cdot b_e \cdot t_{2e} \cdot \left(\frac{h + t_{2e}}{2} \right)^2 \right] + \left[2 \cdot t_{1e} \cdot \frac{h_e^3}{12} \right] \quad (4.10.4.)$$

$$M_{ek}^B = M_{ek} \cdot \frac{I_{ek}^B}{I_{ek}} \quad (4.10.5.)$$

$$N_{ek}^B = N_{ek} \cdot \frac{F_{ek}^B}{F_{ek}} \quad (4.10.6.)$$

$$M_{ek}^G = M_{ek} \cdot \frac{I_{ek}^G}{I_{ek}} \quad (4.10.7.)$$

$$N_{ek}^G = N_{ek} \cdot \frac{F_{ek}^G}{F_{ek}} \quad (4.10.8.)$$

$$Q_{ek}^G = Q_{ek} \quad (4.10.9.)$$

- Statik etkilerin belirlenmesinin ardından bulonlarda tahkikler yapılır. Başlık ekindeki bulonların aktarması zorunlu kuvvet tespit edilir (Bağıntı 4.10.13.) ve başlıktaki bulon adedinin (n_b) yeterli olup olmadığı kontrol edilir (Bağıntı

4.10.14.). Bunun için öncelikle bir cıvatanın taşıyabileceği emniyetli yük belirlenmelidir (Bağıntı 4.10.12.).

$$N_{SI} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \tau_{sem} \quad (4.10.10.)$$

$$N_L = d \cdot t_{\min} \cdot \sigma_{lem} \quad (4.10.11.)$$

$$N_{emn} = (N_{SI}, N_L) \quad (4.10.12.)$$

$$N = \frac{M_{ek}^B}{h} + \frac{N_{ek}^B}{2} \quad (4.10.13.)$$

$$n_B \geq \frac{N}{N_{emn}} \quad (4.10.14.)$$

- Son olarak profil gövdesindeki bulonlar üzerinde tahkikler yapılabilir. Başlıktakine benzer şekilde Bağıntı 4.10.10., 4.10.11. ve 4.10.12. kullanılarak N_{emn} değeri saptanır. Profil gövdesine bağlı cıvataların çift etkili olduğu unutulmamalıdır. Dolayısı ile tek fark olarak N_{SI} hesaplanırken sonuç değer 2 katsayısı ile büyütülür. Elde edilen emniyetli N değeri N_1^M değerinden büyük olmalıdır (Bağıntı 4.10.20.). Gövdedeki bulonların merkezi profil merkezinden “a” mesafesi kadar uzakta olacağından M_{ek}^G tesiri oluşur (Bağıntı 4.10.15.). x_1 ve y_1 ise en uzak noktadaki bulonun mutlak değer bazında koordinatlarıdır. N_{ek}^G ‘den x doğrultusunda gelen yatay etki N_1^N , Q_{ek} ‘den y doğrultusunda gelen düşey etki N_1^O ‘dur.

$$M_{ek}^G = M_{ek}^G + Q_{ek} \cdot a \quad (4.10.15.)$$

$$N_{1x}^M = \frac{M_{ek}^G \cdot y_1}{\sum_{i=1}^m r_i^2} \quad (4.10.16.)$$

$$N_{1y}^M = \frac{M_{ek}^G \cdot x_1}{\sum_{i=1}^m r_i^2} \quad (4.10.17.)$$

$$N_1^N = \frac{N_{ek}^G}{m} \quad (4.10.18.)$$

$$N_1^Q = \frac{Q_{ek}}{m} \quad (4.10.19.)$$

$$N_1^M = \sqrt{(N_{1x}^M + N_1^N)^2 + (N_{1y}^M + N_1^Q)^2} \quad (4.10.19.)$$

| HESAP VE HESAP ÇIKTILARI | | | |
|--|--------|-----------------|--|
| F _{neb} = b _{eb} *t _{eb} -2*d*t _{eb} = | 31.2 | cm ² | Ek levhası yeterlidir. |
| F _{nb} =b*t _b -2*d*t _b = | 28.552 | cm ² | |
| 0.8*t _g = | 8.88 | mm | Ek levhası yeterlidir. |
| Başlıkta t _{min} = (t _b : t _{eb}) = | 15 | mm | d(max) = 5*(min) - 0.2 = 2.5386 mm Bulon çapı uygundur. |
| gövdede t _{min} = (t _g : t _{eg}) = | 11.1 | mm | d(max) = 5*(min) - 0.2 = 2.1558 mm Bulon çapı uygundur. |
| I _{eb} = 2*b _{eb} *t _{eb} * ((h+t _{eb})/2) ² = | 59854. | cm ⁴ | I _{eg} = 2*t _{eg} * h _{eg} ³ /12 = 18225 cm ⁴ |
| M _{ek} (w) = 1/2 *Wx*G _{emn} = | 1756.8 | ton.cm | M (max) = Max (M _{ek} : M _{ek} (w)) = 1756.8 ton.cm |
| M _{eb} = M _{max} / toplam* _l eb = | 1346.7 | ton.cm | |
| N _{s1} =pi*d ² /4*T _{emn} = | 4.8465 | ton | N _L =d*t _{min} *G _{emn} = 8.82 ton N(emn) = 4.8465 ton |
| Z = M _{ek} /h | 24.486 | ton | n _b = Z/ N _{emn} = 5. adet Başlıktaki bulon sayısı yeterlidir. |
| M _{eg} = M _{max} / toplam* _l eg = | 410.06 | ton.cm | M _{eg} '=M _{eg} +Q _{ek} *L _{merk} = 483.12 ton.cm |
| E _R = 2R ³ +4(R ₁ ² +R ₂ ²) = | 1557.9 | cm ² | |
| N _{1x} = M _{eg} /E _R *y _{civ} = | 5.2718 | ton | N _{1y} = M _{eg} /E _R *x _{civ} = 1.1629 ton |
| N _{1Q} = Q/ (n/2) = | 0.835 | ton | N ₁ = N _{1x} ² +(N _{1y} +N _{1Q}) ² = 5.6377 ton |
| N _{s2} = 2*pi*d ² /4*T _{emn} = | 9.6931 | ton | N _L = d*t _g *p*G _{emn} = 6.5268 ton |
| N _{min} = | 6.5268 | ton | > N ₁ , gövdedeki bulonlar yeterlidir. |

Şekil 4.38. Bulonlu - ek levhalı birleşimlere ait hesap ve hesap çıktıları

4.10.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçların manüel olarak yapılan sayısal uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması

Yazılım sonucu oluşan veriler Şekil 4.38.'de gösterilmektedir. Çalışmanın kontrolü hesaplamalar manüel olarak yapılarak doğrulanabilir; Başlık levhasının yeterliliği;

$$F_{n,ek} = 25.0 \cdot 1.5 - 2 \cdot 2.1 \cdot 1.5 = 31.2 \text{ cm}^2 > F_n^B = 21.0 \cdot 1.72 - 2 \cdot 2.1 \cdot 1.72 = 28.55 \text{ cm}^2$$

Gövde ek levhasının yeterliliği;

$$t_{e1} = 0.8t_g = 0.8 \cdot 11.1 \approx 9mm < 12mm \text{ (yeterli!)}$$

Başlık bulonlarında tahkikler; (IPE 550 için $I_x = 67120 \text{ cm}^4$, $W_x = 2440 \text{ cm}^3$)

$$d = 21mm < \sqrt{5 \cdot 1.5} - 0.2 = 2.53cm = 25.3mm$$

$$I_{ek} = I_{ek}^B + I_{ek}^G = 2 \cdot 25.0 \cdot 1.5 \cdot \left(\frac{55}{2} + \frac{1.5}{2} \right)^2 + 2 \cdot 1.2 \cdot \frac{45^3}{12} = 59855 + 18225 = 78080 \text{ cm}^4$$

$$M_{ek} = 640t \cdot cm < \frac{1}{2} \cdot 2440 \cdot 1.44 = 1757t \cdot cm \rightarrow M_{ek} = 1757t \cdot cm \quad \text{ve} \quad Q_{ek} = 8.35t$$

$$M_{ek}^B = \frac{1757}{78080} \cdot 59855 = 1347t \cdot cm \quad Q_{ek}^B = 0$$

$$N_{sl} = \frac{\pi \cdot 2.1^2}{4} \cdot 1.4 = 4.85t, \quad N_L = 2.1 \cdot 1.5 \cdot 2.8 = 8.82t, \quad N_{em} = 4.85t$$

$$8 \cdot 4.85 = 38.8t > Z = \frac{M_{ek}^B}{h} = \frac{1347}{55} = 24.49t$$

Gövde bulonlarında tahkikler;

$$d = 21mm < \sqrt{5 \cdot 1.11} - 0.2 = 2.16cm = 21.6mm$$

$$M_{ek}^G = \frac{1757}{78080} \cdot 18225 = 410t \cdot cm \quad Q_{ek}^G = Q_{ek} = 8.35t$$

$$M_{ek}^G = 410 + 8.35 \cdot 8.75 = 483t \cdot cm$$

$$r_1 = 3.75cm, \quad r_2 = \sqrt{(3.75^2 + 8.5^2)} = 9.29cm, \quad r_3 = \sqrt{(3.75^2 + 17^2)} = 17.41cm$$

$$\sum r_i = 3.75^2 \cdot 2 + 4 \cdot (9.29^2 + 17 \cdot 41^2) = 1586 \text{ cm}^2$$

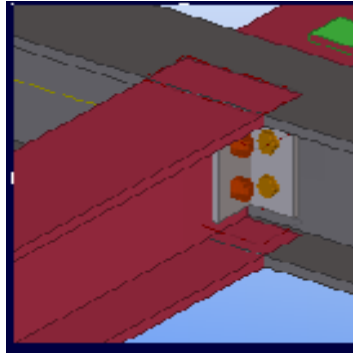
$$N_{1x}^M = \frac{483}{1586} \cdot 17 = 5.18t \quad N_{1y}^M = \frac{483}{1586} \cdot 3.75 = 1.14t \quad N_1^Q = \frac{483}{10} = 0.84t$$

$$N_1 = \sqrt{5.18^2 + (1.14 + 0.84)^2} = 5.55t$$

$$N_{sl} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 2.1^2}{4} \cdot 1.4 = 9.7t, \quad N_L = 2.1 \cdot 1.11 \cdot 2.8 = 6.53t, \quad N_{em} = 6.53t \geq 5.55t$$

Tahkikler sonucunda bilgisayar uygulaması ve sayısal uygulamadan aynı sonuçların elde edildiği görülmektedir.

4.11. Moment Aktarmayan Korniyerli - Cıvatalı Birleşimlerin Bilgisayar Ortamında Modellenmesi



Şekil 4.39. Moment aktarmayan korniyerli - cıvatalı birleşimi

I200 enkesitli bir kiriş, I380 enkesitli bir diğer bir kirşe bağlanmak istensin. Moment aktarmayan kirişin aktaracağı kuvvet $A=3.40$ ton olsun [9]. Birleşimi L70x7'lik korniyer kullanarak bilgisayar ortamında modelleyelim.

- İlk olarak bağlanacak olan kiriş gövdesindeki bulonlarda yeterlilik tahkiki yapılabilir. Bunun için kesit üzerinde oluşan yatay ve düşey kuvvetlerin bileşkesi olan, “R” değerinin (Bağıntı 4.11.3.), bir cıvataya ait emniyetli yük kapasitesinden büyük olması gerekmektedir (A : kiriş başlığına profil merkezinden dik olarak etki eden kuvvet, a_1 = bulonların merkezi ile ana kiriş merkez eksenini arasındaki mesafe). Hesaplardaki “f” değeri ise Tablo 4.2.’den alınır.

$$V = \frac{A}{n} \quad (4.11.1.)$$

$$H = \frac{A \cdot a_1}{b} \cdot f \quad (4.11.2.)$$

$$R = \sqrt{V^2 + H^2} \leq \begin{cases} N_{S2} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \tau_{sem} \\ N_L = d \cdot t_{min} \cdot \sigma_{lem} \end{cases} \quad (4.11.3.)$$

- Bir sonraki aşama ise taşıyıcı kiriş gövdesindeki bulonların tahkik edilmesidir. Bu tahkikler bağlanacak olan kiriş gövdesindeki tahkiklere benzer olmasına karşın bu bölgedeki bulonların çift etkili olması vb. gibi özellikler açısından küçük farklılıklar göstermektedir. (Bağıntı 4.11.4. – 4.11.5. – 4.11.6.)

Tablo 4.2. “f” katsayısının alınmasına ilişkin değerler tablosu [9]

| n Bir sıradaki bulon sayısı | Bulon Tertibi | | | | | | | | n Bir sıradaki bulon sayısı |
|---|--|---|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|----|---|
| | Bir sıralı | İki sıralı | | Üç sıralı | | Dört sıralı | | | |
| 2 | 1,000 | 1,000 | 0,500 | 0,500 | 0,3333 | 0,500 | 0,2500 | 2 | |
| 3 | 1,000 | 0,800 | 0,500 | 0,454 | 0,3333 | 0,400 | 0,2500 | 3 | |
| 4 | 0,900 | 0,643 | 0,450 | 0,375 | 0,3000 | 0,322 | 0,2260 | 4 | |
| 5 | 0,800 | 0,533 | 0,400 | 0,320 | 0,2667 | 0,267 | 0,2000 | 5 | |
| 6 | 0,714 | 0,455 | 0,357 | 0,278 | 0,2380 | 0,227 | 0,1785 | 6 | |
| 7 | 0,643 | 0,398 | 0,322 | 0,245 | 0,2143 | 0,198 | 0,1608 | 7 | |
| 8 | 0,583 | 0,350 | 0,292 | 0,219 | 0,1943 | 0,175 | 0,1458 | 8 | |
| 9 | 0,533 | 0,314 | 0,267 | 0,198 | 0,1777 | 0,157 | 0,1332 | 9 | |
| 10 | 0,491 | 0,284 | 0,248 | 0,180 | 0,1637 | 0,142 | 0,1228 | 10 | |
| 11 | $f_1 = \frac{6(n-1)}{n(n+1)} =$ 0,455 | $f_2 = \frac{6(n-1)}{n(2n-1)} =$ 0,260 | $f_3 = \frac{f_1}{2} =$ 0,228 | $f_4 = \frac{2(n-1)}{n^2} =$ 0,165 | $f_5 = \frac{f_1}{3} =$ 0,1517 | $f_6 = \frac{3(n-1)}{n(2n-1)} =$ 0,130 | $f_7 = \frac{f_1}{4} =$ 0,1138 | 11 | |
| 12 | 0,423 | 0,239 | 0,212 | 0,153 | 0,1410 | 0,120 | 0,1058 | 12 | |
| 13 | 0,398 | 0,222 | 0,198 | 0,142 | 0,1320 | 0,111 | 0,0990 | 13 | |
| 14 | 0,371 | 0,206 | 0,186 | 0,133 | 0,1237 | 0,103 | 0,0928 | 14 | |
| 15 | 0,350 | 0,193 | 0,175 | 0,124 | 0,1187 | 0,097 | 0,0875 | 15 | |
| 16 | 0,331 | 0,181 | 0,166 | 0,117 | 0,1103 | 0,091 | 0,0828 | 16 | |
| 17 | 0,314 | 0,171 | 0,157 | 0,111 | 0,1047 | 0,086 | 0,0785 | 17 | |
| 18 | 0,298 | 0,162 | 0,149 | 0,105 | 0,0993 | 0,081 | 0,0745 | 18 | |
| 19 | 0,284 | 0,153 | 0,142 | 0,100 | 0,0947 | 0,077 | 0,0710 | 19 | |
| 20 | 0,271 | 0,146 | 0,136 | 0,095 | 0,0903 | 0,073 | 0,0678 | 20 | |

$$V = \frac{A}{2} \cdot \frac{1}{n_1} \quad (4.11.4.)$$

$$H = \frac{A \cdot a_1}{2} \cdot \frac{1}{b} \cdot f \quad (4.11.5.)$$

$$R = \sqrt{V^2 + H^2} \leq \begin{cases} N_{S2} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \tau_{sem} \\ N_L = d \cdot t_{\min} \cdot \sigma_{lem} \end{cases} \quad (4.11.6.)$$

4.11.1. Bilgisayardan elde edilen sonuçlarının manüel olarak yapılan sayısal uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılması

Yazılım sonucu toplanan ve oluşan veriler Şekil 4.40.'ta gösterilmektedir. Çalışmanın kontrolünü hesaplamaları manüel olarak yaparak doğrulayalım, I200 kirişinde;

$$V = \frac{3.40}{2} = 1.70t \quad M = 3.40 \cdot 4.0 = 13.6t.cm \quad H = \frac{13.6}{6.5} \cdot 1.0 = 2.09t$$

$$R = \sqrt{1.70^2 + 2.09^2} = 2.69t \leq \begin{cases} N_{s2} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 1.7^2}{4} \cdot 1.4 = 6.355t \\ N_L = 1.7 \cdot 0.75 \cdot 2.8 = 3.57t \end{cases}$$

INP300 kirişinde tahkikler;

$$V = \frac{3.40}{2} \cdot \frac{1}{2} = 0.85t \quad M = \frac{3.40}{2} \cdot 4.0 = 6.80t.cm \quad H = \frac{6.80}{6.5} = 1.05t$$

$$R = \sqrt{0.85^2 + 1.05^2} = 1.35t \leq \begin{cases} N_{s1} = \frac{\pi \cdot 1.7^2}{4} \cdot 1.4 = 3.178t \\ N_L = 1.7 \cdot 0.70 \cdot 2.8 = 3.332t \end{cases}$$

Tahkikler sonucunda bilgisayar uygulaması ve sayısal uygulamadan aynı sonuçların elde edildiği görülmektedir.

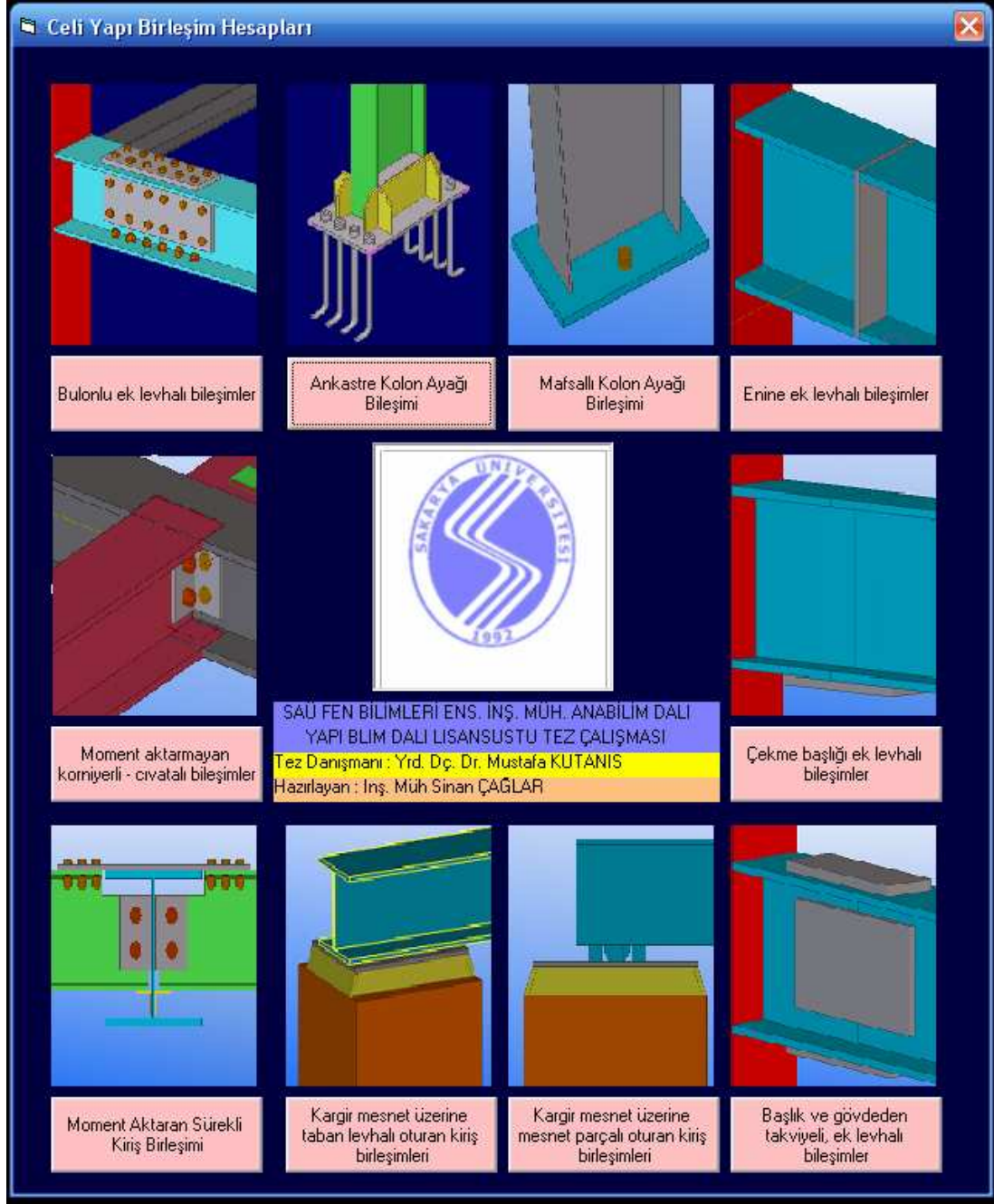
| HESAP GİRDİLERİ | |
|---|--|
| Malzeme sınıfı | ST 37 |
| Kuvvet (S) = | 3.4 ton |
| BAĞLANACAK KİRİŞTEKİ KONTROLLER | |
| Bağlanacak kiriş gövde kalınlığı (t) = | 7.5 mm |
| Bulon sıra sayısı = | 1 |
| Bağlanacak kirişte kullanılan bulon sayısı (n) = | 2 adet |
| Bağlantı yardımcı elemanın et kalınlığı (t1) = | 7 mm |
| Bir sıradaki bulon sayısı = | 2 adet |
| Bulonların ağırlık merkezinin kiriş gövde eksenine olan uzaklığı (d1) = | 40 mm |
| y yönünde en dışta bulunan civatalar arası mesafe (b1) = | 65 mm |
| HESAP VE HESAP ÇIKTILARI | |
| t min = | 7 mm |
| d(max) = | 5*(min) - 0.2 = 1.6708 mm |
| Şeçilen bulon türü M | 16 |
| Şeçilen delik çapı | 18 mm |
| V=S/n = | 1.7 ton |
| H=(S*d1)/b1*f= | 2.0923 ton |
| R= | (V ² +H ²) = 2.6958 ton |
| N(s) = 2*3.14*d ² /4*T(emn) = | 6.3522 ton |
| N(l) = d*t(min)*G(emn) = | 3.57 ton |
| N(emn) = | 3.57 ton |
| N > R Birleşim uygundur. | |
| HESAP GİRDİLERİ | |
| TAŞIYICI KİRİŞTEKİ KONTROLLER | |
| Taşıyıcı kiriş gövde kalınlığı (t) = | 10.2 mm |
| Taşıyıcı kirişte kullanılan bulon sayısı (n) = | 2 adet |
| Bağlantı yardımcı elemanın et kalınlığı (t2) = | 7 mm |
| Bulon sıra sayısı = | 1 |
| Bir sıradaki bulon sayısı = | 2 adet |
| Bulonların ağırlık merkezinin kiriş gövde eksenine olan uzaklığı (d2) = | 40 mm |
| y yönünde en dışta bulunan civatalar arası mesafe (b2) = | 65 mm |
| HESAP VE HESAP ÇIKTILARI | |
| t min = | 7 mm |
| d(max) = | 5*(min) - 0.2 = 1.6708 mm |
| Şeçilen bulon türü M | 16 |
| Şeçilen delik çapı | 18 mm |
| V=S/n = | 0.85 ton |
| H=(S*d1)/b1*f= | 1.0461 ton |
| R= | (V ² +H ²) = 1.3479 ton |
| N(s) = 3.14*d ² /4*T(emn) = | 3.1761 ton |
| N(l) = d*t(min)*G(emn) = | 3.332 ton |
| N(emn) = | 3.1761 ton |
| N > R Birleşim uygundur. | |

Şekil 4.40. Moment aktarmayan korniyerli – civatalı bağlantılar için veri girişi, hesap ve hesap çıktılarının gösterilmesi

4.12. Bilgisayar Çalışmaları Sonucu Elde Edilen Verilerin Kullanılır Hale Getirilmesi İçin Kullanıcı Arabirimi Yapılması

Çalışmaların doğruluğu tahkikler ile ispatlandıktan sonra parçalar (modüller) halinde yapılmış olup, her biri bir birleşim çeşidine ait çözüm önerisini modelleyen yazılım parçalarının toplanarak verimli bir şekilde kullanılabilir hale getirilmesi gerekir. Böylece Tez içerisinde bahsedilen “Çelik yapı birleşimleri model kütüphanesi” elde edilmiş olunur. Bu işlem sonucunda bütün hesap prosedürlerine tek bir yazılım yoluyla ulaşılma imkanı doğacaktır. Kütüphanenin dışarıdan sürekli modül eklenir

özelliğe yazılması yazılımın fonksiyonelliğini artırarak yeni modellerin üretildikçe kullanılmasına imkan sağlar (Şekil 4.41.).



Şekil 4.41. Çelik yapı birleşimlerine ait modellemelerden veri kütüphanesi ve kullanıcı arabirimi oluşturulması

4.13. Bilgisayar Hesaplamalarda Kullanılacak Başlangıç Değerlerinin Seçilmesi ve Yeni Modellemelerin Yapılması Esnasında Dikkat Edilmesi Gerekenler

Çelik yapı birleşim unsurlarına ait hesap ve yapım aşamalarının bir arada değerlendirilmesinden yapı güvenliği ve performansını iyileştirici bir çok fayda elde edilebilir. Projelendirmenin yapım aşamalarını doğrudan etkilemesi, bir nevi projelendirme için imalat bilgisine hakim olmayı kaçınılmaz kılmaktadır. Öte yandan literatürde mevcut çözüm önerisi olmayan yapı birleşimlerine ait modellerin oluşturulabilmesinde çelik yapı birleşimlerine dizayn, projelendirme, imalat ve montaj tekniklerinin tümüne hakim olan totaliter bir bakış açısı ile yaklaşılması elde edilecek sonuçların başarısını arttıracaktır. Bu durumu bir çok olgu ile örneklemek mümkündür.

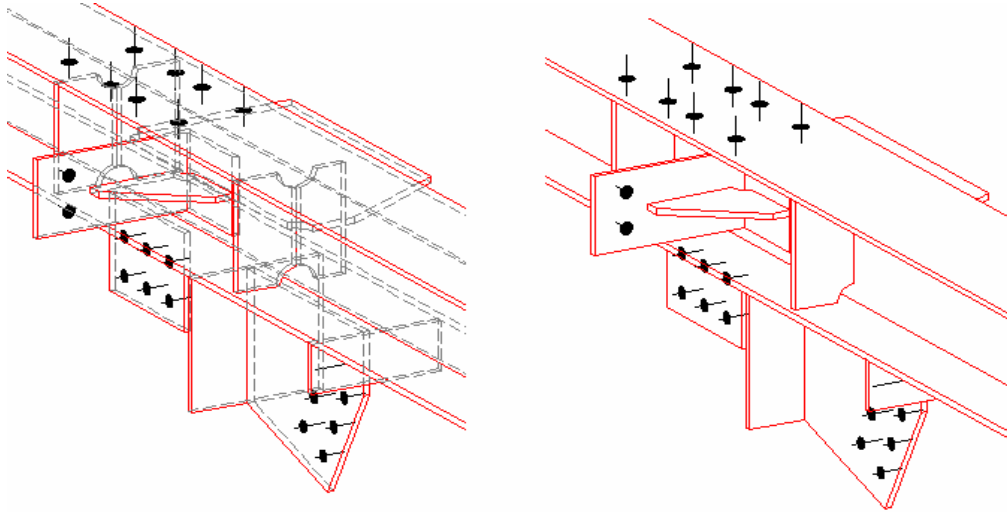
Çelik yapı birleşimlerinin projelendirilmesi esnasında birleşim unsurlarına ait malzeme özellikleri yerine göre kullanılarak avantaj olarak değerlendirilebilir. Örneğin cıvatalı çelik yapı birleşimlerinde üzerinde delik açılacak elemanların yumuşak (St37) ve ince (<10mm) olanlardan seçilmesi, delik açımı sonucu kılcal çatlak ve deformasyonların oluşumundan daha az etkilenilmesi söz konusu olduğundan yapı güvenliği açısından faydalı olacaktır.

Kaynaklı birleşimlerde de benzeri avantajlar söz konusudur. Dizayn esnasında kaynaklı birleşim bölgeleri için yüksek kalınlıklarla karşılaşıldığında çelik malzeme sınıfında artışa gidilerek eleman kalınlıklarının azaltılması (>20-25mm için), aksi taktirde ST37-2, St37-3 çeliğinin kullanılması yapı güvenliğine imalat aşamasında meydana gelebilecek hatalar ve sertleşme riskinin önüne geçilebilmesi açısından faydalı olabilir.

Birleşim unsurlarına ait mukavemet özellikleri dikkatli değerlendirilmesi gereken diğer bir olgudur. Örneğin cıvataların ısı etkisi altında mukavemet özelliklerinde önemli değişmelere rastlanılmaktadır. (4.6 sınıfındaki bir cıvatanın akma mukavemetin 100 santigrat derecede %12.5 kayba uğraması gibi) Dolayısı ile ısı tesirine maruz kalan ya da yangın riski olan yapılarda emniyet gerilmelerin üst kapasitelerine zorlanmamasında fayda vardır.

Kaynak işlemi ısıl etkilerden ve çevresel faktörlerden etkilenen bir prosedürdür. Kullanılacak makinelerin kullanım esasları, kaynak yapılacak ortamın iklimsel özellikleri, gerekli olan elektrod vb. materyallerin kaynak durumu ve pozisyonuna göre seçimi kaynaklı birleşimlerin nihai performans ve güvenliğinde söz sahibidir. Çelik yapıların üretiminde projelendirme aşamasının başarıyla yapılabilmesi için yapı çeliğinin kaynak işlemi esnasındaki davranışının belirlenmesi ve projelendirme aşamasının bu duruma göre şekillendirilmesi yapı performansı adına olumlu bir gelişme olarak değerlendirilebilir.

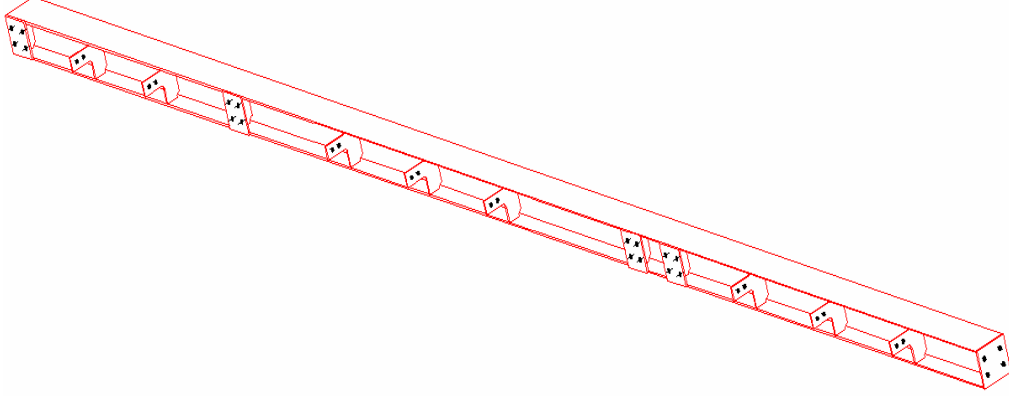
Örneğin kaynak ısıl bir işlem olduğu için birleşimlerin projelendirilmesi esnasında, ana parçaların kaynak işlemi sonucu rötreye maruz kalma riskinin değerlendirilmesinde fayda vardır. Birleşim elemanlarında kaynak kullanımının yoğun olduğu tertiplerin seçilmesi (Şekil 4.42.) ya da birleşim unsurlarının I profili vb. simetrik elemanların yalnız bir yüzünde planlanması (Şekil 4.43.) metodu iyi uygulansa dahi ana parçanın kendi eksenini etrafında ya da asal eksenleri boyunca şekil değişimi yapmasına sebebiyet verebilir.



Şekil 4.42. İmalat esnasında şekil değiştirmeye maruz kalma riskine sahip bir kirişin şematik gösterimi

Şekil 4.42.'deki durumun önlenmesi için kaynak ısı girdisinin düşük tutulması ve ince çaplı elektrod kullanımı, Şekil 4.43'deki durumun önlenmesi için ise geçici

plakalar kaynatılması ve kaynak işleminin belirli bir sıra ile parça parça yapılması çözüm olabilir. Durumun projelendirme esnasında kirişin diğer yanağına mevcut berkitmelerin arkasına gelecek şekilde berkitmeler ilave edilmesi ile direk aşılması da mümkündür.



Şekil 4.43. Başlıkları yalnızca bir yüzünden berkitmeler ile kaynatılması tasarlanmış uzun bir kiriş elemanı

Çelik yapı projeleri oluşturulurken çelik yapı birleşimlerinin dizaynı ve projelendirilmesi yapının imal edilmesine imkan verecek şekilde yapılmalıdır. Dizayn ve imalat işlerinin çelik yapılarda başarıya ulaşması için montaj çalışmasının başarısı önem arz eder. Ana bileşenlerin şeklinde deformasyonlar olması, cıvatalı birleşimlerde birleşen elemanların temas yüzeylerinin ayrık olması ve montaj esnasında elemanlarda gerilme hali oluşması gibi montaj hataları yapı üzerinde birer ilkel kusur olarak kalacak ve statikerin hesap etmediği bir faktör olarak yapı elemanlarında ve yapı birleşimlerinde etkisini gösterecektir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çelik yapı birleşim öğeleri, birleştirilen parçaların konumu, geometrik yada işlevsel özellikleri ile konstrüktif kurallar ve imalat esasları nedeniyle çeşitlilik gösterir. Ancak tüm birleşim detaylarına ait çözümlerin literatürden elde edilmesi bu çeşitlilik nedeniyle imkansızdır. Bireysel çabalar sonucu üretilen çözümlerin literatürde benzer birleşimler incelenerek hazırlanmış olması dahi söz konusu olsa, elde edilen sonuçların doğruluğunu deney vb. yollarla teyit etmeksizin kabul etmek çelik yapı birleşimlerinin güvenliği adına olumsuz sonuçlarla karşılaşılmasına neden olabilir.

Çelik yapı bileşimlerin hesap edilmesinde karşılan diğer bir sorunda uzun bir zaman dilimine ihtiyaç duyulmasıdır. Bir birleşimin en sağlıklı ve verimli bir şekilde projelendirilebilmesi için iteratif işlemlerin yeterince tekrarlanmasında fayda vardır. Birleşim türlerinin çeşitli oluşu da bir yapıda oluşan tüm birleşim detaylarının incelenmesinin manüel metotlarla yapılmasını harcanan zaman dilimi açısından imkansız kılar. Öte yandan zamanın verimli kullanılması ihtiyacı çeşitli matematiksel ve yorumsal hataların yapılmasına sebebiyet verebilir.

Dolayısı ile çelik yapı birleşimlerin bilimsel olarak kabul edilen metotlarla, elde edilen sonuçların karşılaştırılarak tekrar değerlendirilebildiği iterasyonlu bir çalışma yapı güvenliği ve performansı açısından yapıların projelendirilmesi adına verimli bir adım olur. Bu çalışmanın yapılabilmesi için bilgisayar teknolojisinin kullanılması iyi bir yoldur. Ancak çelik yapı bileşimleri konusunda kullanılagelen, Türk Standartlarına uygun, kapsamlı ve fonksiyonel bir yazılımın henüz bulunmadığı bilinmektedir.

Tezin ana konusu “Çelik yapılarda bileşim unsurlarına ait birleşim detayları Türk Standartlarına göre bilgisayar ortamına taşınabilir mi? Böyle bir çalışmadan çelik yapı birleşimlerin hesabı açısından ne tür faydalar sağlayabilir?” sorularına ait

cevaplarının aranmasıdır. Ancak konunun çok geniş bir literatüre sahip olması yapılan çalışmanın çok sınırlı olarak değerlendirilebilmesine yol açar. Konunun bütünüyle bir Tez çalışması içerisinde incelenemesi olanaksızdır. Dolayısı ile çalışmalar bir başlangıç çalışması olarak nitelendirilmesi mümkündür. Tezin ele aldığı konuya benzer bir çalışma “Prokon Software Consultant Ltd.” tarafından AISC ve EC3 şartnamelerine göre “Prokon Calcpad” adlı bir yazılım ile yapılmıştır. Yazılım başlangıç için 9 adet birleşim çeşidi içeren sonradan modüller halinde ilave birleşim çeşitlerinin eklenebildiği bir formattadır. Bu tür bir yazılımın ülkemiz şart ve koşullarına göre hazırlanmasında fayda vardır.

Çelik yapı birleşim türlerinin çeşitliliğinden ötürü incelenebilecek birleşim tipi adedinde bir üst sınır elde edilemez. Bu yüzden yöntem olarak literatür kaynaklarının çoğunda karşılaştırma imkanı olan 10 adet birleşim detayı ele alınmış ve hesap prosedürleri bir “Visual Basic” yazılımı vasıtasıyla bilgisayarda modellenerek çözümlenmiştir. Bu çözümlerinin manüel olarak yapılan hesap çalışmaları ile karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edilmektedir. Yapılan çalışma daha çok uygulama ve sonuca yönelik bir bakış açısı ile çelik yapı birleşim problemlerinin bilgisayar ortamına taşınarak, lineer elastik koşullarda için modellenen ve sayısal çözümlerin üretilmesini amaçlamıştır.

Tezden elde edilen bilgisayar modelleri ve manüel çözümlerden aynı değerler elde edilmesi bu tip bir yazılımın üretilebileceği anlamını taşımaktadır. İncelenen birleşim çeşitlerinin sayısı hem literatürde çözüm önerisi bulunan hem de bulunmayan birleşimlerin modellenmesi ile arttırılarak bir veritabanı kütüphanesi oluşturulursa, çelik yapı birleşimleri bilimsel olarak kabul edilen metotlarla, elde edilen sonuçların karşılaştırılarak tekrar değerlendirilebildiği iterasyonlu bir çalışma ile hesaplanabilir. Böylece yapı güvenliği ve performansı açısından yapıların projelendirilmesi adına verimli bir adım atılmış olunur.

Elde edilecek yazılımın maksimum verime ulaşabilmesi için ayrı modüller halinde üretilen birleşim hesap yazılımlarının entegre edilebilmesine imkan veren bir kullanıcı arabirimi hazırlanması gerekir. Böylece birleşim türleri arttırıldıkça yazılıma ilave edilebilecektir. Diğer bir sorun ise literatürde çözüm önerileri olmayan

birleşim türleri için çözüm önerilerin geliştirilerek, deney vb. yolla doğrulanmasıdır. Ancak birleşim unsurlarının tasarlanması aynı zamanda konstrüktif kurallar, belli varsayımlar ve imalat esaslarına da bağlıdır. Buradan da anlaşılacağı gibi çözüm bir çok olgunun bir arada değerlendirilerek hazırlandığı uygulanabilir bir çözüm olmalıdır. Bu çözümlerin üretilmesinde dikkate alınması gereken bazı noktalar Bölüm 2 ve Bölüm 3 'deki araştırma verilerinden ve yola çıkarak elde edilebilir. Böylece çelik yapı birleşimlerine çözüm getiren ulusal nitelikte bir yazılım elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] KUTAY, M.G., Cıvatalar. pp. 0.24-0.38 0.42-0.54, 4.1-4.2. Birsen Yayın. 2005: İstanbul.
- [2] YELGİN, A.N., Çelik yapılar-1 ders föyleri. bölüm 3.2-3.3. Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. 2003: Sakarya.
- [3] ÖZGİRGİN, M.C., Çeliğin kaynak esnasındaki davranışı. pp. 16-33. Y.Lisans, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendiliği Anabilim Dalı, kaynak bilim Dalı. 1995: Sakarya.
- [4] ERŞEN, N., Çelik yapılar ve çözümlenmiş problemler. pp. 27-36. Birsen Yayınevi Ltd. Şti. İstanbul.
- [5] ALBAYRAK, M., Kaynak dikişlerinin kontrol ve muaynesi. pp. 1-35. Y.Lisans, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendiliği Anabilim Dalı, kaynak bilim Dalı. 1997: Sakarya.
- [6] ERYÜREK, İ.B., Çelikler için örtülü elektrod seçimi. pp. 1-21. Kaynak Tek. San. Ve Tic. A.Ş. 2007: İstanbul.
- [7] ERYÜREK, İ.B., Gaz altı ark kaynağı. pp. 1-19, 35-38, 60-64. Kaynak Tek. San. Ve Tic. A.Ş. 2007: İstanbul.
- [8] SEVÜK, A., Gaz altı ark kaynağında sorunların giderilmesi. pp. 1-3, 5-6, 10-12. Kaynak Tek. San. Ve Tic. A.Ş. 2007: İstanbul.
- [9] ODABAŞI, Y., Ahşap ve çelik yapı elemanları. pp. 145-423. Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş. 1997: İstanbul.
- [10] TAŞBAŞI, G.M., Visual Basic 6. pp. 1-232. Altaş Basım Yayım Dağıtım. 2000: İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Sinan Çağlar, 26.05.1981'de Rize'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini bu şehirde tamamladı. 1998 yılında Rize Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 1999 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ndeki eğitimini 2004 yılında bitirdi. Aynı yıl Adapazarı'nda "Eyfel Çelik İnşaat Taah. San. Tic. Ltd. Şti" 'nde proje ve imalat mühendisi olarak çalışmaya başladı. Özellikle Batı Karadeniz bölgesinde tersane projelendirmesi ve imal edilmesi üzerinde çalışmalarda bulundu. 2005'te Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı'nda öğrenim görmeye hak kazandı. 2006 yılında, çelik endüstri yapıları ve endüstriyel çelik aksamları konusunda çalışan "Erka Mimarlık Mühendislik Çelik Yapı Sistemleri" firmasına girdi. Çalıştığı süre içerisinde firmanın yapılandırılması ve geliştirilmesi konusunda aktif rol oynadı. Şu anda aynı firmada İşletme Müdürü olarak görev yapmaktadır.