



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**ÇELİK YAPILARDA BULONLU VE
KAYNAKLI BİRLEŞİMLERDE KOROZYON
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Yasin DUYSAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Yasin DUYSAK tarafından hazırlanan “Çelik Yapılarda Bulonlu ve Kaynaklı Birleşimlerde Korozyon Etkisinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 12/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

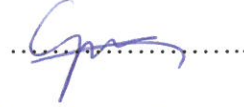
Başkan

Doç.Dr. Fatih Kürşat FIRAT



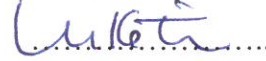
Danışman

Doç.Dr. Günnur YAVUZ



Üye

Doç.Dr. Ali KÖKEN



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.


Yasın DUYSAK

12/06/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇELİK YAPILARDA BULONLU VE KAYNAKLI BİRLEŞİMLERDE KOROZYON ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Yasin DUYSAK

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Günnur YAVUZ

2019, 126 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Günnur YAVUZ
Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT
Doç. Dr. Ali KÖKEN

Çelik taşıyıcı sistemler, günümüzde yüksek taşıma kapasitesine sahip olmaları, sünek davranış göstermeleri gibi özelliklerinden dolayı tercih edilen taşıyıcı sistemlerdir. Üretim aşamasında iyi bir kontrolden geçmiş olan çelik malzemesinden üretilmiş çelik yapı elemanlarının taşıyıcı özellikleri çeşitli çevresel etkiler nedeniyle zarar görerek zamanla azalabilmektedir. Çelik yapı elemanlarının bünyesinde bozulmalara neden olabilen bu zararlı etkilerin en önemlilerinden biri korozyon hasarıdır. Korozyon olayı çevresel etkiler altında çelik taşıyıcı sistemlerde kaçınılmaz olabilmektedir. Korozyonun, hem fiziksel hem de kimyasal olarak bir değişim meydana getirmesinden dolayı oluşacak hasar daha da önemli hale gelmektedir. Korozyon oluşumu, metallerde kütle kaybına neden olduğu için elemanın dayanımında ve kullanım ömründe azalma meydana getirmekte ve oluşan kimyasal reaksiyonlarla da malzemenin özelliklerini değiştirebilmektedir. Korozyondan korunabilmek için korozyonun oluşum mekanizmasının bilinmesi önemlidir. Korozyon hasarının oluşma ihtimali ve yapıya etkilerinin önceden hesaba katılmaması durumunda yenileme ve bakım işlemleri zahmetli ve pahalı olabilmektedir.

Bu tez çalışmasında farklı kalınlıktaki (4 mm ve 6 mm) S235 kalitesinde çelikten üretilmiş levhalarda ve farklı birleşim türlerinde (bulonlu, küt kaynaklı ve köşe kaynaklı) çelik elemanlar korozyona uğratılmış ve eksenel çekme kuvveti etkisi altında deneye tabi tutulmuştur. Çelik deney elemanlarında korozyon hasarı oluşumu sonucunda gözlenen davranış farklılığı ve eksenel çekme yük taşıma kapasitesindeki değişimler incelenmiştir. Deneyler sonucunda çelik malzemesinin korozyona uğraması ile korozyonsuz referans numuneye göre dayanım değerlerinde en düşük azalma 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda bulonda yapay korozyon olan numunelerde %3 oranında ve en yüksek azalma ise 6 mm kalınlığında bulonlu birleşimli levhada sadece bulonda korozyon olan numunede %37 oranında gözlenmiş ve malzeme özelliklerinde değişimler meydana gelmiştir. Korozyon sonucunda malzemedeki kütle kaybı lineer azalmasına rağmen çekme dayanımdaki azalmaların ve levhalardaki değişimlerin lineer olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: çelik, korozyon, bulonlu birleşim, kaynaklı birleşim, yapay korozyon

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF CORROSION EFFECT ON BOLTED AND WELDED CONNECTIONS IN STEEL STRUCTURES

Yasin DUYSAK

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Günnur YAVUZ

2019, 126 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Günnur YAVUZ
Assoc. Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT
Assoc. Prof. Dr. Ali KÖKEN**

Steel structural systems are preferred structural systems due to their high bearing capacity and ductile behavior. Structural properties of steel structural elements made of steel material which have undergone a good control during the production phase can be damaged by time due to various environmental effects. Corrosion damage is one of the most important of these harmful effects which may cause deterioration of the steel structure elements. Corrosion can be inevitable in steel structural systems under environmental effects. Damage due to both physical and chemical changes of corrosion becomes even more important. It is important to know the mechanism of corrosion to be protected from corrosion. In the event of the possibility of corrosion damage and not taking into account the effects on the structure, renewal and maintenance can be laborious and expensive.

In this thesis, steel members of different thicknesses (4 mm and 6 mm) in S235 grade steel and in different types of joints (bolted, butt welded and fillet welded) were corroded and tested under the effect of axial tensile force. Changes in the behavior and axial tensile load bearing capacity observed as a result of corrosion damage in steel test elements were investigated. As a result of the experiments, the lowest decrease in the strength values compared to the non-corrosion reference specimen with the corrosion of the steel material was observed as 3% in the 6 mm-thick bolted joint plates with artificial corroded bolts and the highest reduction was observed by 37% in the sample with only 6 mm thick bolt-jointed plates and changes in material properties. As a result of the corrosion, it was observed that the decrease in tensile strength and the changes in the plates were not linear despite the linear loss of the material.

Keywords: Steel, corrosion, bolted connection, welded connection, artificial corrosion.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bana yol gösterici olan tavsiye ve deneyimlerini esirgemeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Günnur YAVUZ' a teşekkürlerimi sunarım. Tez sürecinde gerek araştırma gerek bilgi edinme konularında yanımda olan sevgili arkadaşım M. Tansu KAYA' ya ve deney düzeneğini kurmak için gerekli cihazları temin etmemde yardımcı olan Arş. Gör. Mustafa KOÇER' e teşekkür ederim.

Öğrencilik hayatım boyunca süreçte manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve zorlu süreçlerde her zaman destekçim olan değerli aileme saygı ve sevgimi tüm içtenlikle sunar teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yasin DUYSAK
KONYA-2019



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Yapı Malzemesi Olarak Çelik.....	3
1.1.2. Yapısal çeliğin mekanik özellikleri	4
1.1.3. Birleştirme Vasıtaları	5
1.1.3.1. Bulonlu birleşimler	6
1.1.3.2. Perçinli birleşimler.....	11
1.1.3.3. Kaynaklı birleşimler	12
1.1.3.3.1. Ergitme Kaynakları.....	12
1.1.3.3.2. Basınç Kaynakları.....	16
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	17
3. KOROZYON	21
3.1. Korozyonun Önemi.....	21
3.2. Korozyon Oluşumu.....	23
3.3. Korozyon Türleri	25
3.4. Yapı Çeliği İşleri Teknik Şartnamesinde Korozyona Karşı Alınacak Önlemler. 27	
3.4.1. Yüzey hazırlıkları	27
3.4.1.1. Boya öncesi yüzey hazırlığı	27
3.4.1.2. Galvaniz öncesi yüzey hazırlığı.....	28
3.4.1.3. Termal püskürtme öncesi yüzey hazırlığı	28
3.4.1.3. Uzay kafes sistemleri için yüzey hazırlığı	28
3.4.2. Korozyondan koruma	28
3.4.2.1. Boya	29
3.4.2.2. Sıcak daldırma galvanizleme	29
3.4.2.3. Termal püskürtme	30
4. MATERYAL VE YÖNTEM	31
4.1. Deney Elemanları	31
4.2. Yöntem.....	36

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	45
5.1. Deneysel Sonuçların Birleşim Türüne Göre Karşılaştırılması	45
5.1.1. 4 mm kalınlığındaki levhalarda korozyon olması durumu	45
5.1.2. 4 mm kalınlığındaki küt kaynaklı levhalarda korozyon olması durumu	49
5.1.3. 4 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı levhalarda korozyon olması durumu	54
5.1.4. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda korozyon olması durumu	59
5.1.5. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olması durumu	64
5.1.6. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olması durumu	69
5.1.7. 6 mm kalınlığındaki levhalarda korozyon olması durumu	73
5.1.8. 6 mm kalınlığındaki küt kaynaklı levhalarda korozyon olması durumu	77
5.1.9. 6 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı levhalarda korozyon olması durumu	82
5.1.10. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda korozyon olması durumu	87
5.1.11. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olması durumu	92
5.1.12. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olması durumu	97
5.2. Deneysel Sonuçların Levha Kalınlıklarına ve Birleştirme Elemanı Türüne	101
Göre Karşılaştırılması	101
5.2.1. Birleştirme elemanı bulunmayan levhalarda korozyon olması durumu	101
5.2.2. Küt kaynaklı birleşimli levhalarda korozyon olması durumu	103
5.2.3. Köşe kaynaklı birleşimli levhalarda korozyon olması durumu	106
5.2.4. Bulonlu birleşimli levhalarda korozyon olması durumu	108
5.2.5. Bulonlu birleşimli bağlantılı levhalarda sadece bulonda korozyon olması durumu	111
5.2.6. Bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olması durumu	114
5.2.7. 4 mm ve 6 mm kalınlığındaki levhalardaki kırılma şekilleri bakımından karşılaştırma.....	116
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	120
6.1. Sonuçlar	120
6.2. Öneriler	121
KAYNAKLAR	123
ÖZGEÇMİŞ	126

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Korozyon sonucu kesit kaybına uğramış çelik profil kiriş.....	1
Şekil 1.2. Çelik yapılarda bulonlu birleşimlerde bulonlarda görülen korozyon hasarı ..	2
Şekil 1.3. Çelik yapılarda kaynaklı birleşimlerde kaynaklarda gözlenen korozyon hasarı ..	2
Şekil 1.4. Çelik yapılarda bulonlu ve kaynaklı birleşimde gözlenen korozyon hasarı...	2
Şekil 1.5. Yapısal çelik için tipik gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) diyagramları	5
Şekil 1.6. Bulonlu birleşim elemanları	6
Şekil 1.7. Tek etkili (tesirli) ve çift etkili (tesirli) bulonların gerilme dağılımı.....	7
Şekil 1.8. Sürtünme etkili yüksek mukavemetli bulonlu birleşim detayı örneği.....	7
Şekil 1.9. Perçin birleşim detayı	11
Şekil 1.10. Küt kaynaklı birleşim detayı	13
Şekil 1.11. Köşe kaynak birleşim detayı	14
Şekil 3.1. Korozyon hasarının oluşum süreci	21
Şekil 3.2. Metal içinde elektron akışı	23
Şekil 3.3. Metal üzerinde korozyon oluşumu	25
Şekil 4.1. Numunelerin lazer kesim işlemi ile hazırlanması	32
Şekil 4.2. Bulonlu deney numunelerinin birleşim detayı	32
Şekil 4.3. Küt kaynaklı deney numunelerinin birleşim detayı	33
Şekil 4.4. Köşe kaynaklı deney numunelerinin birleşim detayı	33
Şekil 4.5. 4 mm ve 6 mm kalınlıkta bulonlu birleşime sahip deney numuneleri	35
Şekil 4.6. 4 mm ve 6 mm kalınlıkta küt kaynaklı birleşime sahip deney numuneleri....	35
Şekil 4.7. 4 mm ve 6 mm kalınlıkta köşe kaynaklı birleşime sahip deney numuneleri .	35
Şekil 4.8. Küt kaynak uygulama işlemi	36
Şekil 4.9. Deney numunelerinin boyutları ve korozyona uğratılan bölge	37
Şekil 4.10. Hızlandırılmış korozyon deney düzeneğinin şematik görünümü.....	37
Şekil 4.11. SMP polimer hibrid kaplama	37
Şekil 4.12. Korozyona uğratılmayacak kısımların kaplama işlemi	38
Şekil 4.13. Korozyon işleminin gerçekleştiği cam havuz	38
Şekil 4.14. DS Power Supply RXN-305-II güç kaynağı	39
Şekil 4.15. Deney düzeneği	39
Şekil 4.16. Katot olarak kullanılan paslanmaz çelik levhalar.....	40
Şekil 4.17. Deneylerde kullanılan krokodil ve kablolar	40

Şekil 4.18. Bulonlarda yapay korozyona uğratma işlemi	41
Şekil 4.19. Bulonların yapay ve hızlandırılmış korozyona uğratılmış halleri	41
Şekil 4.20. Korozyon oluşumunun ilerleyen aşamalarındaki durumu.....	42
Şekil 4.21. Numunelerin çözültiden çıkarılmış halleri	42
Şekil 4.22. Numunelerin temizlenme işlemleri uygulanmış halleri	43
Şekil 4.23. Çekme deney aleti	44
Şekil 5.1. Deney öncesi 4 mm kalınlığındaki levha numuneleri	45
Şekil 5.2. Deney sonrası 4 mm kalınlığındaki levha numuneleri	45
Şekil 5.3. N4L-1 numunesi σ - ϵ grafiği	46
Şekil 5.4. N4L-2 numunesi σ - ϵ grafiği	46
Şekil 5.5. N4LD-1 numunesi σ - ϵ grafiği	46
Şekil 5.6. N4LD-2 numunesi σ - ϵ grafiği	47
Şekil 5.7. N4LY-1 numunesi σ - ϵ grafiği	47
Şekil 5.8. N4LY-2 numunesi σ - ϵ grafiği	47
Şekil 5.9. N4L-1, N4L-2, N4LD-1, N4LD-2, N4LY-1, N4LY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri.....	48
Şekil 5.10. Deney öncesi 4 mm kalınlığında ve küt kaynaklı levha numuneleri	50
Şekil 5.11. Deney sonrası 4 mm kalınlığında ve küt kaynaklı levha numuneleri	50
Şekil 5.12. N4LKT-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	50
Şekil 5.13. N4LKT-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	51
Şekil 5.14. N4LKTD-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	51
Şekil 5.15. N4LKTD-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	51
Şekil 5.16. N4LKTY-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	52
Şekil 5.17. N4LKTY-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	52
Şekil 5.18. N4LKT-1, N4LKT-2, N4LKTD-1, N4LKTD-2, N4LKTY-1, N4LKTY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri	52
Şekil 5.19. 4 mm kalınlığında ve küt kaynaklı numunenin kaynaktan kırılma anı	54
Şekil 5.20. Deney sonrası 4 mm kalınlığında ve köşe kaynaklı levha numuneleri	55
Şekil 5.21. N4LKŞ-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	55
Şekil 5.22. N4LKŞ-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	55
Şekil 5.23. N4LKŞD-1 numunesi σ - ϵ grafiği	56
Şekil 5.24. N4LKŞD-2 numunesi σ - ϵ grafiği	56
Şekil 5.25. N4LKŞY-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	56
Şekil 5.26. N4LKŞY-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	57

Şekil 5.27. N4LKŞ-1, N4LKŞ-2, N4LKŞD-1, N4LKŞD-2, N4LKŞY-1, N4LKŞY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri	57
Şekil 5.28. Deney öncesi 4 mm kalınlığında ve bulonlu levha numuneleri	59
Şekil 5.29. Deney sonrası 4 mm kalınlığında ve bulonlu levha numuneleri	60
Şekil 5.30. N4LB-1 numunesi σ - ϵ grafiği	60
Şekil 5.31. N4LB-2 numunesi σ - ϵ grafiği	60
Şekil 5.32. N4LBD-1 numunesi σ - ϵ grafiği	61
Şekil 5.33. N4LBD-2 numunesi σ - ϵ grafiği	61
Şekil 5.34. N4LBY-1 numunesi σ - ϵ grafiği	61
Şekil 5.35. N4LBY-2 numunesi σ - ϵ grafiği	62
Şekil 5.36. N4LB-1, N4LB-2, N4LBD-1, N4LBD-2, N4LBY-1, N4LBY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri	62
Şekil 5.37. Deney öncesi 4 mm kalınlığında bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numuneler.....	64
Şekil 5.38. Deney sonrası 4 mm kalınlığında bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numuneler.....	64
Şekil 5.39. N4LB-1 numunesi σ - ϵ grafiği	65
Şekil 5.40. N4LB-2 numunesi σ - ϵ grafiği	65
Şekil 5.41. N4BD-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	65
Şekil 5.42. N4BD-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	66
Şekil 5.43. N4BY-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	66
Şekil 5.44. N4BY-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	66
Şekil 5.45. N4LB-1, N4LB-2, N4BD-1, N4BD-2, N4BY-1, N4BY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri.....	67
Şekil 5.46. Bulon bağlantısında somunların sıyrılması	69
Şekil 5.47. Deney öncesi 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numuneler.....	69
Şekil 5.48. Deney sonrası 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numuneler.....	70
Şekil 5.49. N4LB-1 numunesi σ - ϵ grafiği	70
Şekil 5.50. N4LB-2 numunesi σ - ϵ grafiği	70
Şekil 5.51. N4BYP-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	71
Şekil 5.52. N4BYP-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	71

Şekil 5.53. N4LB-1, N4LB-2, N4BY-1, N4BY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri.....	71
Şekil 5.54. Deney sonrası 6 mm kalınlığındaki levha numuneleri.....	73
Şekil 5.55. Deney sonrası 6 mm kalınlığındaki levha numuneleri.....	73
Şekil 5.56. N6L-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	74
Şekil 5.57. N6L-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	74
Şekil 5.58. N6LD-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	74
Şekil 5.59. N6LD-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	75
Şekil 5.60. N6LY-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	75
Şekil 5.61. N6LY-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	75
Şekil 5.62. N6L-1, N6L-2, N6LD-1, N6LD-2, N6LY-1, N6LY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri.....	76
Şekil 5.63. Deney öncesi 6 mm kalınlığında ve küt kaynaklı levha numuneleri.....	78
Şekil 5.64. Deney sonrası 6 mm kalınlığında ve küt kaynaklı levha numuneleri.....	78
Şekil 5.65. N6LKT-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	78
Şekil 5.66. N6LKT-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	79
Şekil 5.67. N6LKT-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	79
Şekil 5.68. N6LKT-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	79
Şekil 5.69. N6LKT-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	80
Şekil 5.70. N6LKT-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	80
Şekil 5.71. N6LKT-1, N6LKT-2, N6LKTD-1, N6LKTD-2, N6LKTY-1, N6LKTY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri.....	80
Şekil 5.72. Deney öncesi 6 mm kalınlığında ve köşe kaynaklı levha numuneleri.....	82
Şekil 5.73. Deney sonrası 6 mm kalınlığında ve köşe kaynaklı levha numuneleri.....	83
Şekil 5.74. N6LKŞ-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	83
Şekil 5.75. N6LKŞ-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	83
Şekil 5.76. N6LKŞD-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	84
Şekil 5.77. N6LKŞD-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	84
Şekil 5.78. N6LKŞY-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	84
Şekil 5.79. N6LKŞY-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	85
Şekil 5.80. N6LKŞ-1, N6LKŞ-2, N6LKŞD-1, N6LKŞD-2, N6LKŞY-1, N6LKŞY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri.....	85
Şekil 5.81. Deney sonrası 6 mm kalınlığında ve bulonlu birleşimli numuneler.....	89
Şekil 5.82. Deney sonrası 6 mm kalınlığında ve bulonlu birleşimli numuneler.....	88

Şekil 5.83. N6LB-1 numunesi σ - ϵ grafiği	88
Şekil 5.84. N6LB-2 numunesi σ - ϵ grafiği	88
Şekil 5.85. N6LBD-1 numunesi σ - ϵ grafiği	89
Şekil 5.86. N6LBD-2 numunesi σ - ϵ grafiği	89
Şekil 5.87. N6LBY-1 numunesi σ - ϵ grafiği	89
Şekil 5.88. N6LBY-2 numunesi σ - ϵ grafiği	90
Şekil 5.89. N6LB-1, N6LB-2, N6LBD-1, N6LBD-2, N6LBY-1, N6LBY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri	90
Şekil 5.90. Deney öncesi 6 mm kalınlığında bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numuneler.....	92
Şekil 5.91. Deney sonrası 6 mm kalınlığında bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numuneler.....	92
Şekil 5.92. N6LB-1 numunesi σ - ϵ grafiği	93
Şekil 5.93. N6LB-2 numunesi σ - ϵ grafiği	93
Şekil 5.94. N6BD-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	93
Şekil 5.95. N6BD-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	94
Şekil 5.96. N6BY-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	94
Şekil 5.97. N6BY-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	94
Şekil 5.98. N6LB-1, N6LB-2, N6BD-1, N6BD-2, N6BY-1, N6BY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri.....	95
Şekil 5.99. Bulon bağlantısında somunların sıyrılması	96
Şekil 5.100. Bulonun sıyrılma sonucundaki görünümü	96
Şekil 5.101. Deney öncesi 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numuneler.....	97
Şekil 5.102. Deney sonrası 4mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numuneler.....	98
Şekil 5.103. N6LB-1 numunesi σ - ϵ grafiği	98
Şekil 5.104. N6LB-2 numunesi σ - ϵ grafiği	98
Şekil 5.105. N6BYP-1 numunesi σ - ϵ grafiği.....	99
Şekil 5.106. N6BYP-2 numunesi σ - ϵ grafiği.....	99
Şekil 5.107. N6LB-1, N6LB-2, N6BY-1, N6BY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri.....	99
Şekil 5.108. N4L-1, N4L-2, N6L-1, N6L-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	101

Şekil 5.109. N4LD-1, N4LD-2, N6LD-1, N6LD-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	102
Şekil 5.110. N4LY-1, N4LY-2, N6LY-1, N6LY-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	102
Şekil 5.111. N4LKT-1, N4LKT-2, N6LKT-1, N6LKT-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	104
Şekil 5.112. N4LKTD-1, N4LKTD-2, N6LKTD-1, N6LKTD-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	104
Şekil 5.113. N4LKTY-1, N4LKTY-2, N6LKTY-1, N6LKTY-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	105
Şekil 5.114. N4LKŞ-1, N4LKŞ-2, N6LKŞ-1, N6LKŞ-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	106
Şekil 5.115. N4LKŞD-1, N4LKŞD-2, N6LKŞD-1, N6LKŞD-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	107
Şekil 5.116. N4LKŞY-1, N4LKŞY-2, N6LKŞY-1, N6LKŞY-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	108
Şekil 5.117. N4LB-1, N4LB-2, N6LB-1, N6LB-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	109
Şekil 5.118. N4LBD-1, N4LBD-2, N6LBD-1, N6LBD-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	110
Şekil 5.119. N4LBY-1, N4LBY-2, N6LBY-1, N6LBY-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	110
Şekil 5.120. N4LB-1, N4LB-2, N6LB-1, N6LB-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	112
Şekil 5.121. N4BD-1, N4BD-2, N6BD-1, N6BD-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	112
Şekil 5.122. N4BY-1, N4BY-2, N6BY-1, N6BY-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	113
Şekil 5.123. N4LB-1, N4LB-2, N6LB-1, N6LB-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	114
Şekil 5.124. N4BYP-1, N4BYP-2, N6BYP-1, N6BYP-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri.....	115

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Bulon malzemelerinin karakteristik akma gerilmeleri ve çekme dayanımları	7
Çizelge 1.2. Standart dairesel delik çapı merkezinden parça kenarına olan minimum uzaklıklar	8
Çizelge 1.3. Bulonların karakteristik gerilme dayanımları	10
Çizelge 1.4. Küt kaynak dikiş isimleri	13
Çizelge 1.5. Kısmi nüfuziyetli küt kaynakların minimum etkin kalınlıkları	15
Çizelge 1.6. Köşe kaynaklı birleşimlerin minimum etkin kalınlıkları	15
Çizelge 1.7. Kaynak birleşimlerinde Ø dayanım faktörü ve esas metal ve ilave metal gerilmeleri.....	16
Çizelge 5.1. 4 mm kalınlığındaki levhalarda gerilmelerin karşılaştırması	48
Çizelge 5.2. 4 mm kalınlığındaki levhalarda birim uzamaların karşılaştırması	48
Çizelge 5.3. 4mm kalınlığındaki levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri	49
Çizelge 5.4. 4 mm kalınlığındaki küt kaynaklı levhalarda gerilmelerin karşılaştırması	53
Çizelge 5.5. 4 mm kalınlığındaki küt kaynaklı birleşimli levhalarda birim uzamaların karşılaştırması	53
Çizelge 5.6. 4 mm kalınlığındaki küt kaynaklı birleşimli levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri	54
Çizelge 5.7. 4 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı birleşimli levhalarda gerilmelerin karşılaştırması	57
Çizelge 5.8. 4 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı birleşimli levhalarda birim uzamaların karşılaştırması	58
Çizelge 5.9. 4 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı birleşimli levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri	59
Çizelge 5.10. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda gerilmelerin karşılaştırması	62
Çizelge 5.11. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda birim uzamaların karşılaştırılması.....	63
Çizelge 5.12. 4mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri.....	63

Çizelge 5.13. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numunelerdeki gerilmelerin karşılaştırması	66
Çizelge 5.14. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numunelerdeki birim uzamaların karşılaştırması	67
Çizelge 5.15. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri.....	68
Çizelge 5.16. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numunelerde gerilmelerin karşılaştırması	71
Çizelge 5.17. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numunelerde birim uzamaların karşılaştırması	71
Çizelge 5.18. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numunelerde gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri	72
Çizelge 5.19. 6 mm kalınlığındaki levhalarda gerilmelerin karşılaştırması	76
Çizelge 5.20. 6 mm kalınlığındaki levhalarda birim uzamaların karşılaştırması	76
Çizelge 5.21. 6 mm kalınlığındaki levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri	77
Çizelge 5.22. 6 mm kalınlığındaki küt kaynaklı birleşimli levhalarda gerilmelerin karşılaştırması	81
Çizelge 5.23. 6 mm kalınlığındaki küt kaynaklı birleşimli levhalarda birim uzamaların karşılaştırması	81
Çizelge 5.24. 6mm kalınlığındaki küt kaynaklı birleşimli levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri	82
Çizelge 5.25. 6 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı birleşimli levhalarda gerilmelerin karşılaştırması	85
Çizelge 5.26. 6 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı birleşimli levhalarda birim uzamaların karşılaştırması	86
Çizelge 5.27. 6 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı birleşimli levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri	87
Çizelge 5.28. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda gerilmelerin karşılaştırması	90
Çizelge 5.29. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda birim uzamaların karşılaştırması	91

Çizelge 5.30. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri.....	91
Çizelge 5.31. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numunelerde gerilmelerin karşılaştırması	95
Çizelge 5.32. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numunelerin birim uzamalarının karşılaştırması	95
Çizelge 5.33. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numunelerde gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri	97
Çizelge 5.34. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numunelerde gerilmelerin karşılaştırılması.....	100
Çizelge 5.35. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numunelerde birim uzamaların karşılaştırması	100
Çizelge 5.36. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numunelerde gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri.....	100
Çizelge 5.37. N4L-1, N4L-2, N6L-1, N6L-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	101
Çizelge 5.38. N4LD-1, N4LD-2, N6LD-1, N6LD-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması	102
Çizelge 5.39. N4LY-1, N4LY-2, N6LY-1, N6LY-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	103
Çizelge 5.40. N4LKT-1 N4LKT-2 N6LKT-1 N6LKT-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	104
Çizelge 5.41. N4LKTD-1 N4LKTD-2 N6LKTD-1 N6LKTD-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	105
Çizelge 5.42. N4LKTY-1, N4LKTY-2, N6LKTY-1, N6LKTY-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	105
Çizelge 5.43. N4LKŞ-1, N4LKŞ-2, N6LKŞ-1, N6LKŞ-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	107
Çizelge 5.44. N4LKŞD-1, N4LKŞD-2, N6LKŞD-1, N6LKŞD-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	107
Çizelge 5.45. N4LKŞY-1, N4LKŞY-2, N6LKŞY-1, N6LKŞY-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	108

Çizelge 5.46. N4LB-1, N4LB-2, N6LB-1, N6LB-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması.....	109
Çizelge 5.47. N4LBD-1, N4LBD-2, N6LBD-1, N6LBD-2 numunelerinin yükdeplasman değerlerinin karşılaştırılması	110
Çizelge 5.48. N4LBY-1, N4LBY-2, N6LBY-1, N6LBY-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması	111
Çizelge 5.49. N4LB-1, N4LB-2, N6LB-1, N6LB-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırması.....	112
Çizelge 5.50. N4BD-1, N4BD-2, N6BD-1, N6BD-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırması.....	113
Çizelge 5.51. N4BY-1, N4BY-2, N6BY-1, N6BY-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması	113
Çizelge 5.52. N4LB-1, N4LB-2, N6LB-1, N6LB-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması	115
Çizelge 5.53. N4BYP-1, N4BYP-2, N6BYP-1, N6BYP-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması	115
Çizelge 5.54. 4 mm kalınlığındaki levhada, küt kaynaklı, köşe kaynaklı ve bulonlu birleşimlerde elde edilen kırılma şekilleri	116
Çizelge 5.55. 6 mm kalınlığındaki levhada, küt kaynaklı, köşe kaynaklı ve bulonlu birleşimlerde elde edilen kırılma şekilleri	117
Çizelge 5.56. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda bulonda oluşan korozyon sonucu oluşan kırılma şekilleri.....	118
Çizelge 5.57. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda bulonda oluşan korozyon sonucu oluşan kırılma şekilleri.....	119

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_b	: Bulon anma enkesit alanı
A_{BM}	: Esas metal anma dayanımı
a_{max}	: Maksimum kaynak kalınlığı
A_w	: Demir atom birim ağırlığı
A_{we}	: Etkili kaynak alanı
D_u	: 1.13 Katsayı
d	: Bulon yarıçapı
d_1	: Perçin çapı
e	: Bulonlar arası mesafe
e_1	: Kuvvet doğrultusuna dik olan kısma en dış bulonun mesafesi
e_2	: Kuvvet doğrultusuna paralel olan kısma en dış bulonun mesafesi
F	: Yük
F	: Faraday sabiti 96,500 coulomb
f_E	: Elektrod anma dayanımı
f_n	: Karakteristik gerilme dayanımı
f_{nBM}	: Esas metal anma gerilmesi
f'_{nt}	: Kesme etkisinde düzenlenmiş anma çekme gerilmesi
F_{nt}	: Karakteristik çekme gerilmesi dayanımı
F_{nv}	: Karakteristik kayma gerilmesi dayanımı
f_{nw}	: Kaynak anma gerilmesi
f_{rv}	: Hesap kesme gerilmesi
h_f	: Birleşimde bulunan besleme levhasına göre kullanılacak katsayı
σ	: Bulon ezilme emniyet gerilmesi
σ_f	: Akma mukavemeti
σ_k	: Kopma mukavemeti
I	: Akım
M	: Çözünmüş metalin kütlesi
N	: Bulon taşıyacağı maksimum kuvvet
n	: Demir atom değerliliği
n_b	: Çekme kuvveti etkisi altında bulon sayısı
n_{sp}	: Kayma düzlem sayısı
R_n	: Anma dayanımları
t	: Levha kalınlığı (mm)
t	: Zaman (sn)
t_{min}	: Minimum levha kalınlığı
T_a	: GKT yük birleşimi altında çekme dayanımı
T_p	: Bulon çekme öngerme kuvvetinin minimum değeri
T_u	: YDKT yük birleşimi altında çekme dayanımı
ΔL	: Uzama miktarı
τ	: Bulon kesme emniyet gerilmesi
μ	: Sürtünme katsayısı

Kısaltmalar

CaCl ₂	: Kalsiyum klorür
ÇYTHYE	: Çelik yapıların tasarımı, hesap ve yapımına dair esaslar
GSMH	: Gayri safı milli hasıla
GKT	: Güvenlik katsayıları ile tasarım
NaCl	: Sodyum Klorür
YDKT	: Yük ve dayanım katsayıları ile tasarım



1. GİRİŞ

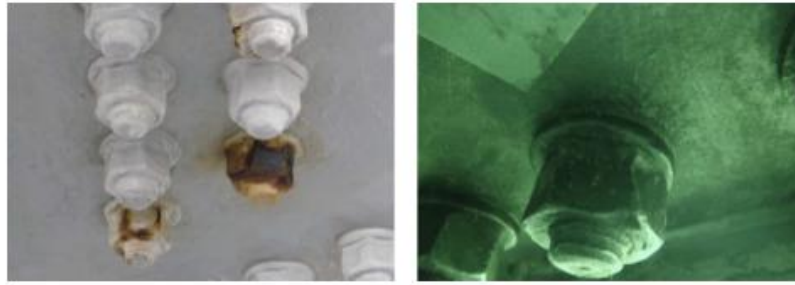
Korozyon metallerin bulunduğu çevre şartları ile etkileşime geçmesi sonucunda bünyesinde oluşan fiziksel ve kimyasal olaylara verilen genel bir tanımdır. Korozyonun temel nedeni metallerin kararsız formda olması ve doğada buldukları hallerine geri dönme isteğidir. Korozyon genellikle otoparklar, liman yapıları, köprü tabliyeleri ve köprü ayakları gibi atmosfere açık koşullara maruz kalmış yapılarda ve nemli ortamlarda bulunan yapılarda ortaya çıkmaktadır (Yavuz, 2011). Atmosfere maruz çelik yapılar, çelik köprüler ve diğer çelik elemanlar korozyona uğrayarak beklenen süreden daha kısa bir zamanda kullanım dışı olabilmektedirler. Bu sebeple korozyonun sebep olacağı hasarın önceden öngörülmesi, yapıda meydana gelecek dayanım azalması ve kullanım ömründeki azalmanın tasarım anında hesaplanması, hem yapı güvenliği açısından hem de zamanında önlem alınabilmesi için oldukça önemlidir. Şekil 1.1'de korozyonun zamanla malzemede meydana getirdiği kesit kaybına bir örnek görülmektedir.



Şekil 1.1. Korozyon sonucu kesit kaybına uğramış çelik profil kiriş

Yapıda korozyonun oluşmasıyla malzemenin değişimi, onarımı ve işçilik maliyetleri araştırıldığında birçok ülkenin gayrisafi milli hasılasının ortalama %4'ü ile %6'sı arasında olduğu görülmüştür (Sarı 2015). Korozyondan kaynaklı maddi kayıp dışında korozyon sonucu oluşan pasın insan sağlığı bakımından da zararları bulunmaktadır (Sarı 2015).

Çelik taşıyıcı sistem elemanlarında ve çelik yapı birleşim araçlarında (bulon ve kaynak gibi) korozyon etkisi önemli hasarlara neden olabilmektedir. Korozyon hasarlarına karşı koyabilmek için farklı çözümler üretilmiştir. Boya yapılması, galvanizleme uygulaması ve termal püskürtme vb. işlemler uygulanarak korozyondan koruma sağlanabilmektedir. Ancak yoğun korozif çevresel ortamlarda korozyon bu koruma yöntemlerine karşın meydana gelebilmektedir. Şekil 1.2, 1.3 ve 1.4'te çelik yapılarda birleşim elemanlarında oluşabilen korozyon hasarları görülmektedir.



Şekil 1.2. Çelik yapılarda bulonlu birleşimlerde bulonlarda görülen korozyon hasarı (Ahn ve ark., 2017)



Şekil 1.3. Çelik yapılarda kaynaklı birleşimlerde kaynaklarda gözlenen korozyon hasarı (http://www.amteccorrosion.co.uk/m_coatingfailuresguide.html)



Şekil 1.4. Çelik yapılarda bulonlu ve kaynaklı birleşimde gözlenen korozyon hasarı (<https://www.shutterstock.com/image-photo/rust-corrosion-weldcorrosion-metalrust-metalscorrosion-rusted-722678866>)

Yapının tasarım aşamasında, yapıda oluşması beklenen korozyon miktarının hesaplanması durumunda meydana gelebilecek dayanım kaybını önceden tahmin edebilmek için bu çalışma bir referans olarak kullanılabilir. Korozyon miktarı ve dayanım kaybı arasındaki bağıntı tam olarak bilinir ve tasarım bu koşullar altında gerçekleştirilirse korozyona maruz kalabileceği düşünülen yapılar öngörülen servis ömrünü sorunsuz şekilde tamamlayabilecektir. Kullanım süresi boyunca külfetli olan yenileme (onarım/güçlendirme) çalışmalarına gerek olmayacağı için ekonomik açıdan da oldukça faydalı olacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında, çelik yapılardaki birleşim bölgelerinde ve birleşim elemanlarında oluşabilecek korozyon sonucunda, bu bölgelerde meydana gelen dayanımdaki azalmalar ve davranış farklılıkları belirlenmiştir. Çelik yapılarda kullanılan bulonlu ve kaynaklı birleşimlerde hızlandırılmış korozyon oluşumu meydana getirilerek korozyonun çelik yapı birleşim bölgesindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca bulonlu birleşimlerde yapay korozyon hasarı uygulaması yapılmıştır. Korozyon hasarı uygulanmış ve korozyonsuz numuneler üzerinde birleşim detaylarında aksenal çekme deneyleri gerçekleştirilerek korozyonsuz ve korozyonlu durumda yük taşıma kapasitesi ve davranış farklılığı belirlenmiştir.

1.1. Yapı Malzemesi Olarak Çelik

Yapı malzemesi olarak çelik başlangıçta, ham demir üretiminin başlamasından sonra köprülerde kullanılmıştır. İlk yıllarda font demirin kullanılması sebebi ile yapılan köprüler kemer formunda inşa edilmiştir. Sonraki yıllarda teknolojinin ilerlemesiyle dövme çelik ve daha sonra dökme çelik inşaat sektöründe kullanılmaya başlamıştır. İlk zamanlar sadece köprü imalatlarında kullanılan çelikler daha sonra depolar, sanayi tesisleri, uçak hangarları, enerji üretim tesisleri, otogarlar, elektrik direkleri, su depoları vb birçok alanda kullanılmıştır (Deren ve ark., 2008).

Yapısal çeliğin yapı malzemesi olarak bazı üstünlükleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Aghayere ve Vigil, 2015):

- Çelik yüksek dayanım/ağırlık oranına sahiptir.
- Yapısal çelik üniform ve homojen özelliktedir.
- Yüksek süneklik kapasitesi vardır.
- Kolaylıkla geri dönüşüm imkanı vardır.
- Çelik yapıların yapımı ve imalatı kolaydır.

- Çelik yapıların inşaatı diğer diğer yapı malzemelerinden inşaa edilen yapılarla kıyaslandığında hava koşullarından etkilenmemektedir.
- Mevcut çelik yapılara ilaveler yapmak diğer yapı türlerine göre nispeten daha kolaydır.

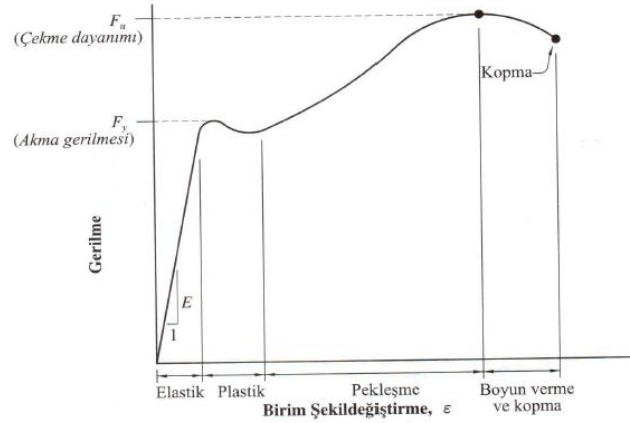
Yapısal çeliğin bir yapı malzemesi olarak bazı eksiklikleri şu şekilde sıralanabilir (Aghayere ve Vigil, 2015):

- Çelik korozyona hassas bir malzeme olduğundan özellikle dış hava koşullarına veya neme maruz yapılarda koruma gerektirmektedir. Bu nedenle diğer yapı malzemeleriyle kıyaslandığında bakım masrafı daha yüksek olabilmektedir.
- Çelik yüksek sıcaklıklarda olumsuz olarak etkilenmektedir ve bu nedenle yangına karşı genellikle korunması gerekmektedir.
- Yapısal çelik, yapısal detay tiplerine bağlı olarak, gerilme yığılmalarından kaynaklanan gevrek kırılma ile elemanlarda ve birleşim bölgelerinde çevrimsel ve tekrarlı yüklerden kaynaklanan yorulma hasarlarına maruz kalabilir.

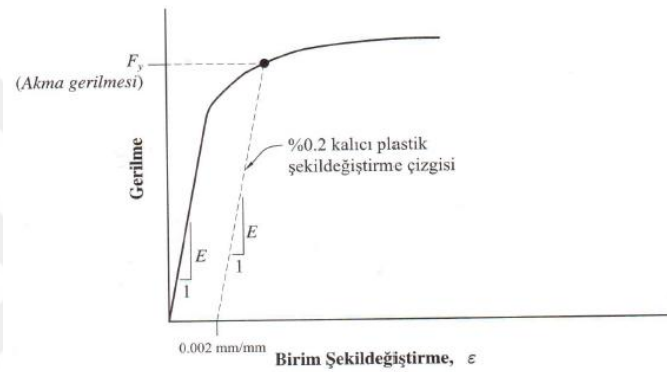
1.1.2. Yapısal çeliğin mekanik özellikleri

Çelik yapılarda kullanılan yapısal çeliklerin yük altındaki dayanımlarını tanımlamak için akma sınır değeri, çekme mukavemeti ve sertlik değerlerinden yararlanılmaktadır. Akma sınır değeri ve çekme mukavemetinin karakteristik değerleri aksel çekme deneyi ile belirlenmektedir. Çekme deneyinde çelik numune sabit artan yük (F) altında çekme kuvvetine maruz bırakılmakta ve numunede meydana gelen boy değişimi(ΔL) ölçülmektedir. İlk boy ile kıyaslanan boydaki değişimle kuvvet arasındaki ilişkiden yük-birim deformasyon diyagramı elde edilmektedir (Deren ve ark., 2008).

Yapı tasarımında kullanılan yapısal çeliğin en önemli iki özelliği akma gerilmesi ve çekme dayanımıdır. Şekil 1.5'de yumuşak yapı çeliği ve yüksek mukavemetli çelikler için tipik gerilme-birim deformasyon grafikleri görülmektedir. Yüksek mukavemetli çeliklerde gerilme-şekil değiştirme grafiğinde akma dayanımı belirgin olarak görülmemektedir. Akma dayanımını belirlemek için birim şekil değiştirme 0.002 mm/mm den başlangıç eğimine paralel çizgi çizilir ve eğriyi kestiği nokta akma dayanımı olarak belirlenir (Keyder ve Wasti, 2010). Akma dayanım noktası belirgin olmayan çelik için idealleştirilmiş σ - ϵ eğrisi Şekil 1.5'te görülmektedir (Aghayere ve Vigil, 2015).



a) Akma noktası belirgin olan çelik (yumuşak yapı çeliği)



b) Akma dayanım noktası belirgin olmayan çelik

Şekil 1.5. Yapısal çelik için tipik gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) diyagramları (Aghayere ve Vigil, 2015).

Günümüzde yapı çeliği olarak genellikle S235 (St37), S275 (St44), S355 (St52) olan çelik türleri kullanılmaktadır. Bu çelik türlerinden örneğin S235(St37) çelik sınıfının kopma mukavemeti $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$ (St37, $\sigma_k=3700 \text{ kg/cm}^2$), akma mukavemeti de $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$ (St37, $\sigma_f=2400 \text{ kg/cm}^2$) olarak alınmaktadır.

1.1.3. Birleştirme Vasıtaları

Bir çelik taşıyıcı sistemin oluşturulabilmesi için çelik elemanların birbirine birleştirilmesi gerekmektedir. Çelik yapılarda kullanılan birleşim araçları üç temel türe ayrılmaktadır. Bunlar:

- * Bulon
- * Perçin

* Kaynak

Günümüzde genellikle bulonlu ve kaynaklı birleşimler tercih edilmektedir. Perçinli birleşimler ise özel yapılarda, tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılmaktadır.

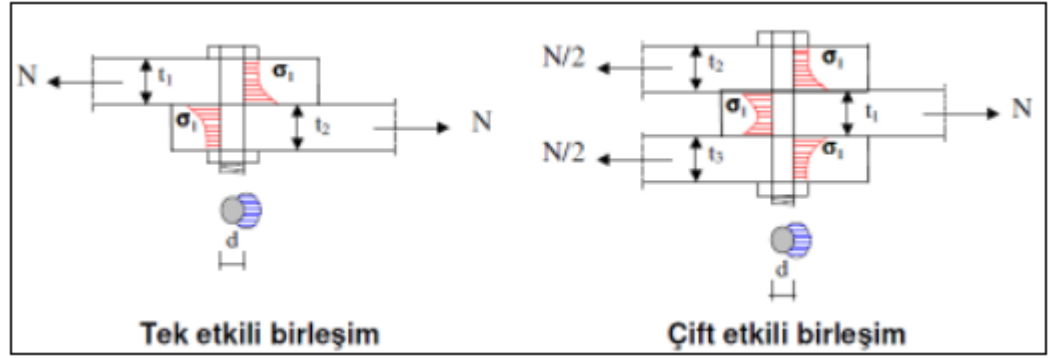
1.1.3.1. Bulonlu birleşimler

Bulonlar, altı köşeli başlıklı silindirik gövdeye ve silindirik gövdesinin ucunda somun bağlantısı için açılmış spiral dişlere sahip birleştirme araçlarıdır. Bulonlar "normal ve yüksek dayanımlı bulonlar" olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Normal bulonlarda sıkıştırma işlemi için bulon levhada açılan deliğe yerleştirildikten sonra dış açılmış olan tarafına rondela konulmakta ve arkasına somun takılarak anahtarla sıkıştırılmaktadır (Deren ve ark., 2008). Şekil 1.6'da tipik bulonlu birleşim elemanları görülmektedir. Normal bulonların kuvvet aktarımları gövdede kesme ve delik çevresinde ezilme şeklindedir. Bulonların kesmeye çalışan kesit adedi bulonun etki (tesir) sayısını göstermektedir (Şekil 1.7).

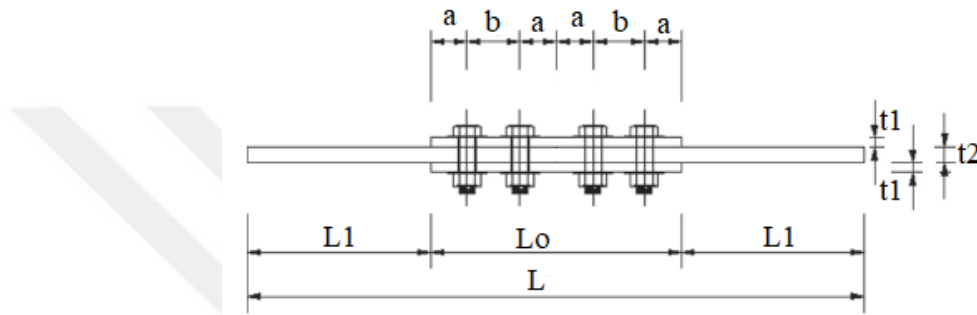
Yüksek dayanımlı bulonlar, yüksek mukavemetli çelikten üretilmektedir. Makaslama ve delik çevresinde ezilmeye göre (ezilme etkili) hesaplanan ve sürtünme kuvvetli (sürtünme etkili) birleşimler olmak üzere iki türü bulunmaktadır (Deren ve ark., 2008). Şekil 1.8'de sürtünme etkili yüksek dayanımlı bulonlu birleşim detayı görülmektedir.



Şekil 1.6. Bulonlu birleşim elemanları



Şekil 1.7. Tek etkili (tesirli) ve çift etkili (tesirli) bulonların gerilme dağılımı (Yüksekova, 2011)



Şekil 1.8. Sürtünme etkili yüksek dayanımlı bulonlu birleşim detayı örneği

Bulon malzemelerinin karakteristik akma gerilmeleri (F_{yb}) ve çekme dayanımları (F_{ub}) Çizelge 1.1'de görülmektedir (ÇYTHYE, 2016). Buna göre, 4.6, 4.8, 5.6, 5.8 ve 6.8 bulon sınıfları normal bulonlar, 8.8 ve 10.9 bulon sınıfları yüksek dayanımlı bulonlar olarak dikkate alınmaktadır.

Çizelge 1.1. Bulon malzemelerinin karakteristik akma gerilmeleri ve çekme dayanımları (ÇYTHYE, 2016)

Bulon Sınıfı	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
F_{yb}	240	320	300	400	480	640	900
F_{ub}	400	400	500	500	600	800	1000

Basit sıkma yönteminin kullanıldığı ezilme etkili birleşimlerde normal ve yüksek dayanımlı bulonlar kullanılabilir. ÇYTHYE, (2016)'da sadece çekme kuvveti veya çekme ile kesme kuvvetlerinin ortak etkisindeki birleşimlerde ve titreşim etkisi altında bulonların gevşemesinin tasarım koşulu olduğu birleşimlerde yüksek dayanımlı

bulon kullanılması gerektiği belirtilmektedir. Bulonlu birleşimlerde, bulonlar arası uyulması gereken minimum aralıklar bulunmaktadır. ÇYTHYE, 2016'ya göre bulon delikleri arası minimum uzaklık s , karakteristik bulon çapı d 'nin en az üç katı alınmalıdır ($s > 3d$). Bulon kenar mesafeleri için standart dairesel delik çapı merkezinden parça kenarına olan minimum uzaklıklar Çizelge 1.2'de görülmektedir (ÇYTHYE, 2016).

Çizelge 1.2. Standart dairesel delik çapı merkezinden parça kenarına olan minimum uzaklıklar (mm) (ÇYTHYE, 2016)

Karakteristik Bulon Çapı	Kenara Olan Minimum Uzaklık
16	22
20	26
22	29
24	32
27	36
30	40
36	48
> 36	1.30d

^a: Büyük dairesel delik çapı veya oval delik çaplarına uygulanacak artım değerleri için bk. Tablo 13.10.

Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (2016)'da tasarımda 2 farklı yöntemle göre hesap yapılabilmektedir. Bunlar, güvenlik katsayıları ile tasarım (GKT) ve yük ve dayanım katsayıları ile tasarım (YDKT) yöntemleridir. Yük ve dayanım katsayıları ile tasarımda bina üzerine gelen yükler belirli yük katsayıları ile çarpılarak hesaplanmaktadır. Yük katsayıları binalarda meydana gelebilecek fazla yüklenme olasılığına göre hesaplanmaktadır. Güvenlik katsayıları ile tasarımda güvenli dayanım bulunmaktadır. Güvenli dayanım, karakteristik dayanımın güvenlik katsayılarına bölünmesiyle bulunan dayanım değeridir (Aghayere ve Vigil, 2015).

ÇYTHYE (2016) yönetmeliğinde bulon hesapları 3 durum göz önüne alınarak yapılmaktadır. Bunlar,

- Çekme ve kayma etkisinde bulonların taşıma gücü
- Kayma ve çekme etkisi altında kesme etkili bulonların taşıma gücü
- Sürtünme etkili bulonların kesme etkisi altında taşıma gücü

Çekme ve kayma etkisinde bulonların taşıma gücü

Kesme etkisindeki bulonun çekme kopmasının hesaplanması için Denklem (1.1) kullanılmaktadır.

$$R_n = F_n \cdot A_b \quad (1.1)$$

Burada, A_b : Bulon anma enkesit alanı'dır. F_n değeri çekme gerilmesinde F_{nt} , kayma gerilmesinde F_{nv} olarak dikkate alınmaktadır.

$$F_{nt} = 0.75 F_{ub} \quad (1.2)$$

$$F_{nv} = 0.45 F_{ub} \quad (1.3)$$

Kayma ve çekme kuvvetlerinin ortak etkisi altındaki bulonların ezilme etkili taşıma gücü

Kayma ve çekme etkisi altındaki bulonların anma dayanımları Denklem (1.4) ile elde edilmektedir;

$$R_n = F'_{nt} \cdot A_b \quad (1.4)$$

$$F'_{nt} = 1.3 \cdot F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\emptyset F_{nv}} \cdot f_{rv} \leq F_{nt} \quad (\text{YDKT}) \quad (1.5)$$

$$F'_{nt} = 1.3 \cdot F_{nt} - \frac{\Omega F_{nt}}{F_{nv}} \cdot f_{rv} \leq F_{nt} \quad (\text{GKT}) \quad (1.6)$$

Burada,

F'_{nt} : Kesme etkisinde düzenlenmiş anma çekme gerilmesi

F_{nt} : Karakteristik çekme gerilmesi dayanımı (ÇYTHYE, 2016, Çizelge 1.6.)

F_{nv} : Karakteristik kayma gerilmesi dayanımı (ÇYTHYE, 2016, Çizelge 1.6.)

\emptyset : 0.75

f_{rv} : Hesap kesme gerilmesi

Burada bulunan dayanım YDKT (Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım) için \emptyset ile çarpılarak veya GKT (Güvenlik Katsayıları ile Tasarım) için Ω ile bölünerek taşıma gücü elde edilmektedir (ÇYTHYE, 2016).

Bulonların çekme ve kayma kuvveti dayanımları

$$R_{nt} = F_{nt} \cdot A_b \quad (1.7)$$

$$R_{nv} = F_{nt} \cdot n_{sp} \cdot A_b \quad (1.8)$$

Burada,

A_b : Diş açılmamış bulonun enkesit alanı

F_{nt} : Karakteristik çekme gerilmesi dayanımı (ÇYTHYE, 2016, Çizelge 1.6.)

F_{nv} : Karakteristik kayma gerilmesi dayanımı (ÇYTHYE, 2016, Çizelge 1.6.)

n_{sp} : Kayma düzlem sayısı

Çizelge 1.3. Bulonların karakteristik gerilme dayanımları (ÇYTHYE, 2016)

Bulon Sınıfı	Diş Açılmamış Gövde Bölümünün Konumu	Karakteristik Çekme Gerilmesi Dayanımı F_{nt}, (MPa)	Ezilme Etkili Birleşimlerde Karakteristik Kayma Gerilmesi dayanımı F_{nv}, (MPa)
4.6	-	300	180
4.8	-	300	180
5.6	-	375	225
5.8	-	375	225
6.8	-	450	270
8.8	Kayma düzlemi içinde	600	360
	Kayma düzlemi dışında		450
10.9	Kayma düzlemi içinde	750	450
	Kayma düzlemi dışında		563

Sürtünme etkili bulonların kayma etkisi altında taşıma gücü

Sürtünme etkili bulonların kayma kuvveti etkisi altındaki anma dayanımının kaymanın önlemesi sınır durumu etkisi altında hesabı Denklem (1.9) ile yapılmaktadır.

$$R_n = \mu D_u h_f T_p n_s \quad (1.9)$$

Burada,

μ : Sürtünme katsayısı

D_u : 1.13 (katsayı)

T_p : Bulon çekme öngerme kuvvetinin minimum değeri

h_f : Birleşimde bulunan besleme levhasına göre kullanılacak katsayı

n_{sp} : Kayma düzlemi sayısı

Burada bulunan dayanım YDKT için ϕ ile çarpılarak veya GKT için Ω ile bölünerek taşıma gücü elde edilmektedir. ϕ ve Ω değeri yuva şekli ve bulon uzunluğuna

göre farklı değerler almaktadır (standart dairesel delikler için $\Omega=1.0$, $\Omega=1.5$, büyük dairesel delikler için $\Omega=0.85$, $\Omega=1.76$ gibi) (ÇYTHYE, 2016).

Sürtünme etkili bulonların kayma ve çekme ortak etkisi altında taşıma gücü

Sürtünme etkili bulonların kayma ve çekme ortak etkisi altında taşıma gücü, sürtünme etkili bulonların kayma etkisi altında taşıma gücü hesaplandıktan sonra k_{sc} katsayısı ile çarpılarak bulunmaktadır (ÇYTHYE, 2016).

$$k_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b} \text{ (YDKT)} , k_{sc} = 1 - \frac{1.5 T_a}{D_u T_b n_b} \text{ (GKT)} \quad (1.10)$$

Burada,

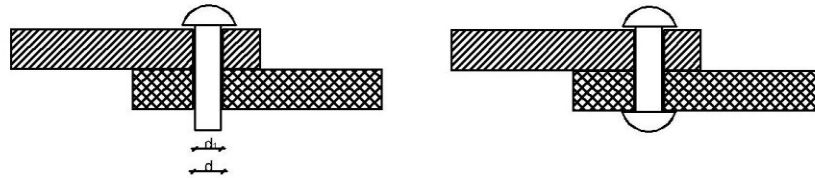
T_a : GKT yük birleşimi altında çekme dayanımı

T_u : YDKT yük birleşimi altında çekme dayanımı

n_b : Çekme kuvveti etkisi altında bulon sayısı

1.1.3.2. Perçinli birleşimler

Perçin çözülemeyen birleşim elemanı olarak kullanılmaktadır. Perçinler normal bulonlarda olduğu gibi gövdesinde kesme ve delik çevresinde ezilmeye göre kuvvet taşımaktadırlar. Dairesel baş kısmı ve silindir şeklinde kuyruk bölümünden oluşmaktadır. Birleştirilmek istenen levhaya kuyruk bölümü yerleştirildikten sonra dövülerek alt kısmı kapak başı denilen şekle dönüştürülmektedir. Perçinin yerleştirilmesi ve dövüldükten sonraki görüntüsü Şekil 1.9'da gösterilmektedir. Perçinin yerleştirilmesi dövülerek veya özel perçin tabancaları yardımıyla yapılmaktadır. Perçinin yerleştirildiği yuva perçin çapından 1 mm fazla olmalıdır(Deren ve ark., 2008).



Şekil 1.9. Perçin birleşim detayı

ÇYTHYE (2016) yönetmeliğine göre, perçin malzemesinin akma gerilmesi ve çekme dayanımının deneysel olarak belirlenmesi koşuluyla, perçinlerin karakteristik

çekme gerilmesi dayanımı ve kayma gerilmesi dayanımı Denklem (1.11) ve Denklem (1.12) ile belirlenmektedir. Perçinlerin güvenli dayanımı, ezilme etkili bulonlar için geçerli olan esaslar kullanılarak hesaplanmalıdır.

$$F_{nv} = 0.45 F_{ub} \quad (1.11)$$

$$F_{nt} = 0.75 F_{ub} \quad (1.12)$$

1.1.3.3. Kaynaklı birleşimler

Kaynak hasarsız sökülemeyen bir birleştirme aracı olarak kullanılmaktadır. Kaynak, aynı yada benzer alaşımlı metallerin ısı etkisi altında aynı veya benzer alaşımlı ilave metal (kaynak teli, kaynak elektrodu) kullanılarak birleştirme işlemidir (Deren ve ark., 2008). Kaynak işlemi için "Ergitme Kaynakları" ve "Basınç Kaynakları" olmak üzere başlıca 2 farklı kaynak grubu bulunmaktadır.

1.1.3.3.1. Ergitme Kaynakları

Ergitme kaynağında, birleştirilecek parçaların birbirine kaynaklanacak kısımları ile ilave metal ergime derecesine kadar (3000-5000 °C) ısıtılır. Ergitme kaynakları, elektrik arkı kaynağı ve gaz kaynağı olmak üzere ikiye ayrılır. Elektrik arkı kaynakları çelik yapılar için taşıyıcı olan kaynak türüdür ve uygulama metotlarına göre 4 ana gruba ayrılmıştır.

- Standart Elektrik Arkı Kaynağı (Elektrod Kaynağı)
- Özlü Tellerle Elektrik Arkı Kaynağı
- Gaz Altı Elektrik Arkı Kaynağı
- Toz Altı Elektrik Arkı Kaynağı

Elektrik arkı kaynağı olarak en pratik olan ve yaygın kullanılan kaynak çeşidi Elektrod Kaynağı olduğu için bu kaynak türü hakkında bilgi verilmiştir.

Kaynak yapılacak eleman kaynak makinesinin (+) kutbuna, elektrod olarak adlandırılan metal parçasını tutacak elektrod maşası (-) kutba bağlanır. Elektrod birleşim yapılacak elemanlara yaklaştırıldığı zaman parçalar arasında elektrik arkı meydana gelir ve bu arkın oluşturduğu yüksek ısıdan dolayı (yaklaşık 4000 °C) ergiyen elektrodun ucundaki metal damlaları birleştirilen parçaların arasındaki boşluğu doldurmaktadır (Deren ve ark., 2008).

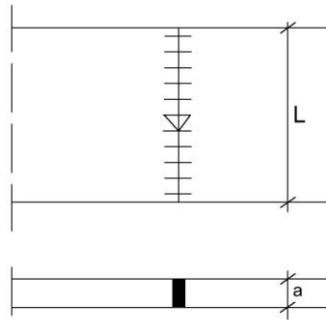
Ergitme kaynağı yöntemleriyle yapılan kaynak dikişleri, "küt kaynak" ve "köşe kaynak" olmak üzere başlıca iki çeşittir.

Aynı düzlemde bulunan iki levhanın yan yana getirilerek aralarında bir miktar boşluk bırakıldıktan sonra bu levhaların arasına çekilen kaynak dikişlerine küt kaynak dikişi denilmektedir. Küt kaynak dikişleri levha kenarlarının şekillerine göre farklı isimler almaktadırlar (Çizelge 1.4.).

Çizelge 1.4. Küt kaynak dikiş isimleri (mm) (Deren ve ark., 2008).

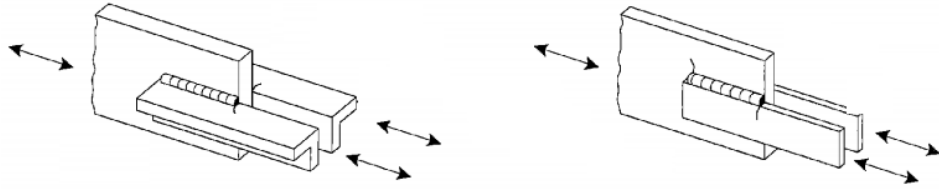
Kaynak dikişi ismi	I Dikişi	V Dikişi	Y Dikişi	X Dikişi	U Dikişi
Levha kenarları şekli					
Kaynak işareti					
Levha t kalınlığı	≤ 5	3~20	8~20	18~40	>16

Küt kaynak dikişlerinde kaynak dikişi kalınlığı $a=t$ (levha kalınlığı) olarak alınır. Farklı kalınlıklarda elemanların birleştirilmesinde kaynak kalınlığı a daha ince olan levhanın kalınlığı kadar alınmaktadır.



Şekil 1.10. Küt kaynaklı birleşim detayı

İki çelik elemanın birbirine 90^0 veya en az 60^0 açı yapacak yüzeyleri arasında çekilen kaynak dikişlerine köşe kaynak dikişi denilmektedir (Şekil 1.11). Köşe kaynak dikişlerinin kalınlığı a , enkesitlerinin içine çizilebilen ikizkenar dik üçgenin yüksekliği olarak kabul edilmektedir (Deren ve ark., 2008).



Şekil 1.11. Köşe kaynaklı birleşim detayı (ÇYTHYE, 2016)

ÇYTHYE (2016) yönetmeliğinde kaynaklı birleşim hesaplarında iki farklı eleman incelenmektedir. Bu elemanlardan biri kaynak dikişleri ile birleştirilen metal elemanlar (esas metal), ikincisi ise kaynak dikişinin kendisidir (ÇYTHYE, 2016). Kaynak dikişinin anma dayanımı ve esas metal anma dayanımı sırasıyla Denklem (1.13) ve (1.14) ile hesaplanmaktadır.

$$R_n = F_{nw} \cdot A_{we} \quad (1.13)$$

$$R_n = F_{nBM} \cdot A_{BM} \quad (1.14)$$

$$F_{nw} = 0.60 F_E \cdot (1 + 0.5 \sin^{1.5} \theta) \quad (1.15)$$

Burada,

θ : Kaynak ağırlık merkezinden geçerek kaynağa tesir eden kuvvetin kaynak eksenine yaptığı açı

R_n : Anma dayanımları

F_{nw} : Kaynak anma gerilmesi

F_{nBM} : Esas metal anma gerilmesi

F_E : Elektrod anma dayanımı

A_{we} : Etkili kaynak alanı

A_{BM} : Esas metal anma dayanımı

Burada bulunan R_n YDKT (Yük ve dayanım katsayıları ile tasarım) için ϕ ile çarpılarak veya GKT (Güvenlik katsayıları ile tasarım) için Ω ile bölünerek kaynaklı birleşim dayanımları elde edilmektedir (ÇYTHYE, 2016).

Etkili kaynak alanları tam penetrasyonlu küt kaynak dikişlerinde birleşen parçalardan daha ince olanının kalınlığı olarak, kısmi penetrasyonlu kaynaklarda ise Çizelge 1.5'ten alınmaktadır. Köşe kaynaklı birleşimlerde ise etkili kaynak kalınlığı

değerleri Çizelge 1.6'da yer almaktadır. Kaynak türleri için \emptyset ve Ω değerleri Çizelge 1.7 de gösterilmektedir (ÇYTHYE, 2016).

Çizelge 1.5. Kısmi nüfuziyetli küt kaynakların minimum etkin kalınlıkları (ÇYTHYE, 2016)

Birleşen Levhalardan Kalınlığı İnce Olan (mm)	Minimum Etkin Kalınlık (mm)
$t \leq 6$	3
$6 < t \leq 13$	5
$13 < t \leq 19$	6
$19 < t \leq 38$	8
$38 < t \leq 57$	10
$57 < t \leq 150$	13
$150 < t$	16

Çizelge 1.6. Köşe kaynaklı birleşimlerin minimum etkin kalınlıkları (ÇYTHYE, 2016)

Birleşen Levhalardan Kalınlığı İnce Olan (mm)	Minimum Köşe Kaynak Kalınlığı (mm)
$t \leq 6$	3.0
$6 < t \leq 13$	3.5
$13 < t \leq 19$	4
$19 < t$	5.5

Çizelge 1.7. Kaynak birleşimlerinde \emptyset dayanım katsayısı, esas metal ve ilave metal gerilmeleri (ÇYTHYE, 2016)

TAM PENETRASYONLU KÜT KAYNAKLAR		
	Esas Metal	İlave Metal
Kaynak eksenine dik çekme	Düğüm noktasının dayanımında esas metal belirleyicidir.	ÇYTHYE, 2016, Bölüm 13.2.6
Kaynak eksenine dik basınç	Düğüm noktasının dayanımında esas metal belirleyicidir.	ÇYTHYE, 2016, Bölüm 13.2.6
Kaynak eksenine paralel çekme ve basınç	Kaynak eksenine paralel çekme ve basınç etkilerinin düğüm noktası tasarımında gözönüne alınmasına gerek yoktur.	ÇYTHYE, 2016, Bölüm 13.2.6
Kesme	Düğüm noktasının dayanımında esas metal belirleyicidir.	ÇYTHYE, 2016, Bölüm 13.2.6
KISMİ PENETRASYONLU KÜT KAYNAKLAR		
	Esas Metal	İlave Metal
Kaynak eksenine dik çekme	$\emptyset = 0.75$ $\Omega = 2.0$ $F_{nBM} = F_u$	$\emptyset = 0.8$ $\Omega = 1.88$ $F_{nw} = 0.6 F_E$
Kolonlar hariç mesnetlere oturan basınç birleşimleri	$\emptyset = 0.9$ $\Omega = 1.67$ $F_{nBM} = F_y$	$\emptyset = 0.8$ $\Omega = 1.88$ $F_{nw} = 0.6 F_E$
Mesnetler dışında düzenlenen basınç birleşimleri	$\emptyset = 0.9$ $\Omega = 1.67$ $F_{nBM} = F_y$	$\emptyset = 0.8$ $\Omega = 1.88$ $F_{nw} = 0.9 F_E$
Kesme	Genel kurallara göre hesap yapılacaktır.	$\emptyset = 0.75$ $\Omega = 2.0$ $F_{nw} = 0.6 F_E$
KÖŞE KAYNAKLAR		
	Esas Metal	İlave Metal
Tüm gerilme halleri için	Genel kurallara göre hesap yapılacaktır (ÇYTHYE, 2016, Bölüm 13.4'e göre)	$\emptyset = 0.75$ $\Omega = 2.0$ $F_{nw} = 0.6 F_E$

1.1.3.3.2. Basınç Kaynakları

Basınç kaynağı; kaynak yapılacak elemanların plastik kıvama gelene kadar ısıtılıp basınç uygulanması sonucu birleşim yapılması olarak adlandırılmaktadır. Genellikle hafif çelik yapılarında kullanılmaktadır (Deren ve ark., 2008).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ahn ve ark.(2017), yaptıkları çalışmalarında köprülerde korozyon sonucunda somun bağlantılarındaki kesit hasarını gözönüne almak için, yüksek mukavemetli bulonlu-somunlu, sürtünme kuvvetiyle yük aktaran numuneler imal edilmiş ve somun parçalarında korozyon hasarı elde etmek için somunlar yapay olarak manuel kesme aletleri kullanılarak kesit kaybına uğratılmıştır. Deney sonucunda bağlantı levhalarını sıkıştıran basınç kuvveti bulon bağlantı elemanlarında kesit kaybı arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir. Köprülerde azalan bu sıkıştırma kuvvetinin önemli sorunlara yol açtığını tespit edilmiştir.

Ateş, (2008) tez çalışmasında bulonlu birleşimlerde, uygulanan kuvvetler altında, bulonlara gelen kesme kuvvetlerinin dağılımı incelenmiştir. Bu incelemede yardımcı olarak SAP 2000 V11.0.0 paket programı kullanılmıştır. Tek tesirli ve çift tesirli birleşimleri SAP2000 programında modellemiştir. Bu modellerde bulonlar tek sıra ve iki sıra olarak yerleştirilmiş, çeşitli adette bulon kullanılmıştır. Farklı bulon ara mesafeleri kullanarak yeni modeller oluşturmuştur. Oluşturulan modellere kuvvet uygulanarak bulonlara gelen gerilmeler belirlenmiştir. Modelleme sonucu bulunan hesaplarla teorik olarak yapılan hesaplar karşılaştırılmıştır. Bu tez çalışmasıyla bulonlar arası mesafelerin değişmesiyle oluşan kesme kuvvet dağılımındaki farklılıklar araştırılmıştır. Bulonlar arası mesafenin artmasıyla uçlardaki bulonlara gelen kesme kuvvetlerinin arttığı, ortalandakilerde ise azaldığı görülmüştür.

Coşkan, (2011) yaptığı tez çalışmasında, betonarme binalarda oluşan üniform korozyonun deprem performansına etkisini incelemiştir. Örnek bir binanın tasarımını dikkate alarak oluşabilecek korozyon oluşumlarını açıklamıştır. Yürürlükte olan yönetmeliklere göre pushover (statik itme) analizleri yapmıştır. Yapılan analizlerle farklı korozyon miktarları sonucu oluşan deprem davranışları bulunmuştur. Farklı seviyelerde oluşan deprem davranışları karşılaştırılmış ve korozyonun bina davranışını olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir. Korozyonun yaygınlığı, etkime süresi ve hızı arttıkça binada hasar durumunun arttığı belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda bulunan değerlerin de mevcut binalarda korozyon oluşumunun olumsuz etkisine karşı yapılacak onarım güçlendirme çalışmalarında kullanılması önerilmektedir.

Coşkan ve Yüksel (2013) yaptıkları çalışmada, korozyona uğramış donatılara sahip betonarme çerçevesel yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını teorik olarak incelemiştir. Çalışmada korozyonsuz durum referans kabul edilerek, seçilen 3 katlı 3

açıklıklı bir çerçeve sisteminin, farklı seviyelerde korozyon olması durumunda yapısal çözümlenmeleri yapılmıştır. Kesit analizi ve statik itme analizi incelenmiştir. Analiz sonucunda, korozyonsuz referans durum beklendiği üzere en iyi senaryo olmuştur. Senaryonun özelliğine göre, taban kesme kuvveti düzeyinde önemli düşüşler gözlenmektedir. Özellikle en elverişsiz durumda (tüm kesitlerde $4 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ hızında korozyon olması durumu) taban kesme kuvvetinde %35 oranında düşme meydana gelmektedir. 10 yıllık korozyona uğrama sürecinde en az %35 oranında taban kesme kuvvetinde azalma oluşacağı belirlenmiştir.

Çalı (2016) tez çalışmasında 3 farklı çapta inşaat çeliği farklı sürelerde sıvı alüminyum alaşımı içine daldırılmış ve sürelerle ilgili olarak üzerlerinde farklı kalınlıkta koruma tabakası meydana gelmiştir. Korozyon oluşum ve hızını incelemek amacıyla kaplama yapılmayan numuneler ile kaplama yapılan numuneler %3.5'lik NaCl çözeltisine konulmuştur. Deney sonunda malzemeler incelendiğinde kaplanmış malzemelerde korozyon meydana gelmez iken kaplanmamış malzemelerde ciddi miktarlarda korozyon tespit edilmiştir. Korozyondan korunmak için kaplamanın önemli bir faktör olduğu bulgusu tespit edilmiştir.

Demirtaş (2008), yaptığı tez çalışmasında önceki yönetmeliklere göre imal edilmiş $700 \times 700 \times 500$ mm boyundaki temel üzerine konsol kolonlar imal etmiş, C12 ve S220 donatı kullanmıştır. Beton üretiminde beton içersine CaCl_2 ilave edilmiş ve daha sonra hızlandırılmış korozyona maruz bırakılmıştır. Kolonlar etrafına sünger sararak ve bu süngerler ıslatılarak çözelti içinde olduğu varsayımı yapılmıştır. Donatılar güç kaynağına bağlanarak elektrik akımı verilmiş ve elektron akımı yaratılmıştır. Korozyon oranları fazla olan numunelerde dayanım kayıplarının daha fazla meydana geldiği ve kalıcı yer değiştirmelerinde daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Han ve ark.(2014) yaptıkları çalışmada, beton dolgulu çelik dairesel kolonların klorit korozyonu etkisindeki davranışını incelemişlerdir. Deneysel çalışmada 11 adet beton dolgulu çelik dairesel kompozit kolon ve 6 adet referans boş çelik dairesel kolondan oluşan toplam 17 adet numune denenmiştir. Çalışmadaki temel parametreler korozyon koşullarıdır (korozyonsuz, tamamen korozyonlu ortamda ve yarı korozyonlu ortamda). Deney sonucunda korozyonun beton dolgulu dairesel çelik kolonların ve içi boş dairesel çelik kolonların taşıma gücü dayanımı üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. İçi boş çelik dairesel kolonlar ile karşılaştırıldığında beton dolgu, dairesel çelik kolonlarda korozyon etkisini önemli ölçüde hafifletebilmektedir.

İnci (2011), yaptığı tez çalışmasında enkesitleri 200 mm x 300 mm ve yüksekliği 1390 mm olan konsol betonarme kolonlar kullanarak bu kolonları 700 x 700 x 500 mm boyutunda bir temel üzerine oturtmuştur. Korozyonu hızlandırmak için beton üretimi sırasında beton içerisine çimento ağırlığının %4'ü oranında CaCl_2 çözültisi (çimento ağırlığı: 384.4 kg, CaCl_2 : 14.8 kg) ilave edilmiştir. Deneysel çalışmada 2 farklı durum için, yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi elde etmiştir. C0 numunesi korozyonun olmadığı durumu, C4 numunesi yüksek seviyede korozyon durumunu temsil etmektedir. Deney sonucunda C4 numunesinin donatılarının C0 numunesinin donatılarına göre önemli ölçüde korozyona uğramış olması nedeniyle donatıda oluşan kesit kaybına bağlı olarak dayanım ve yer değiştirme kapasitesinin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Numunelerde göçme; C0 numunesinde %8 öteleme oranına yükleme yapılırken, C4 numunesinde ise %2 öteleme oranına yükleme yapılırken donatı kopması şeklinde gerçekleşmiştir. İki numune arasında görülen büyük fark, mevcut yapıların deprem güvenliğinin incelenmesi sırasında, donatı korozyonunun gerçekçi şekilde dikkate alınmasının son derece önemli olduğunu göstermektedir.

Saad-Eldeen ve ark. (2014), üniform düşey yük etkisindeki korozyona uğramış kutu kesitli çelik kirişlerin deneysel ve sonlu elemanlar analizini gerçekleştirmişlerdir. Korozyon hasarını tanımlamak için 2 model kullanılmıştır, bunlar; ortalama genel korozyon kalınlık azaltması ve korozyona uğramış levhaların gerçek kalınlığıdır. Bu çalışmada, korozyonun eğilme rijitliğine etkisini göz önünde bulundurmak için yeni bir gerilme-şekil değiştirme bağıntısı geliştirilmiştir. Mevcut gerilme-şekil değiştirme modelleri kullanılarak gerçekleştirilen sonlu eleman sonuçları, yeni geliştirilen bağıntı ve ciddi şekilde korozyona uğramış kutu kesitli kiriş deneylerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve önerilen bağıntının sonuçlarla iyi bir uyum gösterdiği görülmüştür.

Wu ve ark. (2017), çelik kirişlerde korozyondan oluşacak hasarları belirlemek için South China Üniversitesi'nde deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneylerde I profilinden teşkil edilen kirişler: mesnet levhası uzunluğu 80 mm olan 6 numune ve mesnet levhası uzunluğu 160 mm olan 5 numune olmak üzere toplamda 11 adet numunedir. Parametreler; korozyon şekli (gövde korozyonu, başlık korozyonu), korozyon uzunluğu (100 mm, 200 mm, 300 mm) korozyon kalınlığı (4 mm, 6 mm)'dir. Deney sonuçlarına göre korozyona uğramış gövde kısımları daha fazla şekil değiştirme göstermiş genel olarak kirişlerde başlık kısmı gövdeye göre daha fazla şekil değiştirmiştir. Gövdede korozyon kalınlığı arttığında nihai yükün önemli ölçüde azaldığı kanıtlanmıştır.

Xu ve ark.(2016), tuzlu ortamın küt kaynak üzerindeki mekanik ve yüzeyindeki morfolojik değişimleri incelemişlerdir. Boyutları 2000x200x10 mm olan 2 levha orta kısmından küt kaynak ile birleştirilmiş ve 25 adet parçaya bölünerek deney numunelerinin boyutları 400x80x10 mm olarak elde edilmiştir. NaCl solüsyonu kaynak bölgelerine püskürtülerek korozyon oluşumu sağlanmıştır. Genel olarak çukur korozyon oluşumu meydana gelmiştir. Deney sonucunda korozyon olan kısımlarda malzeme kaybından dolayı gerilme yığılmaları meydana gelmiş ve bu bölgelerde kesme gerilmeleri önemli derecede azalmıştır.

Yüksekova (2011), yaptığı tez çalışmasında çelik birleşim elemanlarında bulonlu bağlantıları ve birleşim detaylarını incelemiştir. Çelik yapıların içyapısını araştırmış ve çelik kullanımının avantaj ve dezavantajlarından bahsetmiştir. Bulonlu birleşimlerin gerilme dağılımları hakkında bilgi verilmiştir. Bulonlu bağlantılarda kesme gerilmesi basınç gerilmesi ve moment etkisi altında çözüm yapılması için gerekli formüller verilmiştir. Bağlantı elemanlarında yapılan diğer çalışmalar incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

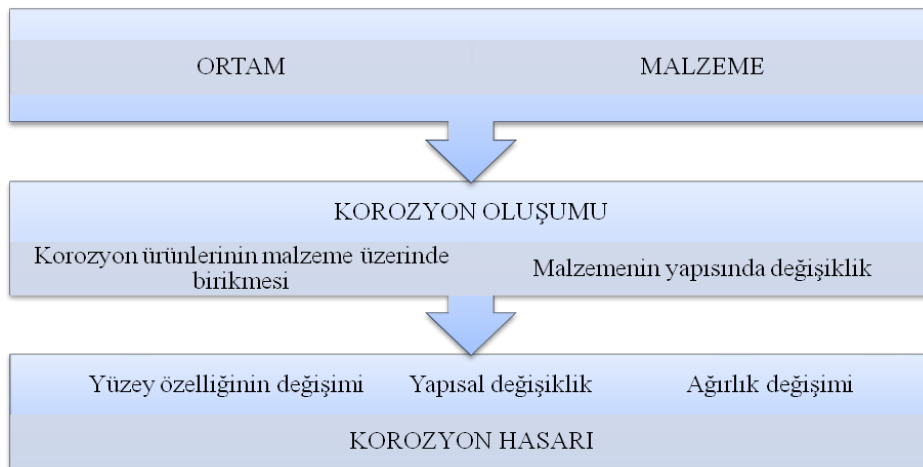
3. KOROZYON

Yapısal çelik elemanlar inşaat sektörü için yüksek dayanımlı ve sağlam bir yapıda olmasına rağmen diğer yapı elemanları gibi zamanla bünyesinde bozulmalar meydana gelebilmektedir. Bünyesinde meydana gelen bozulmalardan en önemlisi korozyon hasarıdır. Korozyon hasarının hem fiziksel hem kimyasal bir değişim olması oluşacak hasarın önemini vurgulamaktadır. Korozyon, metallerde kütle kaybına sebebiyet vererek dayanımda ve kullanım ömründe azalma meydana getirmekte ve oluşan kimyasal reaksiyonlarla da malzemenin özelliklerini değiştirebilmektedir.

En genel tanımıyla korozyon, metallerin çevresel etkilerle etkileşime girerek bünyesinde fiziksel ve kimyasal değişikliklerin oluşmasıdır. Korozyon metallerin kimyasal veya elektrokimyasal olarak aşınmaları ve doğada buldukları bileşiklere dönüşme eğilimleridir (Gedikli, 2004).

3.1. Korozyonun Önemi

Korozyon olayı oluştuğundan sonra doğrudan veya dolaylı zararları olmaktadır. Korozyonun oluşumu ve hasara uğratma süreci Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Korozyonun doğrudan oluşturduğu zararlar arasında, korozyon maliyeti ve sağlık açısından zararları gösterilebilir. Tasarım aşamasında belirlenen dayanım ve kullanım amacını karşılayamayacak şekilde korozyona uğramış taşıyıcı elemanların yenileri ile değiştirilmesi ilave bir maliyet ortaya çıkarmaktadır. Yenileme işlemi aynı zamanda hammadde rezervlerinin azalmasını hızlandırmaktadır (Gedikli, 2004).



Şekil 3.1. Korozyon hasarının oluşum süreci

Korozyona karşı dirençli malzeme kullanımı, korozyonu önlemek için yüzey malzemeleri kullanma, korozyon etkisini azaltmak için kullanılan kimyasal maddeler ve korozyona uğramış elemanları değiştirmek veya korozyon miktarının tahminiyle çelik elemanların et kalınlığını arttırmak korozyon maliyetlerini oluşturmaktadır. Korozyon sonucunda yükleri taşıyamayacak hale gelen yapısal çelik elemanların değiştirilmesi, delinen çelik depoların yenilenmesi, hasar görmüş su borularının değiştirilmesinin yanısıra depo ve boru hatları içinden taşınan ürünle temas halinde ürünü kirletmesi de korozyonun önemli zararlarından. Gıda ve ilaç sanayisinde ise korozyonun bu ürünlerle temas haline geçmesi de insan sağlığı için zararlı etkileridir (Doruk, 2014).

Korozyon sebebiyle oluşan ekonomik kayıpların bir ülkenin gayri safi milli hasılasının (GSMH) %3.5 ile %5'i arasında olduğu yeni yapılan araştırmalarda %6'ya kadar çıktığını belirtilmektedir (Doruk, 2014). Korozyon atıklarının geri kazanılabilirliğinin sektörlere göre dağılımı Çizelge 3.1.de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Korozyon kayıplarının sektörlere göre geri kazanılabilirlikleri (Doruk, 2014)

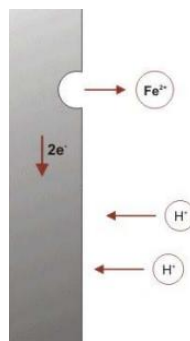
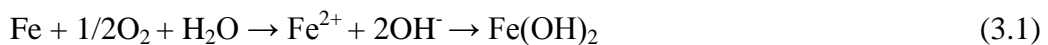
Endüstri Dalı	Geri Kazanabilirlik %
Yapı ve İnşaat	20
Gıda	10
Genel Mühendislik	32
Deniz	20
Metal İzabe ve Yarı Üretim	13
Petrol ve Kimya	8
Taşımacılık	29
Su Temini	16
Enerji	42

Korozyondan korunabilmek için korozyonun ve oluşum mekanizmasının bilinmesi önemlidir. Sulu ortamda oluşan bozulmalar elektrokimyasal korozyon, metal ve alaşımlarının oksitlenmesi ise kimyasal korozyon olarak tanımlanmaktadır (Doruk, 1982). Korozyon oluşumu genelde elektrokimyasal olaylarla meydana gelmektedir. Metal elektriği ileten bir ortamda ise elektrokimyasal korozyon oluşmaktadır. Korozyon hücrelerinde bir anot bir katot olmak üzere 2 adet elektrot elektrolit olarak adlandırılan elektriği ileten sıvı içerisinde bulunmaktadır. Bu sıvı içerisinde oluşan elektrokimyasal

olayda elektron alışverişi meydana gelmekte, elektrik üreten ve elektrik tüketen olmak üzere iki farklı tepkime oluşmaktadır (Taze, 2003). Metal üzerinde bulunan anot bölgesi elektron kaybederek ve çözünerek korozyona uğramaktadır (Doğan, 2006).

3.2. Korozyon Oluşumu

Korozyon metal elemanın çevresel etkiler ile etkileşime girerek bünyesinde oluşan fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda yapısının bozulması olarak adlandırılabilir. Metaller normal kullanım ortamlarında bile kolaylıkla korozyona uğrayabilmektedirler. Bunun temel nedeni metallerin sahip oldukları kararlı yapıya dönme eğilimindedir. Madenlerden çıkartılan metal oksitler fırınlarda oksitlerinden ayrılmak için yüksek miktarda ısı verilerek kararsız hale dönüştürülmektedirler. Bu fazla enerji daha sonra korozyon reaksiyonları için itici güç olmaktadır. Korozyon reaksiyonları başladığında depolanan fazla enerji boşa çıkar ve metaller ilk hallerine yani oksitli hallerine dönmeye başlarlar (Topal, 2016). Metallerin gaz ortamları içinde korozyona uğraması kimyasal bir olay olarak adlandırılmaktadır. Sulu ortamlarda oluşan korozyon ise elektrokimyasal korozyon olarak adlandırılmaktadır. Metaller su içindeki çözülmüş havanın oksijeni ile etkileşime geçerek tepkimeye girer ve çözünürler. Tepkime sonucu oluşan demir iyonları su ve oksijenle birlikte demir hidroksiti meydana getirmektedirler (Denklem 3.1 ve 3.2). Metal içinde korozyon oluşumu Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Metal içinde elektron akışı

Korozyon hızı, elemanda oluşan birim elemandaki kütle kaybı olarak belirlenmektedir ($\text{g/m}^2\cdot\text{yıl}$). Kütle azalması yönteminde, oluşan korozyon elemanda oluşan kütle azalması olarak da tanımlanabilmektedir (Gedikli, 2004).

Korozyon oluşum hızı tahminleri için ve korozyondan korunma yöntemlerini uygulamak için bölgenin coğrafi yapısı ve hava şartlarının da iyi bilinmesi gerekmektedir (Çakır, 1990). Korozyon oluşum hızınının 10 yıllık deney sonucunda bölgelere göre değişimi Çizelge 3.2' de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Çeşitli metal alaşımların, 10 yıllık deney sonunda farklı hava şartlarındaki aşınma miktarları ($\mu\text{m/yıl}$) (Yalçın ve Koç, 1991)

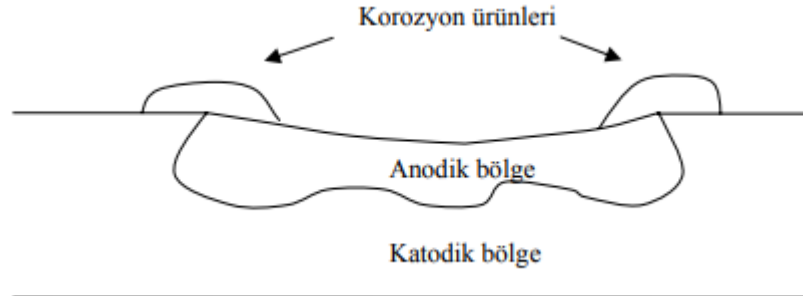
Metal Cinsi	Atmosfer		
	Endüstriyel	Deniz	Kırsal
Alüminyum	0,81	0,71	0,025
Bakır	1,19	1,32	0,58
Kurşun	0,43	1,41	0,48
Çinko	5,13	1,6	0,86
Metal Çeliği	13,72	6,35	5,08
İklim Çeliği	2,54	3,81	1,27

Metal elemanlar korozyona uğradıktan sonra üzerinde oluşan bileşikler korozyon ürünleri (pas) olarak tanımlanmaktadır. Korozyon olayı meydana geldikten sonra malzemenin ısıl genleşme katsayısı farklılık gösterdiği için malzemede oluşan genleşme sonucu üzeri pullanır ve bu pullar dökülmeye başlar. Bu dökülmeden sonra asıl metal malzeme açığa çıkar ve tekrar bu yüzeyde korozyon olayı başlar ve korozyon bu döngü ile devam etmektedir. Korozyon oluşan bir malzemenin üzerinde oluşan pası temizlemek korozyonu hızlandıran bir işlem olmaktadır. Metal bir malzemenin oksijenle tepkimeye girmesinin en temel gösterimi Denklem (3.3)'te görülmektedir (Doğan, 2006).



Korozyon oluşumunun geneli elektrokimyasal olaylarla meydana gelmektedir. Metal elektriği ileten bir ortamda ise elektrokimyasal korozyon oluşmaktadır. Korozyon hücresinde bir anot bir katot 2 adet elektrot bulunmaktadır. Bu iki elektrot elektrolit olarak adlandırılan elektriği ileten sıvı içerisinde bulunmaktadır. Bu sıvı içerisinde

oluşan elektrokimyasal olayda elektron alışverişi meydana gelmektedir. Elektrik üreten ve elektrik tüketen olmak üzere iki farklı tepkime oluşmaktadır. Metal üzerinde bulunan anot bölgesi elektron kaybederek çözünerek korozyona uğramaktadır. (Taze, 2003).



Şekil 3.3. Metal üzerinde korozyon oluşumu (Doğan 2006)

Metallerde korozyon sonucu oluşan kütle kaybı Faraday Kanunu ile hesaplanabilmektedir (Denklem 3.4).

$$M = \frac{I \cdot t \cdot A_w}{n \cdot F} \quad (3.4)$$

Burada,

M : Çözünmüş metalin kütlesi

I : Akım (A)

t : Zaman (sn)

A_w : Demir atom birim ağırlığı

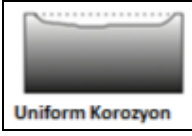




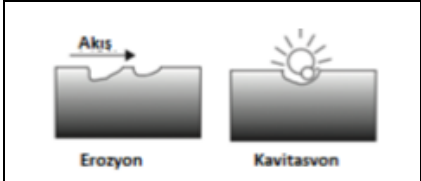
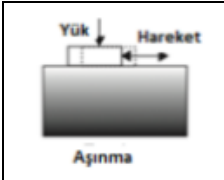
n : Demir atom değerliliği (Oluşan pas genelde $Fe(OH)_2$ olduğu için n: 2 veya 3 alınır)

F : Faraday sabiti (96500 coulomb)

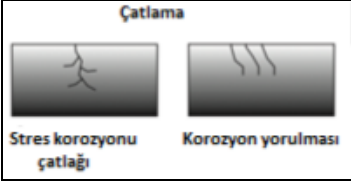
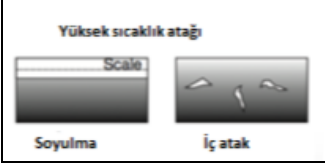
3.3. Korozyon Türleri

Korozyon oluşum mekanizmalarının buldukları ortamın farklılık göstermesi sebebiyle malzemede gösterdiği korozyon oluşum önem derecesi de her korozyon türü için birbirinden farklıdır. Korozyonun başlıca çeşitleri şunlardır; üniform korozyon, çukur-çatlak korozyonu, galvanik korozyon, taneler arası korozyon, seçici korozyon, hız etkili korozyon, aşınma korozyonu ve yüksek sıcaklık korozyonu (Doruk 1982).

Çizelge 3.3. Başlıca korozyon türleri (Hihara, 2014) ve tanımı (Topal, 2016).

a) Üniiform korozyon	
 <p>Uniform Korozyon</p>	Genel olarak tüm malzeme yüzeyinde eşit bir hızda gerçekleşen korozyon olarak tanımlanabilmektedir (Topal 2016).
b) Çukur, çatlak korozyonu (lokal korozyon)	
 <p>Çukur Korozyonu Çatlak Korozyonu</p>	Sadece belirli bir bölgede meydana gelen korozyon olarak tanımlanabilir (Topal, 2016).
c) Galvanik Korozyon	
 <p>daha değerli daha az değerli Galvanik Korozyon</p>	Bu korozyon genellikle bir elektrolit ortamda, birbirine benzemeyen iletkenlerin aralarında meydana gelen, elektriksel iletkenliğe bağlı olarak oluşan temasın meydana getirdiği korozyon olarak tanımlanabilir (Topal 2016).
d) Taneler arası korozyon	
 <p>Taneler arası</p>	Metal malzemenin iç yapısındaki atomlar arasında meydana gelen korozyondur (Topal 2016).
e) Seçici Korozyon	
 <p>Tabaka Tapa Seçici korozyon</p>	Alaşım malzemesinin iç yapısındaki bileşimlerin çözünmesi sonucu meydana gelen korozyondur (Topal 2016).
f) Hız etkili korozyon (erozyon-kavitasyon)	
 <p>Akış Erozyon Kavitasyon</p>	Bir akışkan içerisinde meydana gelen korozyon çeşididir. Akış durumuna göre farklı şekillerde oluşur. Akışın hızlı seyrettiği bölümlerde erozyon korozyonu, daha yüksek hızlarda seyrettiği bölümlerde ise kavitasyon korozyonu meydana gelir (Topal 2016).
g) Aşınma korozyonu	
 <p>Yük Hareket Aşınma</p>	Yük altında meydana gelen bu korozyonda, temas halindeki yüzey ile yük arasında meydana gelen titreşimlerin yol açtığı kayıplara, aşınma korozyonu adı verilmektedir (Topal 2016).

Çizelge 3.3. devamı. Başlıca korozyon türleri (Hihara, 2014) ve tanımı (Topal, 2016).

h) Çatlak Korozyonu	
	Farklı isimlerde oluşan bu korozyon türleri genellikle mekanik olayların etkisi altında çatlak oluşumuyla meydana gelmektedir (Topal 2016).
1) Yüksek Sıcaklık Korozyonu	
	İki farklı durumda meydana gelen bu korozyon yüksek sıcaklıktan kaynaklanan korozyonlar olarak bilinmektedir (Topal 2016).

3.4. Yapı Çeliği İşleri Teknik Şartnamesinde Korozyona Karşı Alınacak Önlemler

Türk Yapısal Çelik Derneği tarafından hazırlanmış olan Yapı Çeliği İşleri Teknik Şartnamesi (YÇİTŞ-2007)'deki 10. ve 11. bölümde korozyondan korunma hazırlığı ve korozyondan korunma yolları açıklanmıştır. Yapının kullanım ömrü bir yılı aşmıyorsa, ihmal edilebilir koroziviteye sahip bir ortamda ise, mekanik dayanım ve stabilite açısından korozyondan koruma için özel bir tedbir alınmasına gerek bulunmamaktadır. Korozyon koruması gerekmediğinden korozyon hazırlığı yapılmasına da gerek yoktur. Yapı çeliği işleri teknik şartnamede korozyondan koruma sistemleri boyanacak yüzeyler, sıcak daldırma galvanizleme ve ısı püskürtme olarak ayrılıp anlatılmaktadır.

3.4.1. Yüzey hazırlıkları

3.4.1.1. Boya öncesi yüzey hazırlığı

Projede farklı bir durum gösterilmemiş ise boyanacak kısım kumlama yapılarak aşındırılmaktadır. Kumlama yapılma öncesinde yüzeyde bulunan yabancı maddeler kimyasal temizlik malzemesi veya basınçlı su yardımıyla temizlenmelidir. Yüzey kısmı yabancı maddelerden temizlenirken bağıl nem oranı %80 veya daha altında olmalıdır. Yabancı maddeler temizlendikten sonra TS EN ISO 8501-1 de belirtildiği gibi kumlama yapılmalıdır. Kumlama işlemi süresi 1,5 saat ile 4 saat arasında olmasına özen

gösterilmelidir (YÇİTŞ, 2007). Korozyona karşı yapılacak uygun bir boya işlemi boya öncesi yapılacak olan yüzey hazırlığıyla doğrudan etkilidir. Yüzey üzerindeki yabancı maddelerin temizlenmesinin ve boya ile yüzey arasındaki bağın güçlü olmasının korozyondan korunmak için en önemli etken olduğu bilinmektedir (Çakır, 1996).

3.4.1.2. Galvaniz öncesi yüzey hazırlığı

Galvaniz kaplama yapılacak yüzeylerde kumlama yapılmasına gerek yoktur. Galvanizleme öncesi yüzey temizliği yapılması yeterli bulunmaktadır (YÇİTŞ, 2007).

3.4.1.3. Termal püskürtme öncesi yüzey hazırlığı

Termal püskürtme yapılacak elemanların yüzeylerini hazırlamak için TS EN 13507 göz önüne alınmaktadır.

3.4.1.3. Uzay kafes sistemleri için yüzey hazırlığı

Uzay kafes sistem elemanları yağ alma banyosunda 60°C -70°C arasında 5 ila 10 dakika arasında bekletilir ve arkasında Ph derecesi 6,9 olan banyoda 2 dakika bekletilerek durulama işlemi yapılır. Üzerlerinde bulunan pas gibi maddeler temizlenip metal rengi gözükeneye kadar 60°C deki asit banyosunda bekletilir. Tekrar durulama işlemi için Ph derecesi 6,9 olan banyoda 2 dakika bekletilmeye bırakılır. Uzay kafes elemanları ortalama Ph 5 olan banyoda 0,5 dakika ile 2 dakika arasında bekletilerek pasivasyon işlemi uygulanmaktadır. Pasivasyon işlemi sonrası elemanlar 120°C de 30 ila 45 dakika arası bekletilerek kurutulur ve kuru hava yardımıyla daha sonra yüzeye yapışması muhtemel toz taneleri uzaklaştırılır (YÇİTŞ, 2007).

3.4.2. Korozyondan koruma

Yağı Çeliği İşleri Teknik Şartnamesinin 11. bölümünde korozyondan korunma için 3 yöntemden bahsedilmektedir.

- ◆ Boya
- ◆ Sıcak daldırma galvanizleme
- ◆ Termal püskürtme

3.4.2.1. Boya

Metal malzemesinin bulunduğu ortam koşullarına göre boya sistemi seçilir. Boya sistemlerinin korozyona dayanıklılık süreleri üç kategoriye ayrılmıştır. Bunlar,

- ◆ L - düşük dayanım (2-5 yıl)
- ◆ M- Orta dayanım (5-10 yıl)
- ◆ H- Yüksek dayanım (10-15 yıl)

Korozyon dayanımına göre boya sistemi seçildikten sonra izlenecek aşamalar şu şekildedir;

- ◆ Yüzey hazırlığı seçimi
- ◆ Astar boyanın kat sayısı ve astar boya uygulama cinsi
- ◆ Performans deneyleri uygulanması

Çelik birleşimlerinde bulunan keskin yüzeylere sahip yerler boyanması zor olan kapalı alanlar önceden boyanmalı, keskin yüzeylerde önceden kestirme işlemi yapılmalıdır. Boyama işlemi yapılırken özen gösterilmeli ve akma ve damlamaların oluşmasından kaçınılmalıdır. Kaynak dikişleri, keskin yüzeyler ve kenar kısımlar kesinlikle boyanmalıdır. Boya yapılırken ara katlar atılması sırasında katlar arasında belirlenen süreler uyulmalıdır. Ayrıca, uygulanması gereken boya kalınlığına dikkat edilmelidir. Yağmur ve kar yağışı sırasında, tuzlu ortamlarda, metal yüzeylerde yoğunlaşma sebebi ıslaklık bulunuyorsa ve rüzgar hızı 24 km den fazla ise boya işlemi yapılmamalı ve ertelenmelidir (YÇİTŞ, 2007).

3.4.2.2. Sıcak daldırma galvanizleme

Metal malzemelerin yaklaşık 450°C sıcaklıkta bulunan erimiş çinko dolu banyoya daldırılması ile metal yüzeyine çinkonun yapışması ve malzemenin korozyona karşı direnç sağlaması işlemi sıcak daldırma galvanizleme olarak adlandırılmaktadır.

Galvanizleme işlemi kalınlığı TS EN 2808'e göre yapılmalı ve EN ISO 19840 veya TS EN ISO 12944-5'e göre kontrol edilmelidir. Galvaniz kaplama kalınlığı ise TS 914 EN ISO 1461 Ek-C kullanılarak belirlenmektedir. Yapı elemanlarında cıvatalar 10 mikron, somunlar 50 mikron, küreler ise 15-20 mikron arası galvaniz kaplama ile kaplanmaktadır (YÇİTŞ, 2007).

3.4.2.3. Termal püskürtme

Termal püskürtme işlemi için çinko/alüminyum oranı TS EN ISO 14922-1'e göre veya 17/3 oranında alaşım olmalıdır. Termal püskürtme işlemi yapılan yüzeyler metal parçalar soğuduğu anda örtücü bir astar tabakayla kaplanır ve tabaka üzerine yapılacak boya işlemleri ile bağdaır Şekilde olmalıdır. Termal püskürtme kalınlığı ve boya kalınlığı EN ISO 19840'a uygun yapılmalıdır (YİT, 2007).



4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, kullanımda olan çelik yapıların birleşim bölgelerinde ve çelik elemanlarda atmosferik ve diğer çevresel koşullar altında oluşabilen ve gözlemlenen korozyon hasarının bu yapı elemanlarını ve birleşim bölgelerini temsil edecek biçimde oluşturulan deney numunelerinde uygulaması ve oluşan hasarın neden olduğu dayanım kaybının tespit edilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar sunulmaktadır.

Kullanımda olan çelik elemanlarda gözlemlenen korozyon hasarlarına taşıyıcı eleman gövde ve başlık bölgeleri dışında genellikle bulonlu birleşim bölgeleri gibi köşeli bölgelerde veya kaynak dikişleri ve çevresinde rastlanılmaktadır.

Bu çalışmada, korozyonun çelik yapı birleşim elemanlarına ve birleşim bölgesine olan etkisini araştırmak için hızlandırılmış korozyon uygulanmış ve korozyonsuz numuneler üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Korozyon uygulamasının, deney numunelerinin iki farklı oranda korozyon hasarına uğratılmış (uygulaması) şeklinde (hızlandırılmış korozyon) veya kesitte kesim yapılarak azaltma şeklinde (yapay korozyon) gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada belirlenen parametreler şunlardır:

- *Sadece levhalarda korozyon olması durumu (hızlandırılmış)
- *Sadece bulonlarda korozyon olması durumu (hızlandırılmış ve yapay)
- *Hem bulonda hem levhada korozyon olması durumu (hızlandırılmış)
- *Hem levhada hem kaynakta korozyon olması durumu (hızlandırılmış)

Her parametre için ikişer adet numune hazırlanmış, bunlar üzerinde aksenal çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılacak levha, bulon ve kaynak için malzeme özellikleri de belirlenmiştir. Deney numuneleri çekme kuvveti etkisinde deneye tabi tutularak numunelerin yük taşıma kapasiteleri ve davranış özellikleri belirlenip karşılaştırılmıştır.

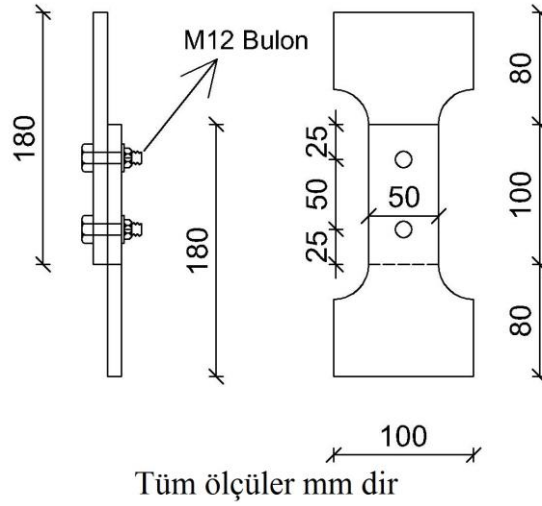
4.1. Deney Elemanları

Bu çalışmada 4 mm ve 6 mm olmak üzere S235 (St37) çeliğinden imal edilmiş 2 farklı kalınlıkta çelik malzeme kullanılmıştır. Numunelerin şekilleri, bulonların yerleştirileceği bulon delikleri, mesafeler, köşe kaynaklı birleşimlerde bindirme boyu ve

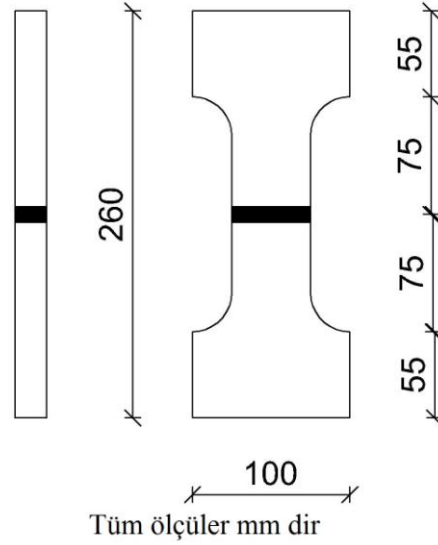
küt kaynaklı birleşimlerde kesim yerleri belirlenip AutoCAD programında çizildikten sonra özel bir firmada S235 (St37) çelik levhalardan lazer kesim ile hazırlanmıştır (Şekil 4.1). Numunelerin şematik gösterimi Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te görülmektedir.



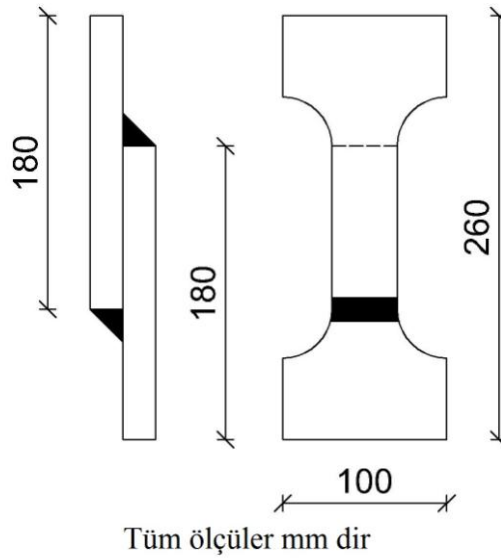
Şekil 4.1. Numunelerin lazer kesim işlemi ile hazırlanması



Şekil 4.2. Bulonlu deney numunelerinin birleşim detayı



Şekil 4.3. Küt kaynaklı deney numunelerinin birleşim detayı



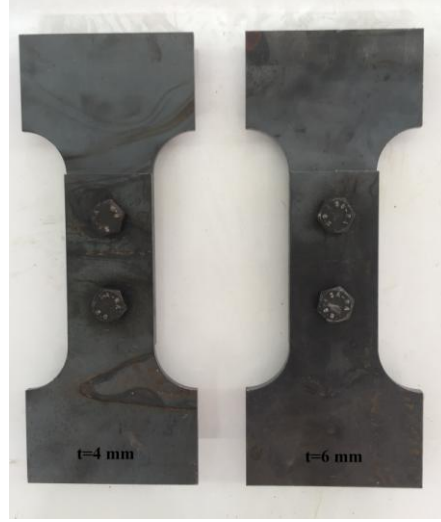
Şekil 4.4. Köşe kaynaklı deney numunelerinin birleşim detayı

4 mm kalınlığında olan levhalardan sadece levhada korozyon olması durumu için 2 adet referans (N4L-1 ve N4L-2), 2 adet düşük oranda korozyona uğrayacak (N4LD-1 ve N4LD-2) ve 2 adet yüksek oranda korozyona uğrayacak (N4LY-1 ve N4LY-2) şekilde toplam 6 adet, hem levhada hem kaynakta korozyona uğrayacak elemandan küt kaynaklı birleşime sahip numunelerden 2 adet referans (N4LKTR-1 ve N4LKTR-2), 2 adet düşük oranda korozyona uğrayacak (N4LKTD-1 ve N4LKTD-2) ve 2 adet yüksek oranda korozyona uğrayacak (N4LKTY-1 ve 4LKTY-2) şekilde toplam 6 adet, köşe kaynaklı birleşime sahip numunelerden 2 adet referans (N4LKŞR-1 ve

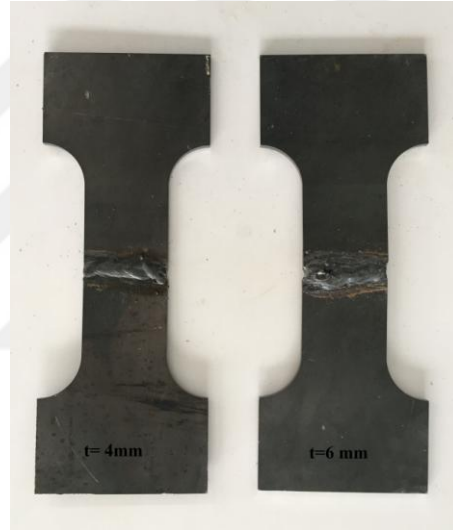
N4LKŞR-2), 2 adet düşük oranda korozyona uğrayacak (N4LKŞD-1 ve N4LKŞD-2) ve 2 adet yüksek oranda korozyona uğrayacak (N4LKŞY-1 ve N4LKŞY-2) şekilde toplam 6 adet, bulonlu birleşime sahip numunelerden 2 adet referans (N4LBR-1 ve N4LBR-2), 2 adet düşük oranda korozyona uğrayacak (N4LBD-1 ve N4LBD-2), 2 adet yüksek oranda korozyona uğrayacak (N4LBY-1 ve N4LBY-2) ve 2 adet bulonları yapay korozyona uğrayacak (N4BY-1 ve N4BY-2), sadece bulonlarda düşük oranda korozyona uğrayacak (N4BD-1 ve N4BD-2), sadece bulonlarda yüksek oranda korozyona uğrayacak (N4BY-1 ve N4BY-2) şekilde toplam 12 adet olmak üzere toplam 30 adet numune oluşturulmuştur.

6 mm kalınlığında olan levhalardan sadece levhada korozyon olması durumu için 2 adet referans (N6L-1 ve N6L-2), 2 adet düşük oranda korozyona uğrayacak (N6LD-1 ve N6LD-2) ve 2 adet yüksek oranda korozyona uğrayacak (N6LY-1 ve N6LY-2) şekilde toplam 6 adet, hem levhada hem kaynakta korozyona uğrayacak elemandan küt kaynaklı birleşime sahip numunelerden 2 adet referans (N6LKTR-1 ve N6LKTR-2), 2 adet düşük oranda korozyona uğrayacak (N6LKTD-1 ve N6LKTD-2) ve 2 adet yüksek oranda korozyona uğrayacak (N6LKTY-1 ve N6LKTY-2) şekilde toplam 6 adet, köşe kaynaklı birleşime sahip numunelerden 2 adet referans (N6LKŞR-1 ve N6LKŞR-2), 2 adet düşük oranda korozyona uğrayacak (N6LKŞD-1 ve N6LKŞD-2) ve 2 adet yüksek oranda korozyona uğrayacak (N6LKŞY-1 ve N6LKŞY-2) şekilde toplam 6 adet, bulonlu birleşime sahip numunelerden 2 adet referans (N6LBR-1 ve N6LBR-2), 2 adet düşük oranda korozyona uğrayacak (N6LBD-1 ve N6LBD-2) ve 2 adet yüksek oranda korozyona uğrayacak (N6LBY-1 ve N6LBY-2), 2 adet bulonları yapay korozyona uğrayacak (N6BY-1 ve N6BY-2), sadece bulonlarda düşük oranda korozyona uğrayacak (N6BD-1 ve N6BD-2), sadece bulonlarda yüksek oranda korozyona uğrayacak (N6BY-1 ve N6BY-2) şekilde toplam 12 adet olmak üzere toplam 30 adet numune oluşturulmuştur.

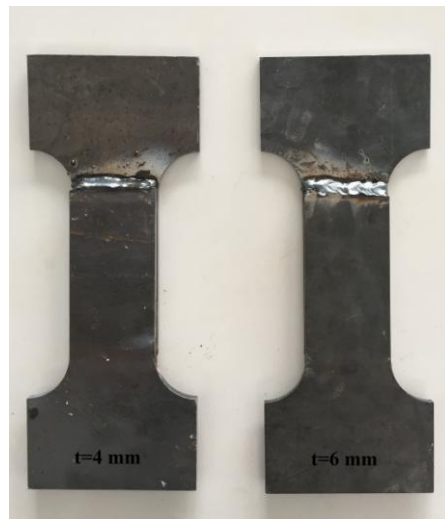
4 mm ve 6 mm kalınlığındaki levhalardan toplam 60 adet deney numunesi üretilmiş ve eksenel çekme deneyi sonucunda bu numunelerin çekme dayanımları belirlenmiştir. 4 mm ve 6 mm kalınlıktaki levhalardan hazırlanmış olan bulonlu, küt kaynaklı ve köşe kaynaklı deney numunelerinin birer örneği Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de görülmektedir.



Şekil 4.5. 4 mm ve 6 mm kalınlıkta bulonlu birleşime sahip deney numuneleri



Şekil 4.6. 4 mm ve 6 mm kalınlıkta küt kaynaklı birleşime sahip deney numuneleri



Şekil 4.7. 4 mm ve 6 mm kalınlıkta köşe kaynaklı birleşime sahip deney numuneleri

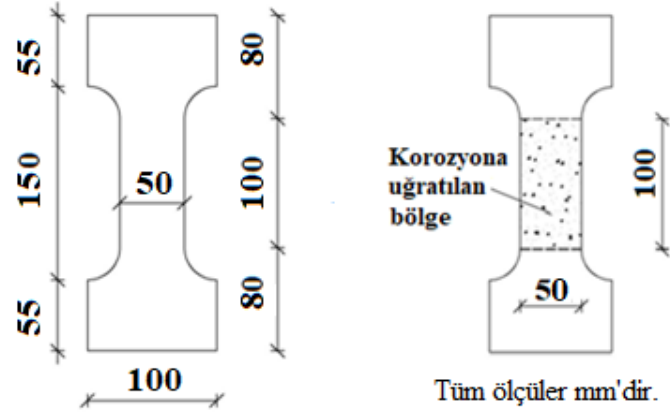
Deney elemanlarından küt kaynaklı birleşimli numunelerde, küt kaynak levhalar arası levha kalınlığının yarısı kadar boşluk bırakılarak imal edilmiştir (Şekil 4.8). Kaynak uygulamasında 3,25 mm kalınlığında 350 mm uzunluğunda TSEN ISO-2560 A standardına uygun örtülü elektrot kullanılmıştır. Köşe kaynaklı birleşimlerde kaynak kalınlığı levha kalınlığına 0,7 katı olacak şekilde uygulanmıştır. Bulonlu birleşimlerde 8.8 kalitesinde bulon kullanılmıştır ve bulonlar yuvaya yerleştirildikten sonra anahtarla somunlarda sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.



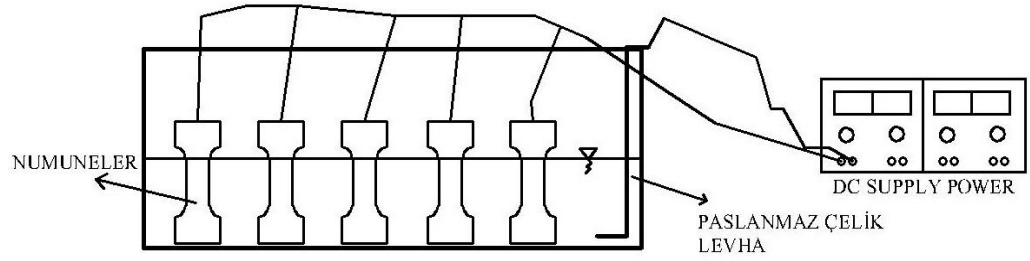
Şekil 4.8. Küt kaynak uygulama işlemi

4.2. Yöntem

Deney numunelerinde korozyona (paslanmaya) uğraması planlanan kısımlar Şekil 4.9'da, hızlandırılmış korozyon uygulama deney düzeneğinin şematik görüntüsü de Şekil 4.10'da görülmektedir. Çözelti içine konulan numunelere akım verildikten sonra çözelti ile temas eden bölgeler hızlı korozyona maruz kalacaklarından, deney numunelerinin alt kısımları su ile temas etmemesi için su yalıtım malzemesi olan aqua blocker (SMP polimer hibrid kaplama) malzemesi (Şekil 4.11) ile kaplanmıştır (Şekil 4.12). Su seviyesi 180 mm olarak ayarlandığı için üst kısımlarla suyun teması söz konusu olmamaktadır, bundan dolayı bu kısımda su yalıtım malzemesiyle kaplama işlemi yapılmamıştır. %3,5 NaCl çözeltisi 1 m uzunluğunda cam akvaryumda hazırlanmış ve numuneler bu havuz içerisinde korozyona uğratılmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.9. : Deneysel numunelerin boyutları ve korozyona uğratılan bölge



Şekil 4.10. Hızlandırılmış korozyon deney düzeneğinin şematik görünümü



Şekil 4.11. : SMP polimer hibrid kaplama



Şekil 4.12. Korozyona uğratılmayacak kısımların kaplama işlemi



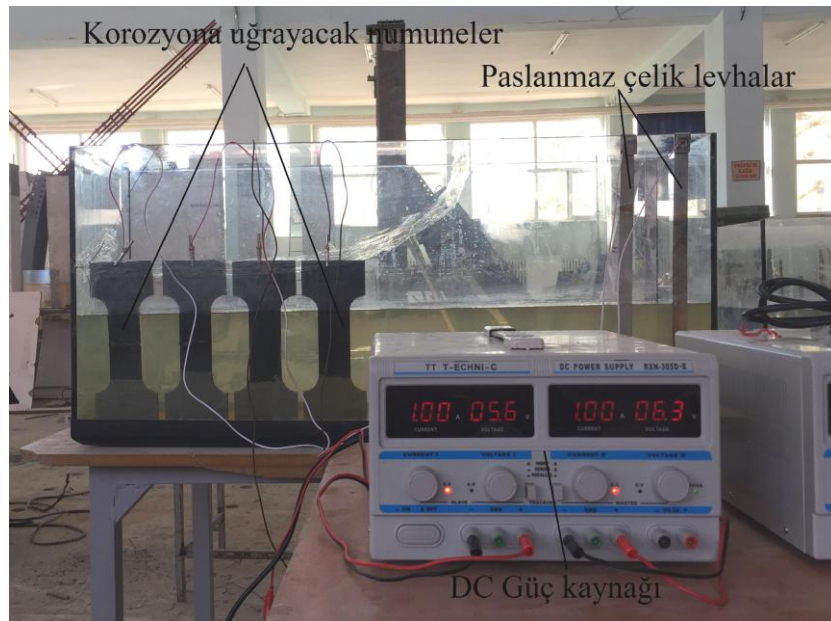
Şekil 4.13. Korozyon işleminin gerçekleştiği cam havuz

Numunelere hızlandırılmış korozyon uygulaması amacıyla gerekli elektrik akımını verebilmek için Şekil 4.14'te gösterilen DS Power Supply RXN-305-II güç kaynağı kullanılmıştır. Güç kaynağından çıkan anot kısım çelik deney elemanlarına katot kısım ise çözelti içerisine konulan paslanmaz çelik levhalara bağlanmıştır.



Şekil 4.14. DS Power Supply RXN-305-II güç kaynağı

Hızlandırılmış korozyon uygulaması için oluşturulan deney düzeneği Şekil 4.15'te görülmektedir. Deney düzeneğinde katot bölgeyi paslanmaz çelik levhalar, anot bölgeyi ise deney numuneleri oluşturmaktadır. Sabit 1 amper akım verilerek deney numunelerinden elektron akışının paslanmaz çelik levhalara doğru olması sağlanmıştır. Paslanmaz çelik levhalar Şekil 4.16'da görülmektedir. Deney numunelerinin çözelti ile temas halinde olan bölgeleri zamanla elektron kaybederek korozyona uğramakta ve kütlelerinde azalma meydana gelmektedir.



Şekil 4.15. Deney düzeneği



Şekil 4.16. Katot olarak kullanılan paslanmaz çelik levhalar

Anot bölgede bulunan numuneler ve katot bölgede bulunan paslanmaz çelik levhalar DS güç kaynağına elektrik kabloları ile bağlanmıştır. Elektrik kablosunun numunelere elektrik aktarması için numuneler ve kablolar krokodil yardımıyla birleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan krokodil ve kablo Şekil 4.17'de görülmektedir.



Şekil 4.17. Deneylerde kullanılan krokodil ve kablolar

Deneylerde hızlandırılmış korozyon uygulamasının yanı sıra yapay korozyon işlemi de uygulanmıştır. Yapay korozyon sadece bulon birleşim elemanlarında oluşturulmuş ve yapay korozyon uygulanmış bulonlar levhada açılan yuvalarına yerleştirilerek sıkıştırma işlemi uygulanmıştır. Bulonlarda yapay korozyon uygulaması avuç taşlama makinesi yardımıyla yapılmıştır (Şekil 4.18). Bulonlar dişli silindir kısımlarında 2 gram azaltılmış ve yüzeyleri düz olacak şekilde kütle kaybı oluşturulmuştur (Şekil 4.19).



Şekil 4.18. Bulonlarda yapay korozyona uğratma işlemi



Şekil 4.19. Bulonların yapay ve hızlandırılmış korozyona uğratılmış halleri

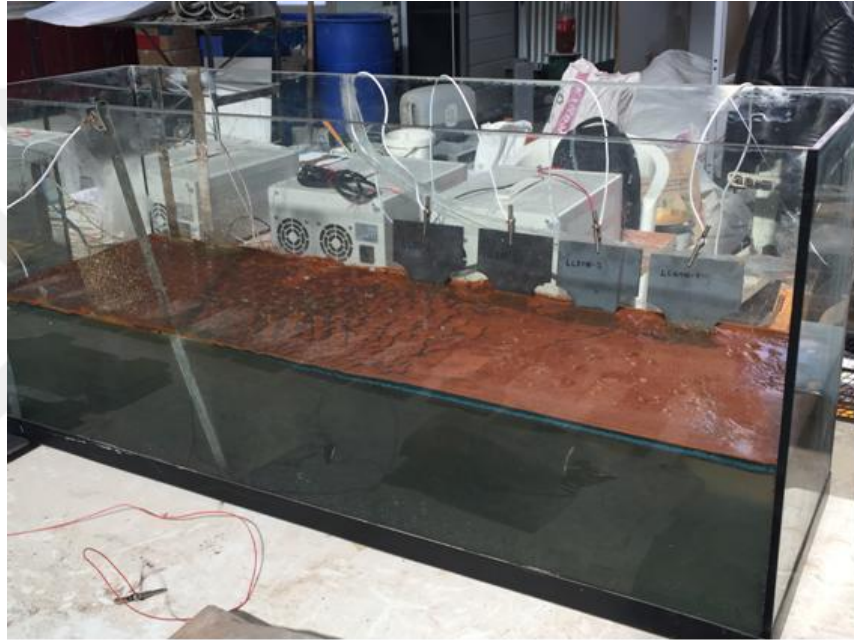
Deney numunelerine hızlandırılmış korozyon uygulaması, Konya Teknik Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri 1 metre uzunluğundaki havuzda %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde iki farklı oranda (ağırlıkça %10 ve %20) korozyona uğratılmıştır. Hızlandırılmış korozyon deneyinde, voltaj veya akım sabit tutulabilmektedir (Koçer ve ark. 2019). Bu çalışmada, deney numunelerine sabit akım uygulanmıştır. Numunelerin çözelti içinde bu korozyon miktarlarını elde etmek için gerekli olan bekletilme süreleri Faraday denklemi kullanılarak kütle kayıplarının ortalama %10 ve %20 azalacağı gün sayısı belirlenmiş ve çözelti içerisinde bekletilmiştir. DS güç kaynağı 1 amper elektrik verilecek şekilde ayarlanmıştır. Faraday denkleminde atom demir değerlik katsayısı 3 olarak alınmıştır. Numuneler çözelti içerisinde bulunduğu sürece çözelti havuzunda korozyonla beraber tortu ve pas tabakası biriktiği için belirli periyotlarda numuneler havuzdan çıkartılarak

çözelti boşaltılıp yeni bir çözelti hazırlanmış ve numuneler temizlenerek korozyon uygulamasına devam edilmiştir (Şekil 4.20).

$$M = \frac{I \cdot t \cdot A_w}{n \cdot F} \quad (4.1)$$

Burada,

M : çözülmüş metalin kütlesi, I : akım (A) (1 Amper alınmıştır), t : zaman (sn), A_w : demir atom birim ağırlığı, n : demir atom değerliliği (Oluşan pas genelde $Fe(OH)_2$ olduğu için n: 2 veya 3 alınmaktadır), F : Faraday sabiti (96500 coulomb).



Şekil 4.20. Korozyon oluşumunun ilerleyen aşamalarındaki durumu

Numuneler, hesaplanan kütle kayıplarına ulaştığında çözelti havuzundan çıkartılmıştır. Çıkarılan numuneler üzerinde reaksiyon sonunda meydana gelen tortu tabakası metal tel fırça yardımıyla temizlenmiş numuneler yıkanmış ve durulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin temizlenmeden önce ve temizlendikten sonraki görünümleri Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de gösterilmektedir.



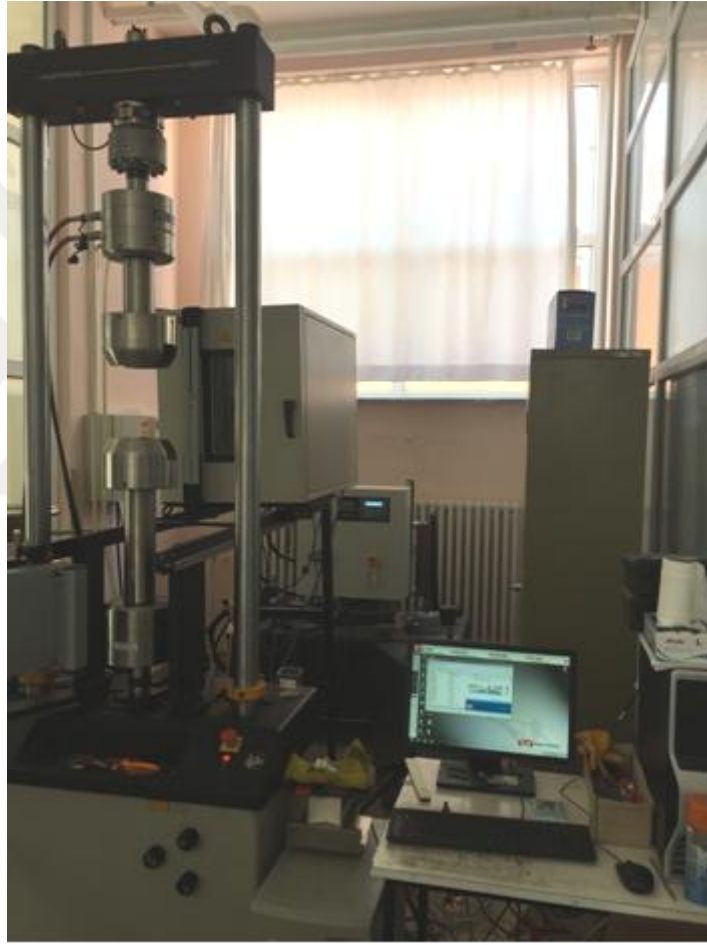
Şekil 4.21. Numunelerin çözeltiden çıkarılmış halleri



Şekil 4.22. Numunelerin temizlenme işlemleri uygulanmış halleri

Korozyona uğrayan numuneler temizlendikten sonra çekme deneyine tabi tutulmuşlardır. Çekme deneyi için Şekil 4.23'te gösterilen İnstron 8801 markalı çekme deney cihazı kullanılmıştır. Cihazın yük kapasitesi 110 kN dur. Çekme aleti alt ve üst ucunda olmak üzere 2 adet çeneye sahiptir. Çenelerin sabit hızla hareketini veya sabit kuvvet uygulayarak hareket etmesini sağlayan ünitesi bulunmaktadır. Çekme deneyi esnasında üst çene sabit kalırken alt çene hareketli olarak çalışmaktadır. Çekme aletinde bulunan üst çene sadece deney numunesini sıkıştırmakta, alt çene ise aşağı yönde

hareket etmektedir. Deney sırasında alt çene sabit hızla hareket ettirilerek numuneye gelen değişken kuvvetler bilgisayar programına aktarılmakta ve bu kuvvet altında numunedeki uzama belirlenmektedir. Bilgisayara aktarılan verilerle yük-deformasyon veya gerilme-birim deformasyon grafikleri elde edilmektedir. Deney sırasında çenelere uygulanan sabit hız 2 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Çekme aleti dişlerine levhaların yerleştirilmesi için daha önce levha başlıklarının kaplandığı yalıtım malzemesi (aqua blocker) levhalardan temizlenmiştir. Levhalar çenelere eksantrisite olmayacak şekilde yerleştirilmiştir.



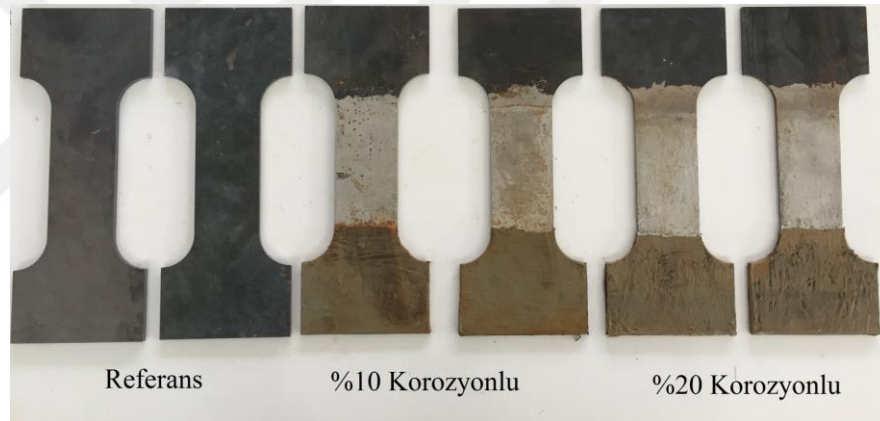
Şekil 4.23. Çekme deney aleti

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

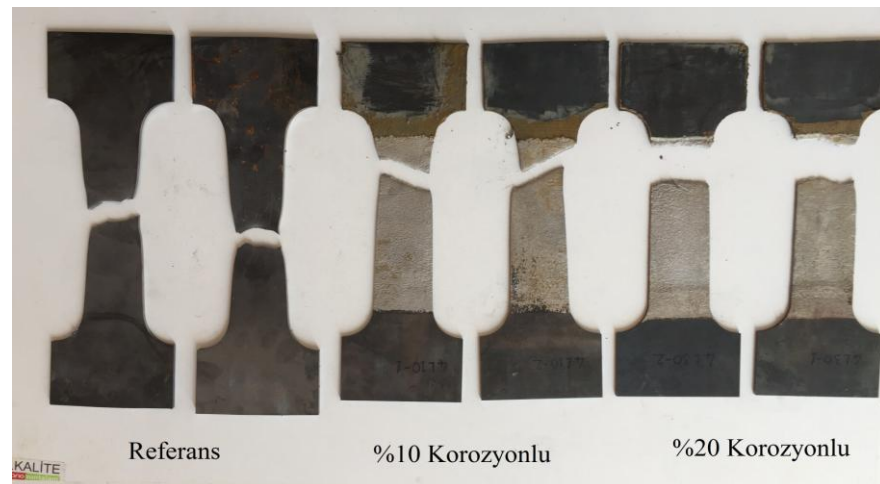
5.1. Deneysel Sonuçların Birleşim Türüne Göre Karşılaştırılması

5.1.1. 4 mm kalınlığındaki levhalarda korozyon olması durumu

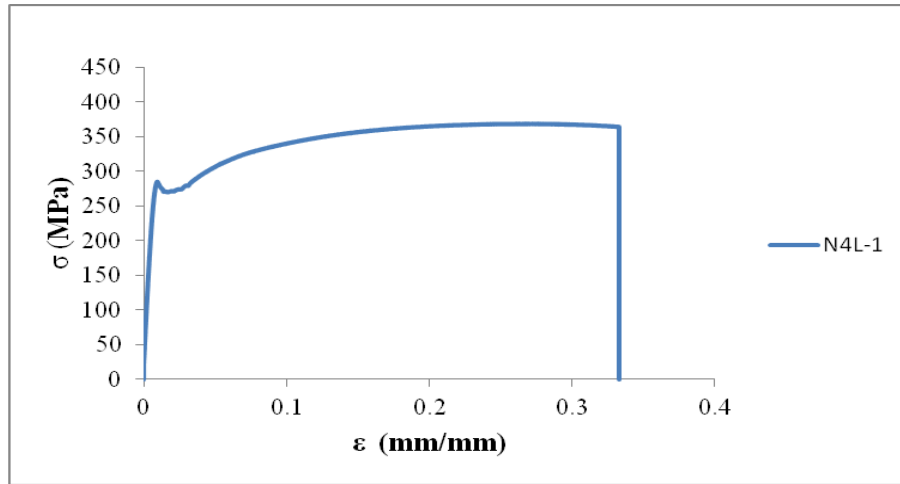
4 mm kalınlığındaki levhaların (N4L1, N4L2, N4LD1, N4LD2, N4LY1, N4LY2 deney numuneleri) aksenal çekme deneyi öncesi ve sonrası görünüşleri sırasıyla Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de, çekme deneyinden elde edilen gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) grafikleri ise Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da görülmektedir. Deney sonrasında elde edilen gerilme değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.1'de, birim uzamaların karşılaştırması Çizelge 5.2'de ve deney numunelerinde oluşumu gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri ise Çizelge 5.3'te görülmektedir.



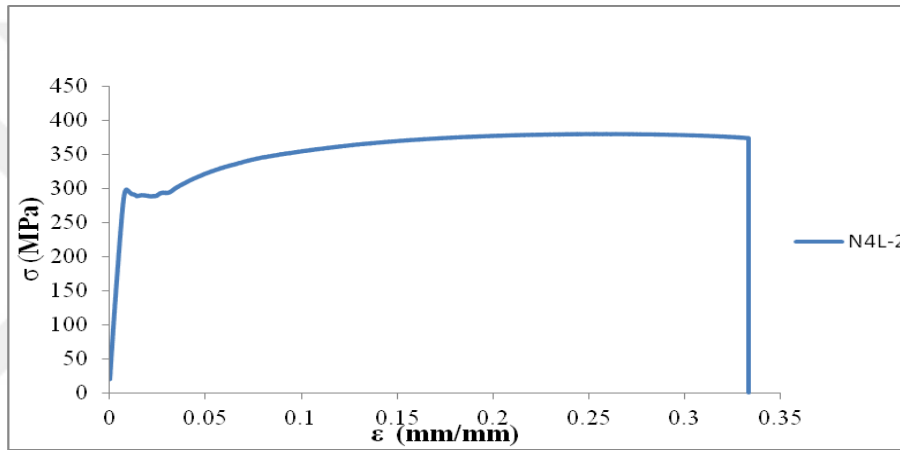
Şekil 5.1. Deney öncesi 4 mm kalınlığındaki levha numuneleri



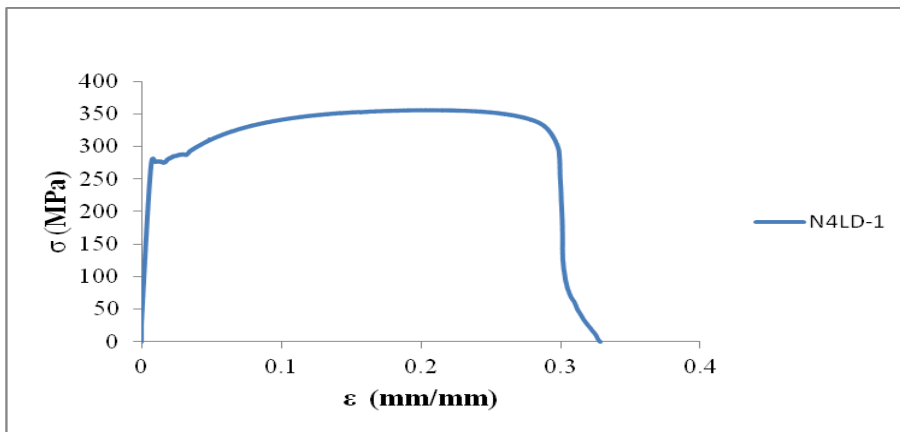
Şekil 5.2. Deney sonrası 4 mm kalınlığındaki levha numuneleri



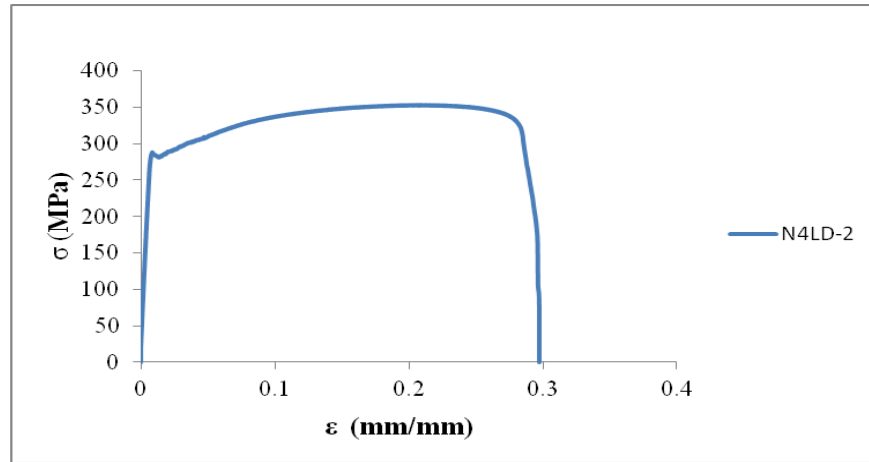
Şekil 5.3. N4L-1 numunesi σ - ϵ grafiği



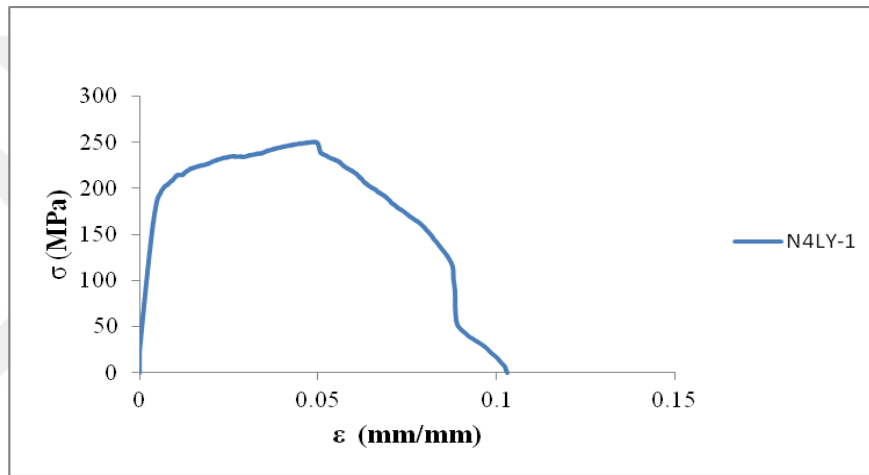
Şekil 5.4. N4L-2 numunesi σ - ϵ grafiği



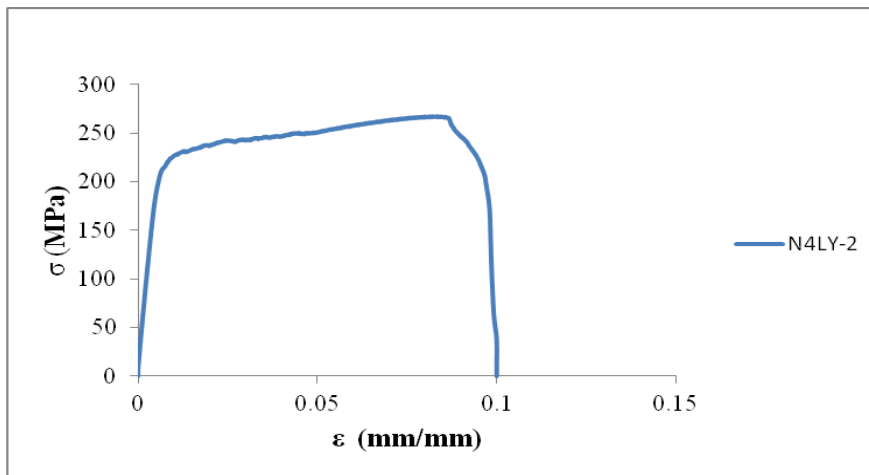
Şekil 5.5. N4LD-1 numunesi σ - ϵ grafiği



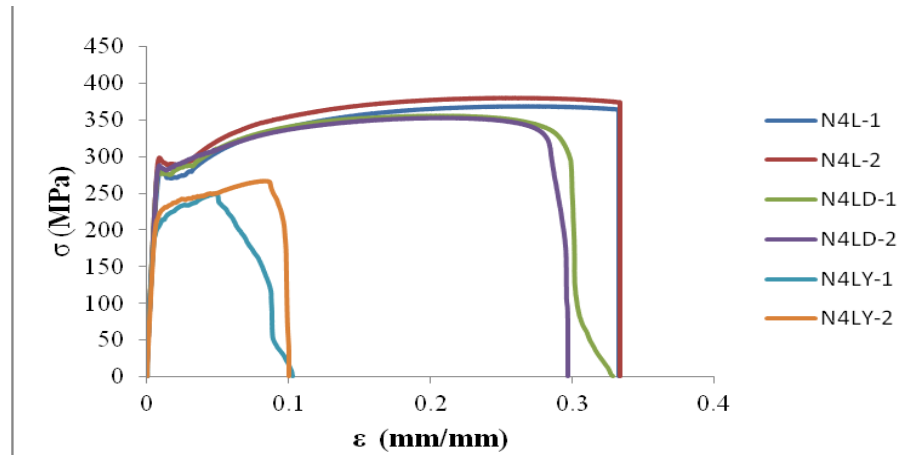
Şekil 5.6. N4LD-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.7. N4LY-1 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.8. N4LY-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.9. N4L-1, N4L-2, N4LD-1, N4LD-2, N4LY-1, N4LY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri

Çizelge 5.1. 4 mm kalınlığındaki levhalarda gerilmelerin karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Gerilmesi F_y (MPa)	Ort. Akma Gerilmesi $F_{y,ort}$ (MPa)	$F_{y,ort}/F_{y,ortreferans}$	Maksimum Çekme Gerilmesi F_m (MPa)	Ort. Maksimum Çekme Gerilmesi $F_{m,ort}$ (MPa)	$F_{m,ort}/F_{m,ortreferans}$
N4L-1	284.98	286.60	1.00	369.27	375.1	1.00
N4L-2	288.18			380.96		
N4LD-1	281.85	284.83	0.99	356.37	355.05	0.94
N4LD-2	287.81			353.73		
N4LY-1	209.85	211.78	0.74	250.38	258.72	0.68
N4LY-2	213.72			267.05		

Çizelge 5.2. 4 mm kalınlığındaki levhalarda birim uzamaların karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Birim Uzaması ϵ_y (mm/mm)	Ort. Akma Birim Uzaması $\epsilon_{y,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{y,ort}/\epsilon_{y,ortreferans}$	Kopma Birim Uzaması ϵ_u (mm/mm)	Ortalama Birim Uzaması $\epsilon_{u,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{u,ort}/\epsilon_{u,ortreferans}$	ϵ_u/ϵ_y Süneklik Katsayısı
N4L-1	0.0092	0.00830	1.00	0.28892	0.28902	1.00	34.82
N4L-2	0.0074			0.28912			
N4LD-1	0.00844	0.00825	0.99	0.28254	0.28140	0.97	34.11
N4LD-2	0.00807			0.28027			
N4LY-1	0.00947	0.00830	1.00	0.05044	0.04299	0.15	5.18
N4LY-2	0.00713			0.03555			

Korozyona uğramış numuneler ile referans numuneler karşılaştırıldığında aşağıdaki farklılıklar belirlenmiştir;

Kütlice %10 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımı ve ortalama akma birim uzaması %1, ortalama kopma birim uzaması %3 azalmıştır. Maksimum dayanımda ise % 5,5 azalma meydana gelmiştir.

Kütlice %20 korozyona uğramış numunelerde akma dayanımı %26 azalırken akma birim uzaması sabit kalmış ve kopma birim uzaması ise %85 azalmıştır. Maksimum dayanımda ise %32 azalma meydana gelmektedir.

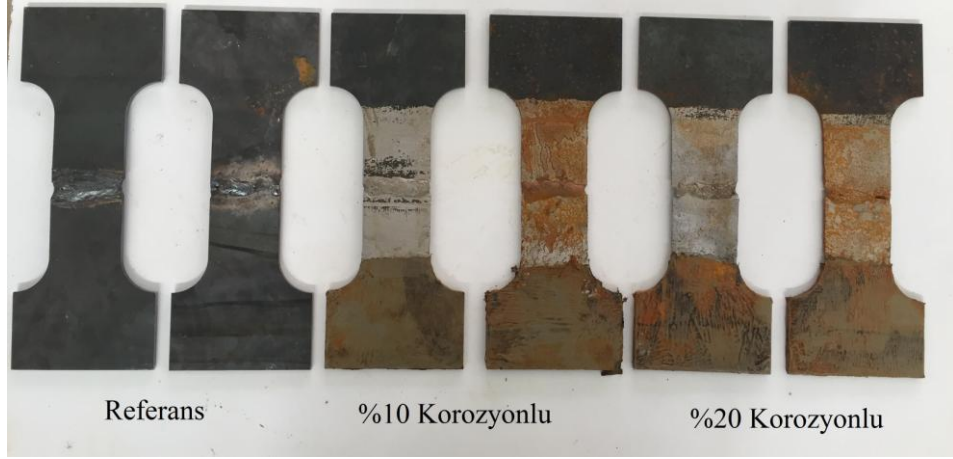
4 mm kalınlığındaki levhalarda oluşan korozyon türü beklendiği gibi üniform korozyon olarak meydana gelmiştir. Referans (korozyonsuz) numunelerde kırılmanın gövdede sünek kopma şeklinde olduğu gözlenmiştir. Korozyona uğrayan numunelerde ise kopma deney numunelerinin başlık ve gövde kısmı birleşim bölgesinden yani gerilme yığılmalarının olduğu bölgede kopma şeklinde meydana gelmiştir.

Çizelge 5.3. 4 mm kalınlığındaki levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri

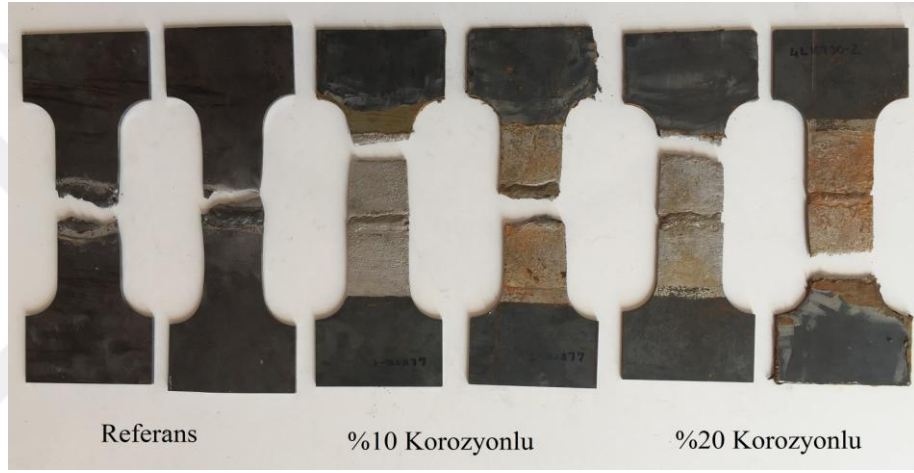
Numune Adı	Korozyon Türü	Kırılma Bölgesi
N4L-1	-	Levhada gövde kısmında
N4L-2	-	Levhada gövde kısmında
N4LD-1	Üniform Korozyon	Başlık gövde birleşim bölgesi
N4LD-2	Üniform Korozyon	Başlık gövde birleşim bölgesi
N4LY-1	Üniform Korozyon	Başlık gövde birleşim bölgesi
N4LY-2	Üniform Korozyon	Başlık gövde birleşim bölgesi

5.1.2. 4 mm kalınlığındaki küt kaynaklı levhalarda korozyon olması durumu

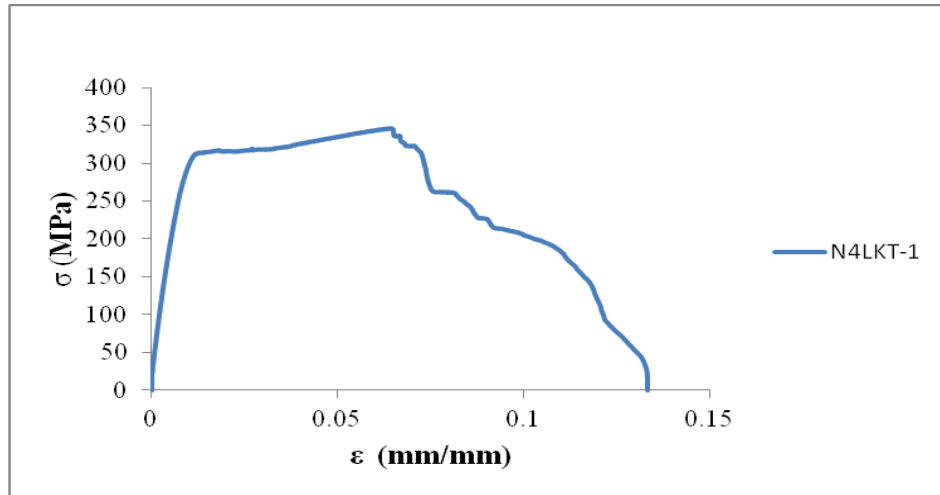
4 mm kalınlığında, küt kaynaklı birleşimli levhaların (N4LKT1, N4LKT2, N4LKTD1, N4LKTD2, N4LKTY1, N4LKTY2 deney numuneleri) aksenal çekme deneyi öncesi ve sonrası görünüşleri sırasıyla Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de, çekme deneyinden elde edilen gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) grafikleri ise Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de görülmektedir. Deney sonrasında elde edilen gerilme değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.4'de, birim uzamaların karşılaştırması Çizelge 5.5'te ve deney numunelerinde oluşumu gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri ise Çizelge 5.6'da görülmektedir.



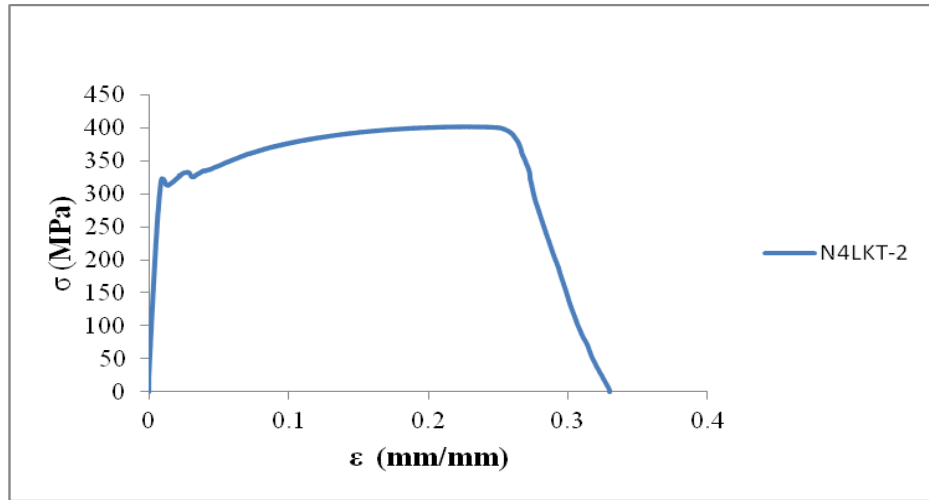
Şekil 5.10. Deney öncesi 4 mm kalınlığında ve küt kaynaklı levha numuneleri



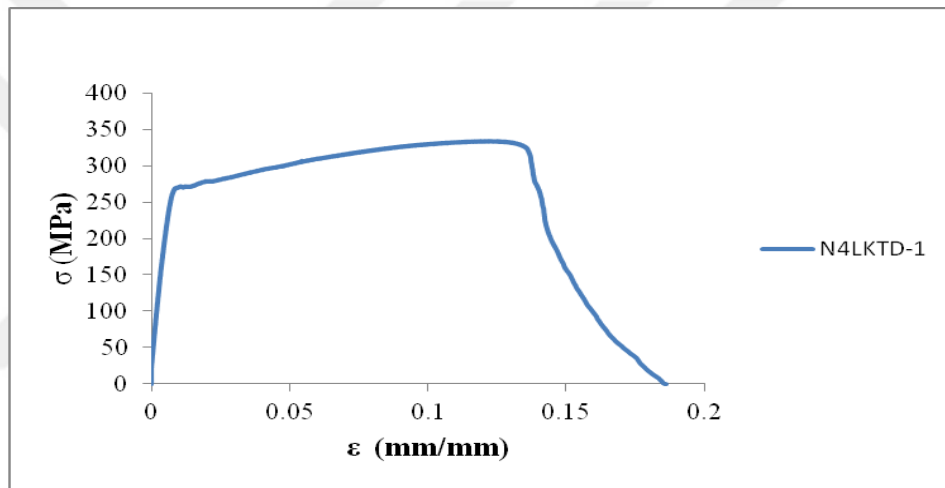
Şekil 5.11. Deney sonrası 4 mm kalınlığında ve küt kaynaklı levha numuneleri



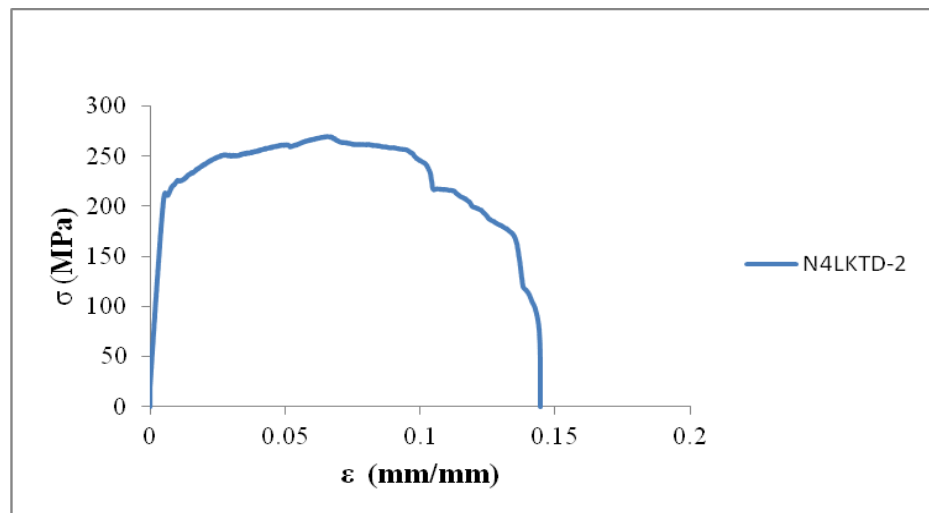
Şekil 5.12. N4LKT-1 numunesi σ - ϵ grafiği



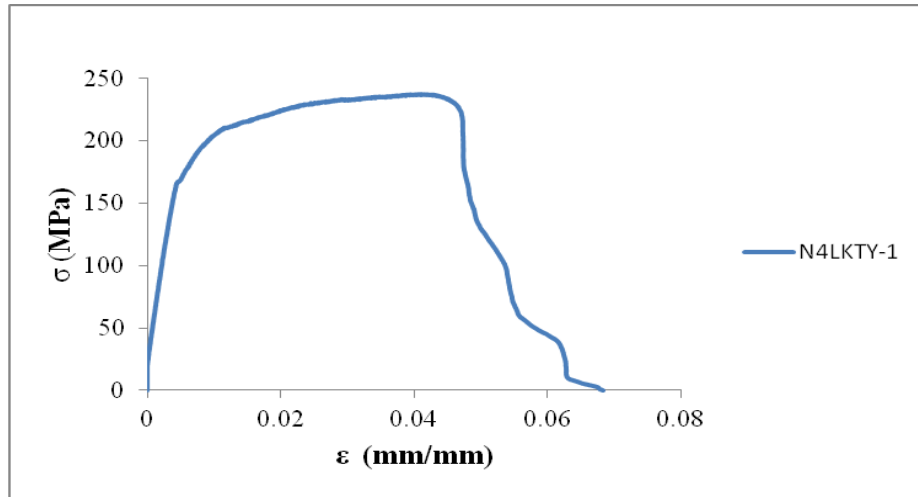
Şekil 5.13. N4LKT-2 numunesi σ - ϵ grafiği



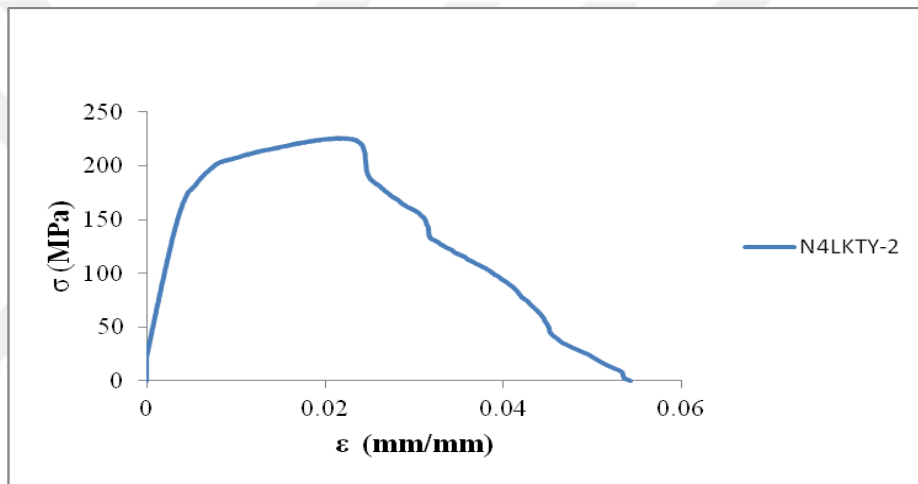
Şekil 5.14. N4LKTD-1 numunesi σ - ϵ grafiği



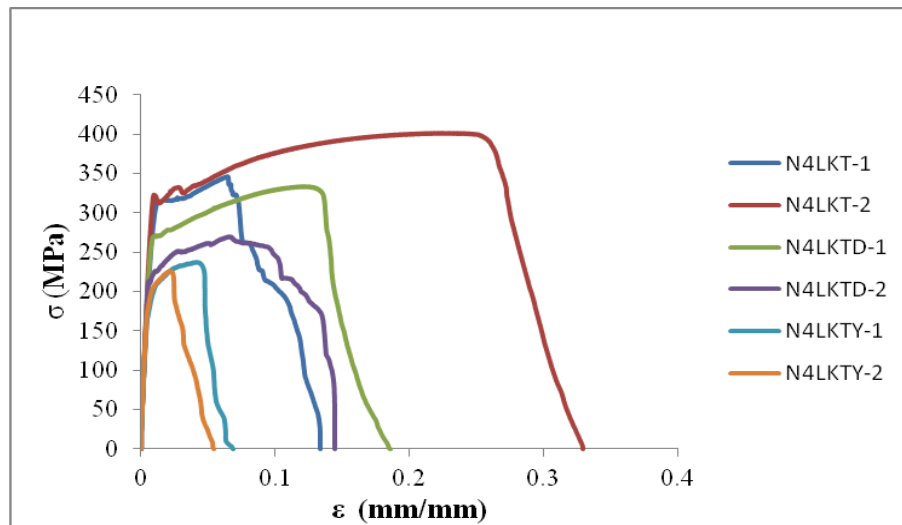
Şekil 5.15. N4LKTD-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.16. N4LKTY-1 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.17. N4LKTY-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.18. N4LKT-1, N4LKT-2, N4LKTD-1, N4LKTD-2, N4LKTY-1, N4LKTY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri

Çizelge 5.4. 4 mm kalınlığındaki küt kaynaklı birleşimli levhalarda gerilmelerin karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Gerilmesi F_y (MPa)	Ort.Akma Gerilmesi $F_{y,ort}$ (MPa)	$F_{y,ort}/F_{y,ortreferans}$	Maksimum Çekme Gerilmesi F_m (MPa)	Ort. Maksimum Çekme Gerilmesi $F_{m,ort}$ (MPa)	$F_{m,ort}/F_{m,ortreferans}$
N4LKT-1	312.68	317.80	1.00	346.45	374.17	1.00
N4LKT-2	322.92			401.89		
N4LKTD-1	270.01	241.96	0.76	333.91	302.14	0.81
N4LKTD-2	213.90			270.37		
N4LKTY-1	182.09	186.16	0.59	237.29	231.59	0.62
N4LKTY-2	190.23			225.88		

Çizelge 5.5. 4 mm kalınlığındaki küt kaynaklı birleşimli levhalarda birim uzamaların karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Birim Uzaması ϵ_y (mm/mm)	Ort. Akma Birim Uzaması $\epsilon_{y,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{y,ort}/\epsilon_{y,ortreferans}$	Kopma Birim Uzaması ϵ_u (mm/mm)	Ortalama Birim Uzaması $\epsilon_{u,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{u,ort}/\epsilon_{u,ortreferans}$	ϵ_u/ϵ_y Süneklik Katsayısı
N4LKT-1	0.01179	0.01091	1.00	0.08175	0.17373	1.00	15.92
N4LKT-2	0.01003			0.2657			
N4LKTD-1	0.00909	0.00735	0.67	0.13724	0.11933	0.69	16.23
N4LKTD-2	0.00562			0.10142			
N4LKTY-1	0.00644	0.00638	0.58	0.04735	0.03624	0.21	5.68
N4LKTY-2	0.00633			0.02512			

Korozyona uğramış numuneler ile referans numuneler karşılaştırıldığında aşağıdaki farklılıklar belirlenmiştir;

Kütlece %10 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımlarında %24 azalma olduğu belirlenmiş, akma birim uzamalarında %33 ve kopma birim uzamalarında %31 azalma meydana gelmiştir. Maksimum dayanımları ise %19 azalmıştır.

Kütlece %20 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımlarında %41 azalma olduğu belirlenmiş, akma birim uzamalarda %42 ve kopma birim uzamalarında ise %79 azalma meydana gelmiştir. Maksimum dayanımları ise %38 azalmıştır.

N4LKT-1 numunesine yapılan kaynakta boşluk olmasından dolayı kırılma kaynakta ve gevrek kırılma şeklinde meydana gelmiştir. Eksenel çekme deneyi sırasında gözlenen kaynakta kırılmanın meydana geldiği an Şekil 5.19'da görülmektedir.



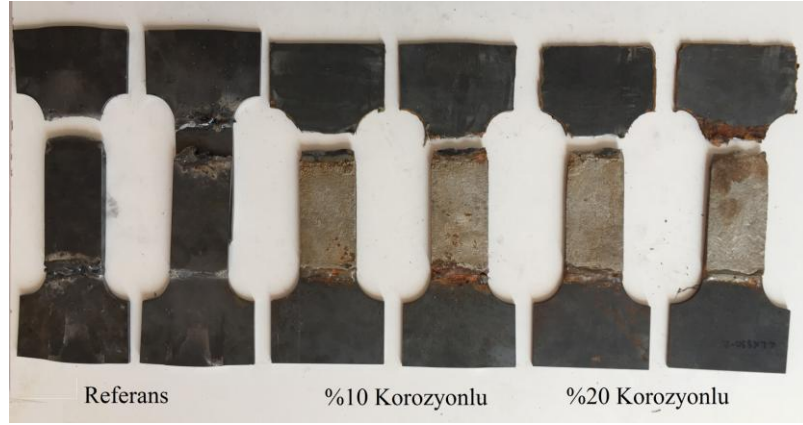
Şekil 5.19. 4 mm kalınlığında ve küt kaynaklı numunenin kaynaktan kırılma anı

Çizelge 5.6. 4 mm kalınlığındaki küt kaynaklı birleşimli levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri

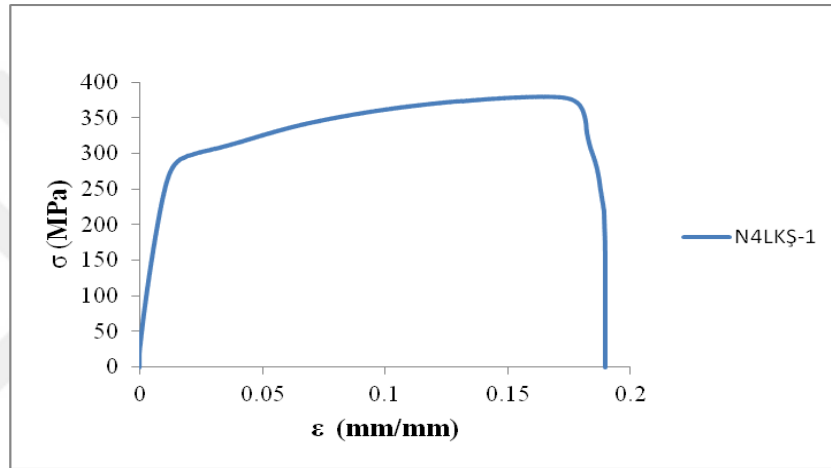
Numune Adı	Korozyon Türü	Kırılma Bölgesi
N4LKT-1	-	Kaynak birleşiminde
N4LKT-2	-	Levhada gövde kısmında
N4LKTD-1	Üniform Korozyon	Başlık gövde birleşim bölgesi
N4LKTD-2	Üniform Korozyon	Kaynak birleşiminde
N4LKTY-1	Üniform Korozyon	Başlık gövde birleşim bölgesi
N4LKTY-2	Üniform Korozyon	Başlık gövde birleşim bölgesi

5.1.3. 4 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı levhalarda korozyon olması durumu

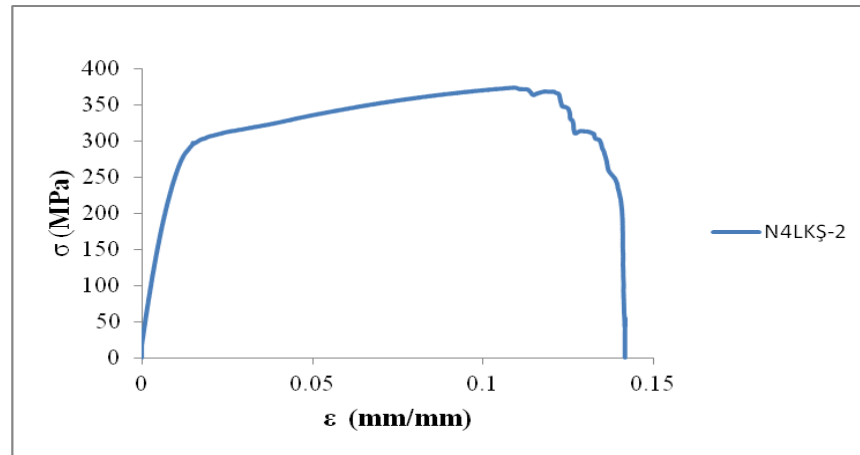
4 mm köşe kaynaklı levhaların (N4LKŞ-1, N4LKŞ-2, N4LKŞD-1, N4LKŞD-2, N4LKŞY-1, N4LKŞY-2 deney numuneleri) eksenel çekme deneyi sonrası görünüşleri Şekil 5.20'de, çekme deneyinden elde edilen gerilme birim deformasyon (σ - ϵ) grafikleri ise Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26 ve Şekil 5.27'de görülmektedir. Deney sonrasında elde edilen gerilme değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.17'de, birim uzamaların karşılaştırması Çizelge 5.8'de ve deney numunelerinde oluşumu gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri ise Çizelge 5.9'da görülmektedir.



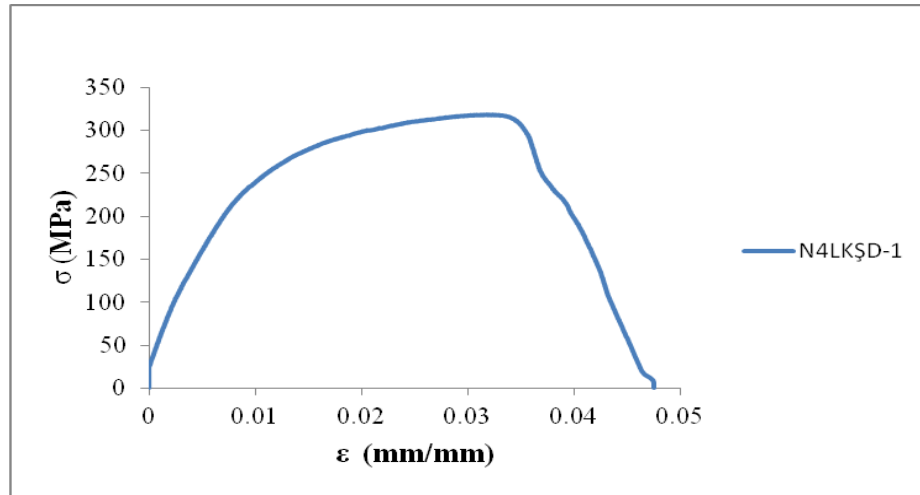
Şekil 5.20. Deney sonrası 4 mm kalınlığında ve köşe kaynaklı levha numuneleri



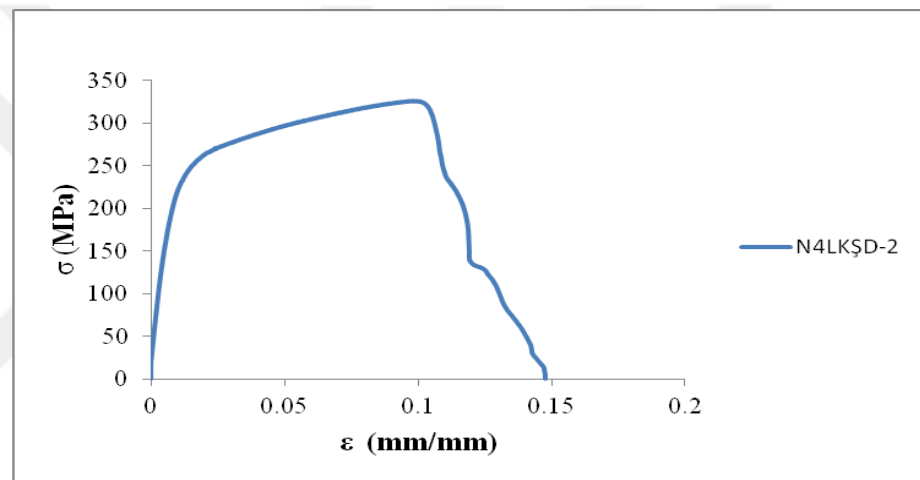
Şekil 5.21. N4LKŞ-1 numunesi σ-ε grafiği



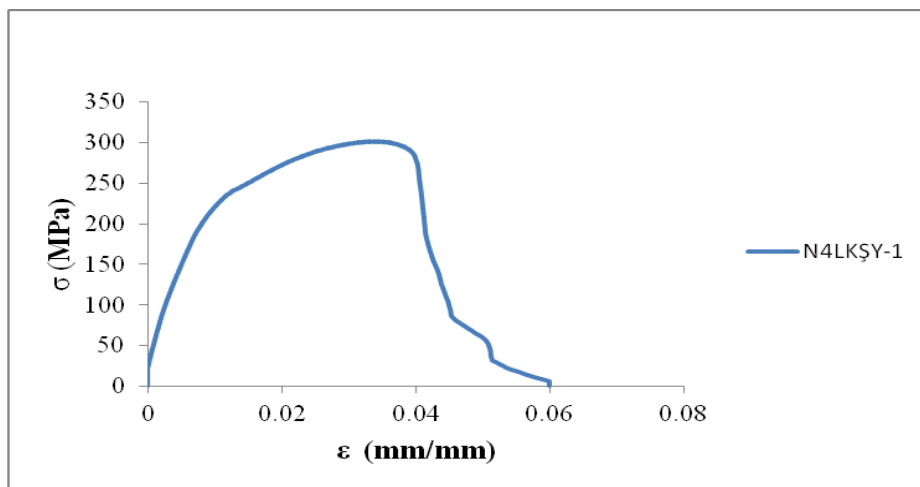
Şekil 5.22. N4LKŞ-2 numunesi σ-ε grafiği



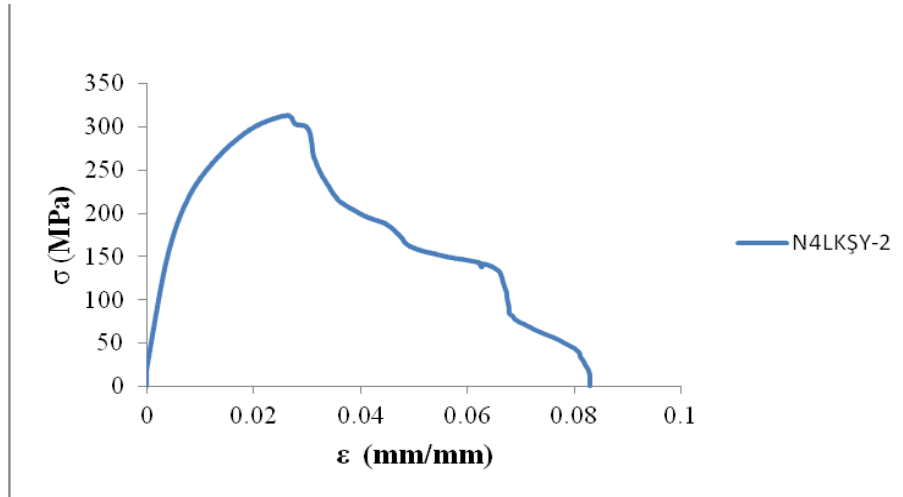
Şekil 5.23. N4LKŞD-1 numunesi σ - ϵ grafiği



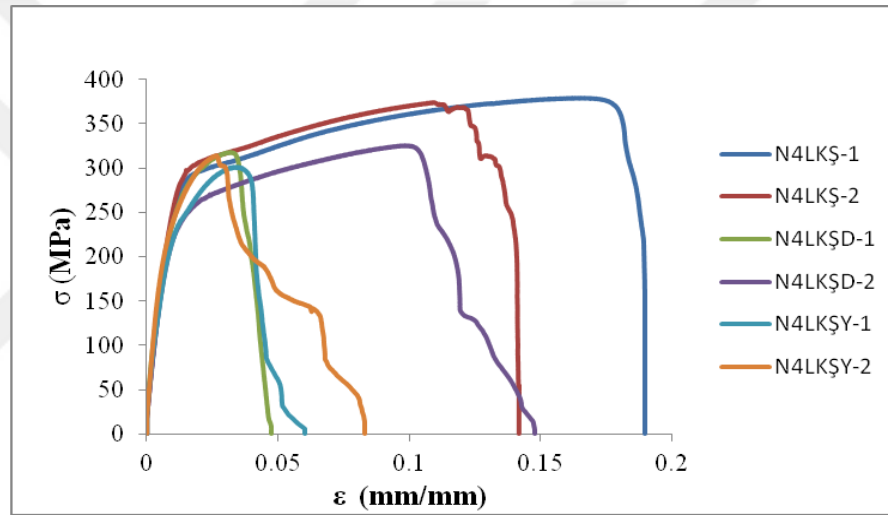
Şekil 5.24. N4LKŞD-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.25. N4LKŞY-1 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.26. N4LKŞY-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.27. N4LKŞ-1, N4LKŞ-2, N4LKŞD-1, N4LKŞD-2, N4LKŞY-1, N4LKŞY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri

Çizelge 5.7. 4 mm kalınlığındaki köşe kaynak birleşimli levhalarda gerilmelerin karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Gerilmesi F_y (MPa)	Ort. Akma Gerilmesi $F_{y,ort}$ (MPa)	$F_{y,ort}/F_{y,ortrefera}$	Maksimum Çekme Gerilmesi F_m (MPa)	Ort. Maksimum Çekme Gerilmesi $F_{m,ort}$ (MPa)	$F_{m,ort}/F_{m,ortrefera}$
N4LKŞ-1	286.88	291.18	1.00	379.29	376.57	1.00
N4LKŞ-2	295.47			373.84		
N4LKŞD-1	248.56	253.83	0.87	318.66	322.47	0.86
N4LKŞD-2	259.09			326.28		
N4LKŞY-1	248.32	251.13	0.86	301.31	307.75	0.81
N4LKŞY-2	253.93			314.18		

Çizelge 5.8. 4 mm kalınlığındaki köşe kaynak birleşimli levhalarda birim uzamaların karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Birim Uzaması ϵ_y (mm/mm)	Ort. Akma Birim Uzaması $\epsilon_{y,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{y,ort} / \epsilon_{y,ortreferans}$	Kopma Birim Uzaması ϵ_u (mm/mm)	Ortalama Birim Uzaması $\epsilon_{u,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{u,ort} / \epsilon_{u,ortreferans}$	ϵ_u / ϵ_y Süneklik Katsayısı
N4LKŞ-1	0.01509	0.01514	1.00	0.18229	0.15398	1.00	10.17
N4LKŞ-2	0.01518			0.12567			
N4LKŞD-1	0.0109	0.0146	0.96	0.03591	0.04378	0.28	3.00
N4LKŞD-2	0.0183			0.05165			
N4LKŞY-1	0.01468	0.0132	0.87	0.03976	0.03523	0.22	2.66
N4LKŞY-2	0.0117			0.03069			

Korozyona uğramış numuneler ile referans numuneler karşılaştırıldığında aşağıdaki farklılıklar belirlenmiştir;

Kütlece %10 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımlarında %13 azalma olduğu belirlenmiş, ortalama akma birim uzamalarında %4 ortalama kopma birim uzamalarında ise %72 azalma meydana gelmiştir. Maksimum dayanımları ise %14 azalmıştır.

Kütlece %20 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımlarında %14 azalma olduğu belirlenmiş, ortalama akma birim uzamalarında %13 ve ortalama kopma birim uzamalarında ise %78 azalma meydana gelmiştir. Maksimum dayanımları ise %19 azalmıştır.

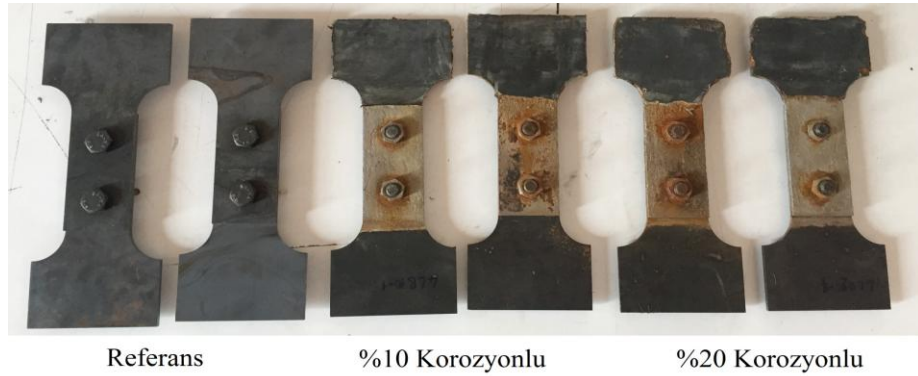
Referans numunelerde kopma birim uzamaları arasındaki farklılıklar yapılan kaynak kalitesinden dolayı farklılık gösterdiği düşünülmektedir. 4LKŞD-1 numunesinde korozyon oluşumu başlık ve gövdenin birleştiği kısımda yoğunlaşarak çukur korozyonu meydana gelmiş ve kesitte önemli oranda azalma olduğu için deney numunesi maksimum gerilme değerine ulaştığında bu bölgede ani kırılma meydana gelmiştir.

Çizelge 5.9. 4 mm kalınlığındaki köşe kaynak birleşimli levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri

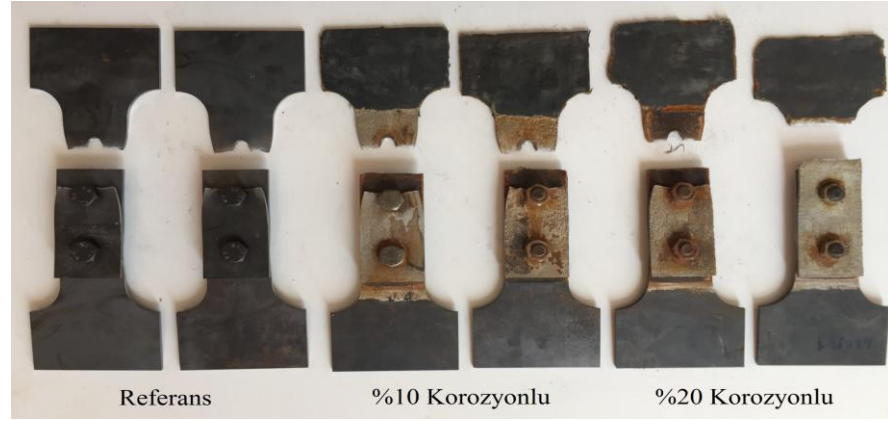
Numune Adı	Korozyon Türü	Kırılma Bölgesi
N4LKŞ-1	-	Gövde Başlık Birleşim bölgesi
N4LKŞ-2	-	Kaynak Birleşiminden
N4LKŞD-1	Çukur Korozyon	Gövde Başlık Birleşim bölgesi
N4LKŞD-2	Üniform Korozyon	Gövde Başlık Birleşim bölgesi
N4LKŞY-1	Üniform Korozyon	Gövde Başlık Birleşim bölgesi
N4LKŞY-2	Üniform Korozyon	Gövde Başlık Birleşim bölgesi

5.1.4. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda korozyon olması durumu

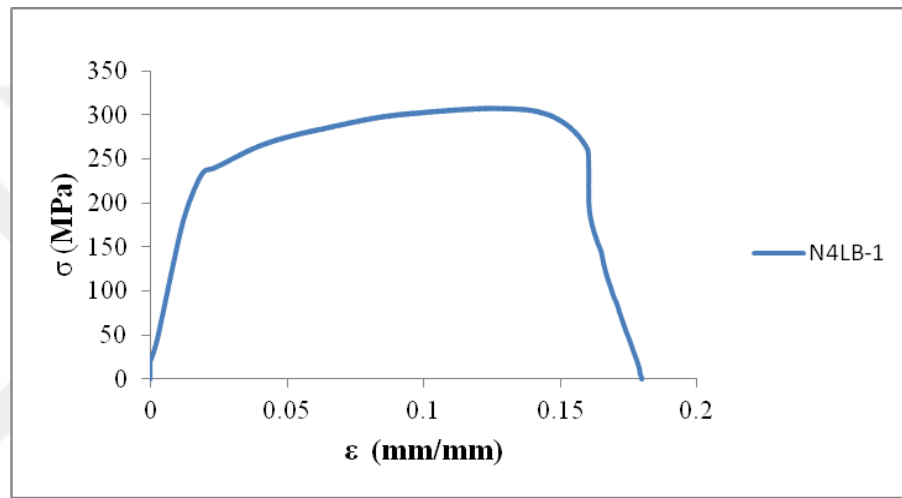
4 mm kalınlığında, bulonlu birleşimli levhaların (N4LB-1, N4LB-2, N4LBD-1, N4LBD-2, N4LBY-1, N4LBY-2 deney numuneleri) aksenal çekme deneyi öncesi ve sonrası görünüşleri sırasıyla Şekil 5.28 ve Şekil 5.29'da, çekme deneyinden elde edilen gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) grafikleri ise Şekil 5.30, Şekil 5.31, Şekil 5.32, Şekil 5.33, Şekil 5.34, Şekil 5.35 ve Şekil 5.36'da görülmektedir. Deney sonrasında elde edilen gerilme değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.10'da, birim uzamaların karşılaştırılması Çizelge 5.11'de ve deney numunelerinde oluşumu gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri ise Çizelge 5.12'de görülmektedir.



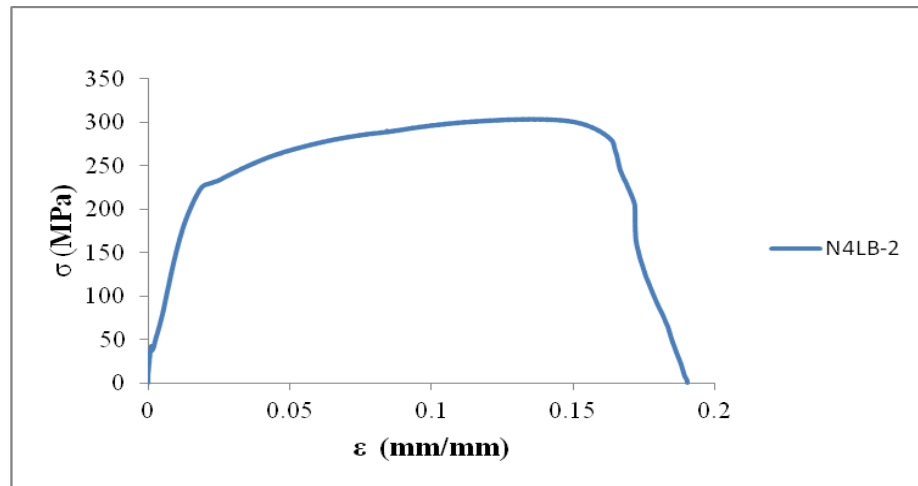
Şekil 5.28. Deney öncesi 4 mm kalınlığında ve bulonlu levha numuneleri



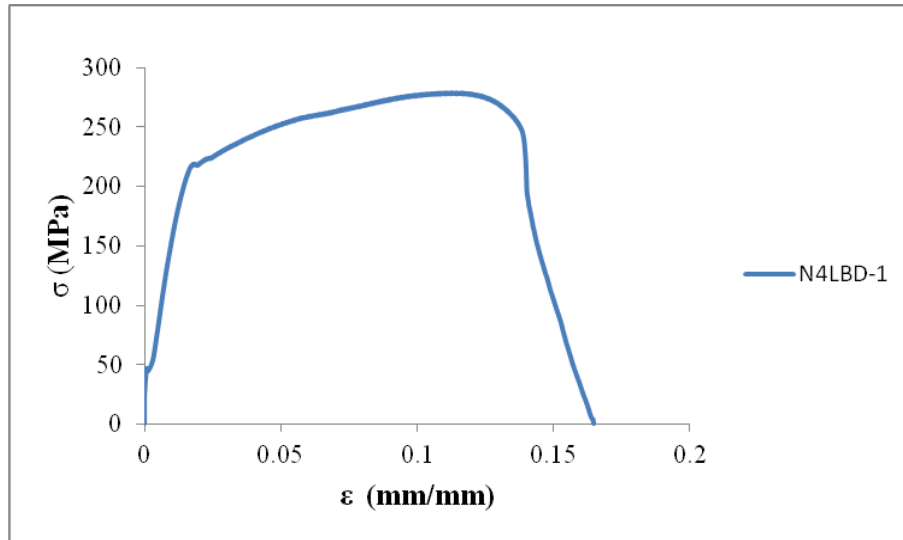
Şekil 5.29. Deney sonrası 4 mm kalınlığında ve bulonlu levha numuneleri



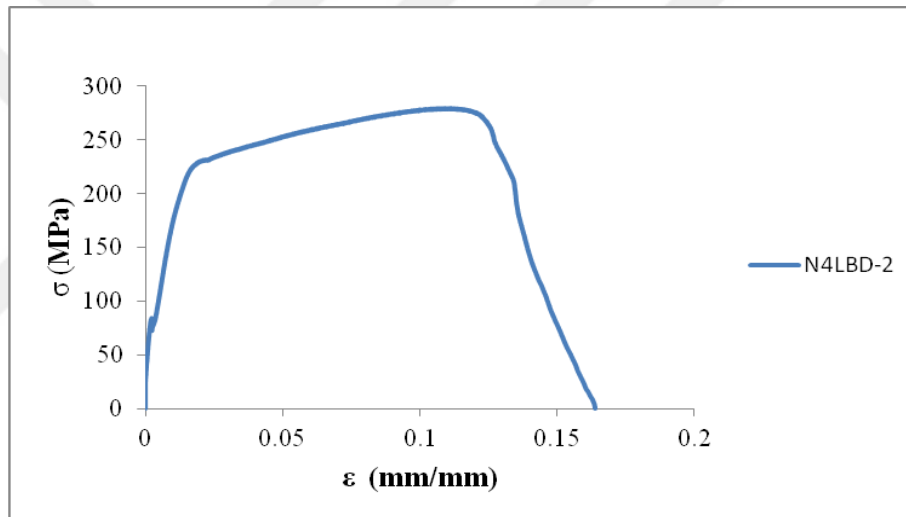
Şekil 5.30. N4LB-1 numunesi σ-ε grafiği



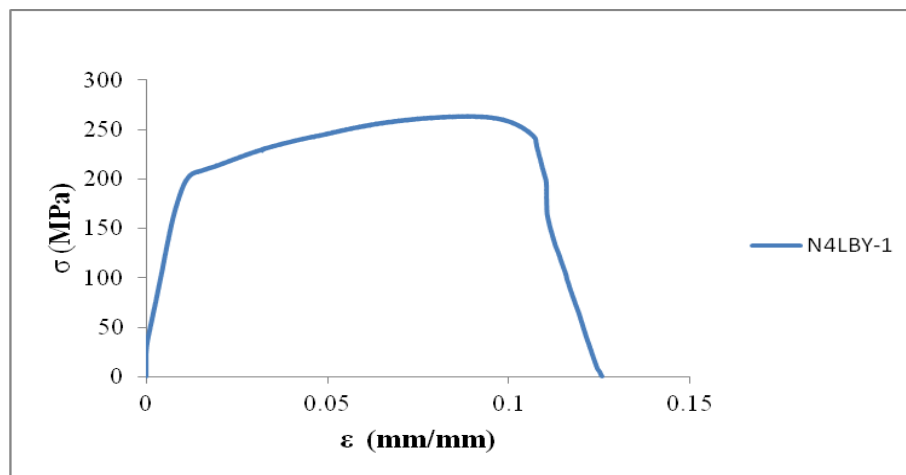
Şekil 5.31. N4LB-2 numunesi σ-ε grafiği



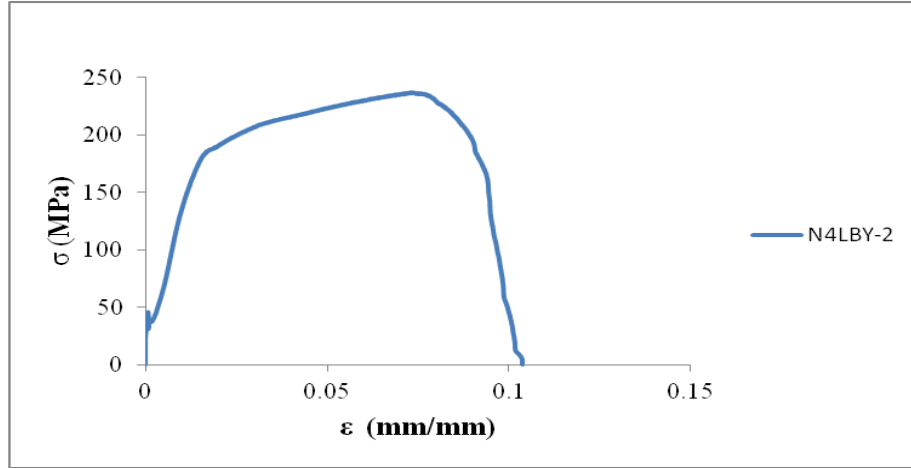
Şekil 5.32. N4LBD-1 numunesi σ - ϵ grafiği



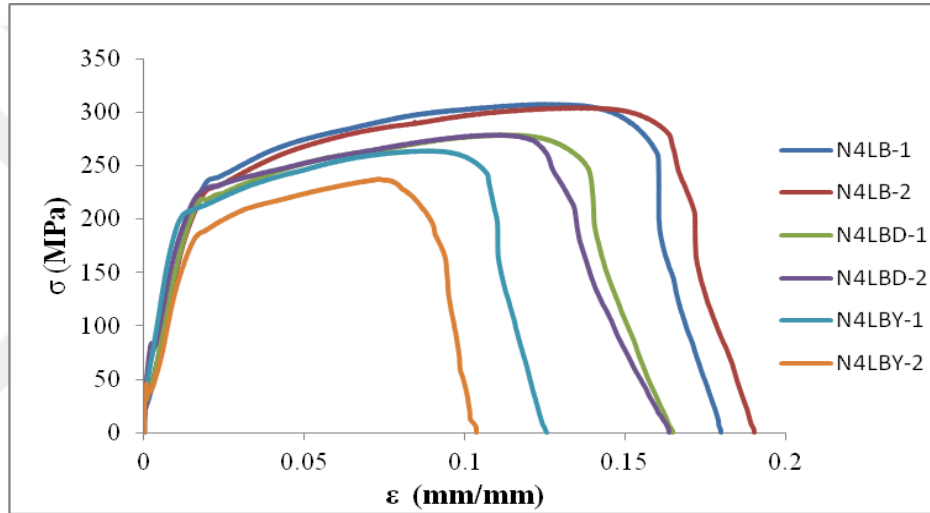
Şekil 5.33. N4LBD-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.34. N4LBY-1 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.35. N4LBY-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.36. N4LB-1, N4LB-2, N4LBD-1, N4LBD-2, N4LBY-1, N4LBY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri

Çizelge 5.10. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda gerilmelerin karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Gerilmesi F_y (MPa)	Ort.Akma Gerilmesi $F_{y,ort}$ (MPa)	$F_{y,ort}/F_{y,ortreferans}$	Maksimum Çekme Gerilmesi F_m (MPa)	Ort. Maksimum Çekme Gerilmesi $F_{m,ort}$ (MPa)	$F_{m,ort}/F_{m,ortreferans}$
N4LB-1	236.64	232.28	1.00	307.28	305.64	1.00
N4LB-2	227.92			304.00		
N4LBD-1	217.57	223.15	0.96	278.60	279.04	0.91
N4LBD-2	228.72			279.48		
N4LBY-1	205.77	195.82	0.84	264.13	250.92	0.82
N4LBY-2	185.87			237.71		

Çizelge 5.11. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda birim uzamaların karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Birim Uzaması ϵ_y (mm/mm)	Ort. Akma Birim Uzaması $\epsilon_{y,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{y,ort} / \epsilon_{y,ortreferans}$	Kopma Birim Uzaması ϵ_u (mm/mm)	Ortalama Birim Uzaması $\epsilon_{u,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{u,ort} / \epsilon_{u,ortreferans}$	ϵ_u / ϵ_y Süneklik Katsayısı
N4LB-1	0.02022	0.0201	1.00	0.15779	0.16164	1.00	8.04
N4LB-2	0.01998			0.16549			
N4LBD-1	0.0174	0.01810	0.90	0.13758	0.13152	0.81	7.26
N4LBD-2	0.0188			0.12546			
N4LBY-1	0.01274	0.01476	0.73	0.10749	0.09710	0.60	6.57
N4LBY-2	0.01677			0.08671			

Korozyona uğramış numuneler ile referans numuneler karşılaştırıldığında aşağıdaki farklılıklar belirlenmiştir;

Kütlece %10 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımlarında %4 azalma olduğu belirlenmiş, ortalama akma birim uzamalarında %10 azalma ve ortalama kopma birim uzamalarında ise % 19 azalma meydana gelmiştir. Maksimum dayanımları ise %9 azalmıştır.

Kütlece %20 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımlarında %16 azalma olduğu belirlenmiş, ortalama akma birim uzamalarında %27 azalma ve ortalama kopma birim uzamalarında ise %40 azalma meydana gelmiştir. Maksimum dayanımları ise %18 azalmıştır.

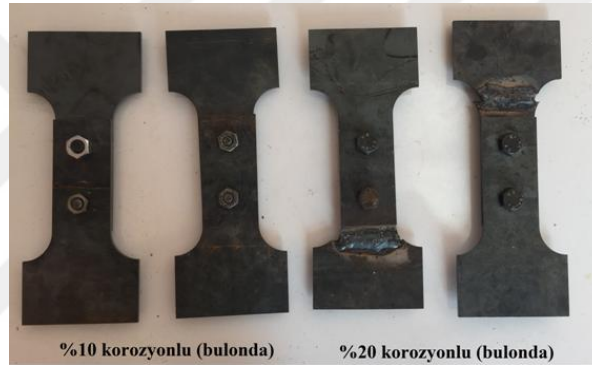
4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda kopma eksenel çekme deneyi sırasında levhada zayıf bölgesinde meydana gelmiştir.

Çizelge 5.12. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri

Numune Adı	Korozyon Türü	Kırılma Bölgesi
N4LB-1	-	Zayıf Bölgesi
N4LB-2	-	Zayıf Bölgesi
N4LBD-1	Üniform	Zayıf Bölgesi
N4LBD-2	Üniform	Zayıf Bölgesi
N4LBY-1	Üniform	Zayıf Bölgesi
N4LBY-2	Üniform	Zayıf Bölgesi

5.1.5. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olması durumu

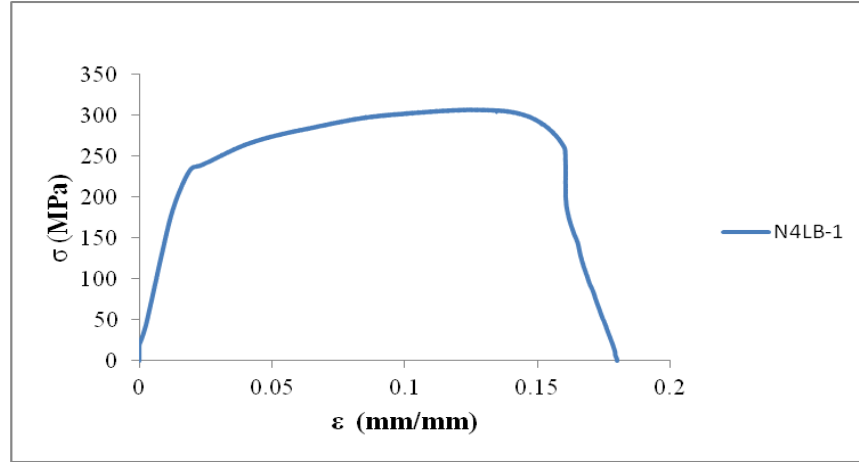
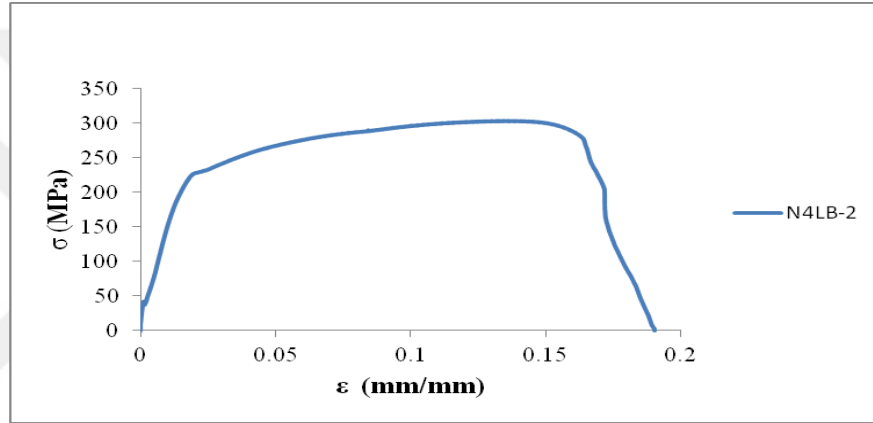
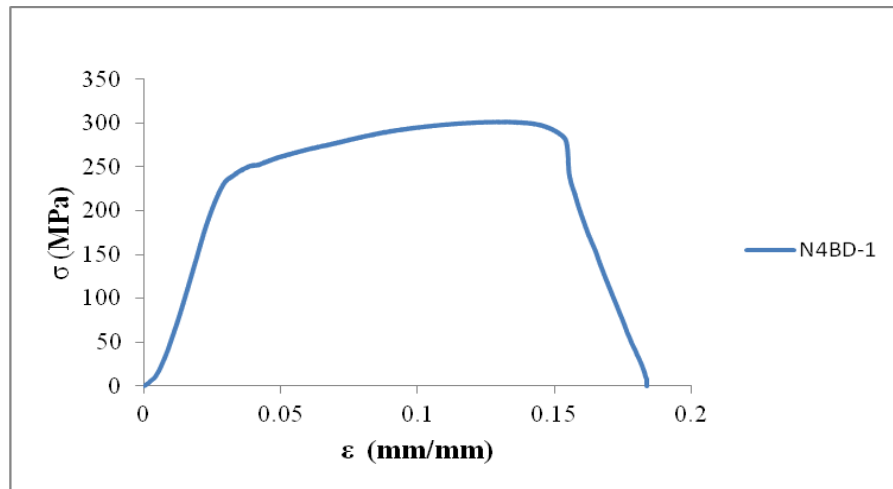
4 mm kalınlığında, bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda korozyon olan deney numunelerinin (N4LB-1, N4LB-2, N4BD-1, N4BD-2, N4BY-1, N4BY-2 deney numuneleri) aksenal çekme deneyi öncesi ve sonrası görünümleri sırasıyla Şekil 5.37 ve Şekil 5.38'de, çekme deneyinden elde edilen gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) grafikleri Şekil 5.39, Şekil 5.40, Şekil 5.41, Şekil 5.42, Şekil 5.43, Şekil 5.44 ve Şekil 5.45'te görülmektedir. Deney sonrasında elde edilen gerilme değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.13'de, birim uzamaların karşılaştırılması Çizelge 5.14'de ve deney numunelerinde oluşumu gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri ise Çizelge 5.15'de görülmektedir.

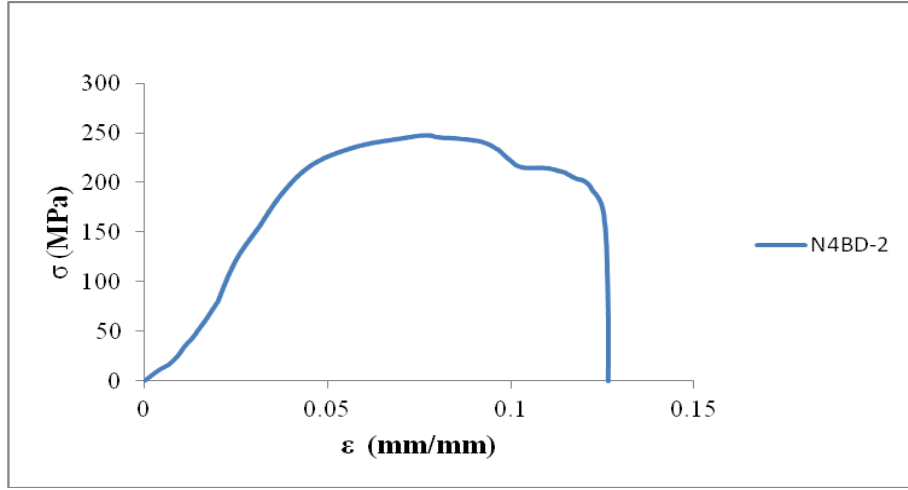


Şekil 5.37. Deney öncesi 4 mm kalınlığında bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numuneler

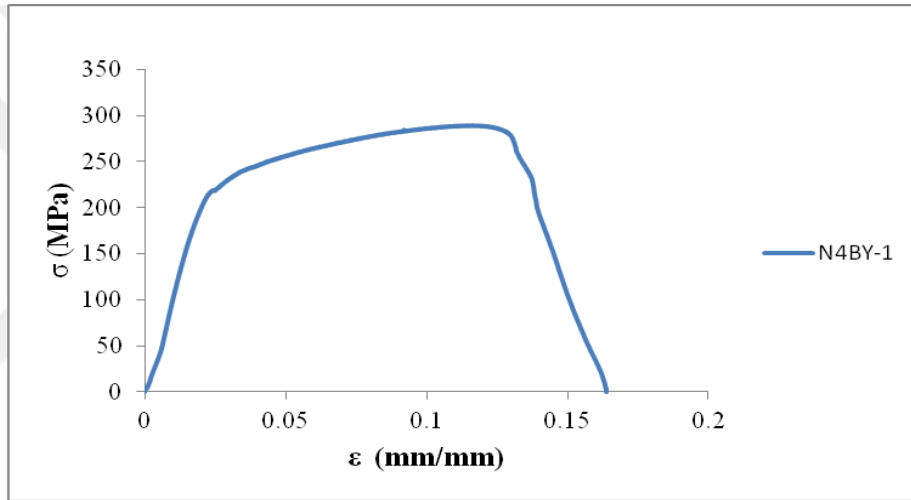


Şekil 5.38. Deney sonrası 4 mm kalınlığında bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numuneler

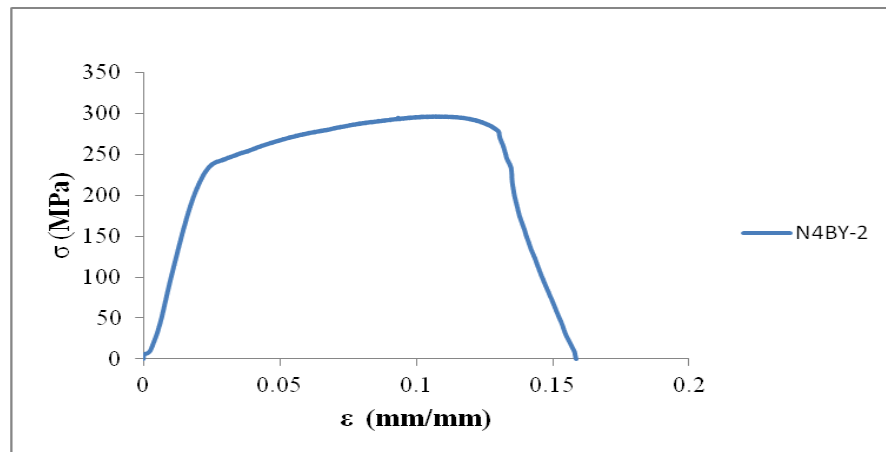
Şekil 5.39. N4LB-1 numunesi σ - ϵ grafiğiŞekil 5.40. N4LB-2 numunesi σ - ϵ grafiğiŞekil 5.41. N4BD-1 numunesi σ - ϵ grafiği



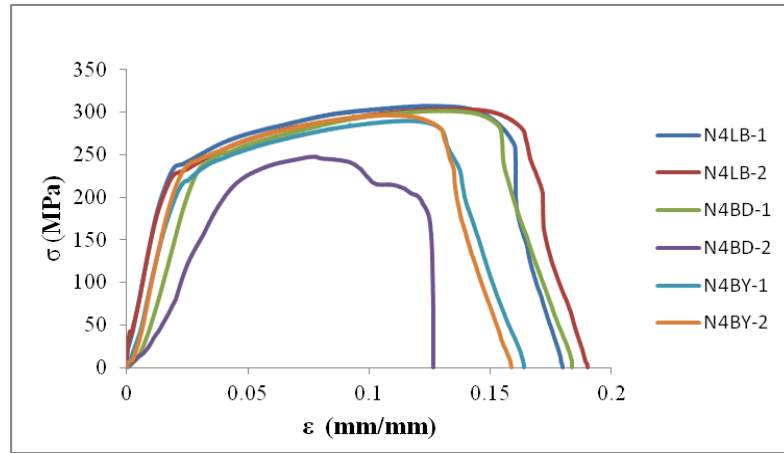
Şekil 5.42. N4BD-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.43. N4BY-1 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.44. N4BY-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.45. N4LB-1, N4LB-2, N4BD-1, N4BD-2, N4BY-1, N4BY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri

Çizelge 5.13. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numunelerdeki gerilmelerin karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Gerilmesi F_y (MPa)	Ort. Akma Gerilmesi $F_{y,ort}$ (MPa)	$F_{y,ort}/F_{y,ortreferans}$	Maksimum Çekme Gerilmesi F_m (MPa)	Ort. Maksimum Çekme Gerilmesi $F_{m,ort}$ (MPa)	$F_{m,ort}/F_{m,ortreferans}$
N4LB-1	236.64	232.28	1.00	307.28	305.64	1.00
N4LB-2	227.92			304.00		
N4BD-1	229.57	222.80	0.96	301.65	274.89	0.90
N4BD-2	216.04			248.14		
N4BY-1	218.98	223.64	0.96	289.78	293.21	0.95
N4BY-2	228.313			296.65		

Çizelge 5.14. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numunelerdeki birim uzamaların karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Birim Uzaması ϵ_y (mm/mm)	Ort. Akma Birim Uzaması $\epsilon_{y,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{y,ort}/\epsilon_{y,ortreferans}$	Kopma Birim Uzaması ϵ_u (mm/mm)	Ortalama Birim Uzaması $\epsilon_{u,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{u,ort}/\epsilon_{u,ortreferans}$	ϵ_u/ϵ_y Süneklik Katsayısı
N4LB-1	0.02022	0.02010	1.00	0.15779	0.16164	1.00	8.04
N4LB-2	0.01998			0.16549			
N4BD-1	0.02895	0.03691	1.83	0.15484	0.12903	0.80	3.50
N4BD-2	0.04487			0.10322			
N4BY-1	0.02397	0.02332	1.16	0.13395	0.13142	0.81	5.65
N4BY-2	0.02267			0.13112			

Korozyona uğramış numuneler ile referans numuneler karşılaştırıldığında aşağıdaki farklılıklar belirlenmiştir;

Bulonda, kütlece %10 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımlarında %4 azalma olduğu belirlenmiş, ortalama akma birim uzamalarda %83 artış ve ortalama kopma birim uzamalarda %20 azalma meydana gelmiştir. Maksimum dayanımları ise %10 azalmıştır.

Bulonda, kütlece %20 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımlarında %4 azalma olduğu belirlenmiş, ortalama akma birim uzamalarında %16 artış ve ortalama kopma birim uzamalarında %19 azalma meydana gelmiştir. Maksimum dayanımları ise %5 azalmıştır.

N4BD-2 numunesinde bulonda oluşan korozyon bulunun dış kısımlarında yoğunlaştığı için çekme işlemi sırasında somun bulondan sıyrılmış ve dayanımında önemli azalma meydana gelmiştir (Şekil 5.46). Somun bulondan sıyrıldığı anda çekme deney cihazı birleşim elemanını koptu gösterip deneyi sonlandırmıştır. Diğer numunelerde kopma zayıt bölgesinde meydana gelmiştir.

Çizelge 5.15. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri

Numune Adı	Korozyon Türü	Kırılma Bölgesi
N4LB-1	-	Zayıt Bölgesi
N4LB-2	-	Zayıt Bölgesi
N4BD-1	Üniform	Zayıt Bölgesi
N4BD-2	Üniform	Dışlerde Sıyrıma meydana geldi
N4BY-1	Üniform	Zayıt Bölgesi
N4BY-2	Üniform	Zayıt Bölgesi



Şekil 5.46. Bulon bağlantısında somunların sıyrılması

5.1.6. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olması durumu

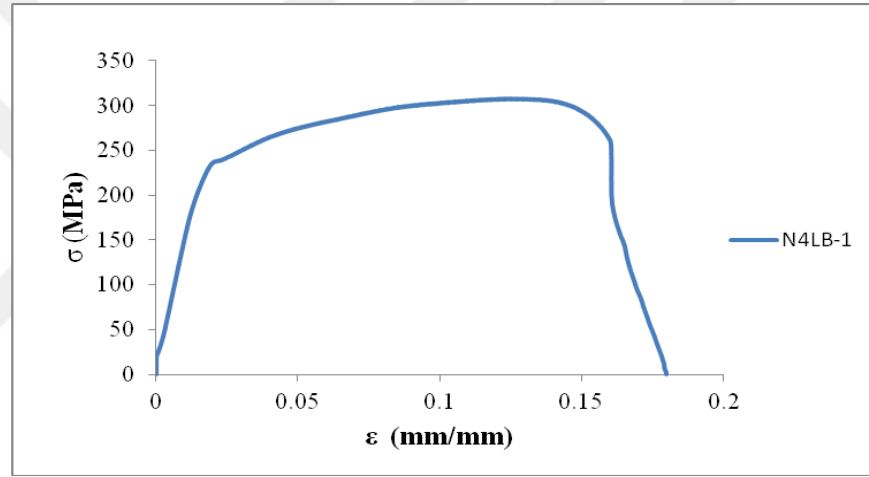
4 mm kalınlığında, bulonlu birleşimli levhalarda sadece levhalarda korozyon olan numunelerin (N4LB-1, N4LB-2, N4BY-1, N4BY-2 deney numuneleri) aksenal çekme deneyi öncesi ve sonrası görünüşleri sırasıyla Şekil 5.47 ve Şekil 5.48'de, çekme deneyinden elde edilen gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) grafikleri ise Şekil 5.49, Şekil 5.50, Şekil 5.51, Şekil 5.52 ve Şekil 5.53'te görülmektedir. Deney sonrasında elde edilen gerilme değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.16'da, birim uzamaların karşılaştırılması Çizelge 5.17'de ve deney numunelerinde oluşumu gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri ise Çizelge 5.18'de görülmektedir.



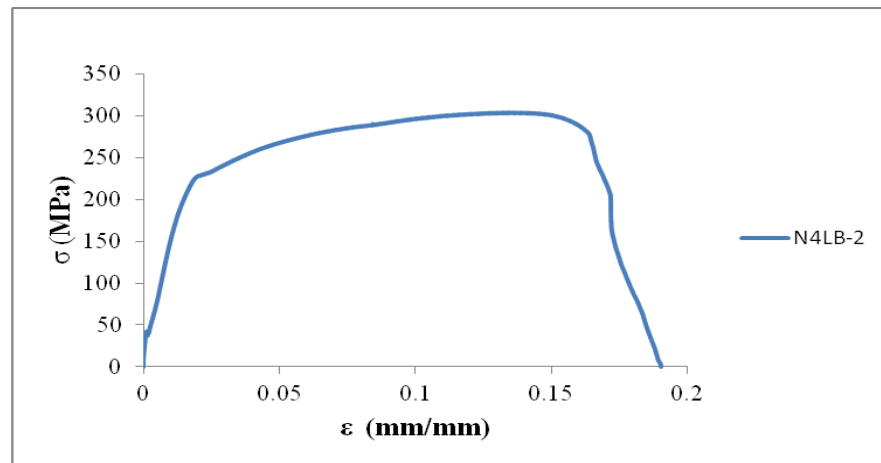
Şekil 5.47. Deney öncesi 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numuneler



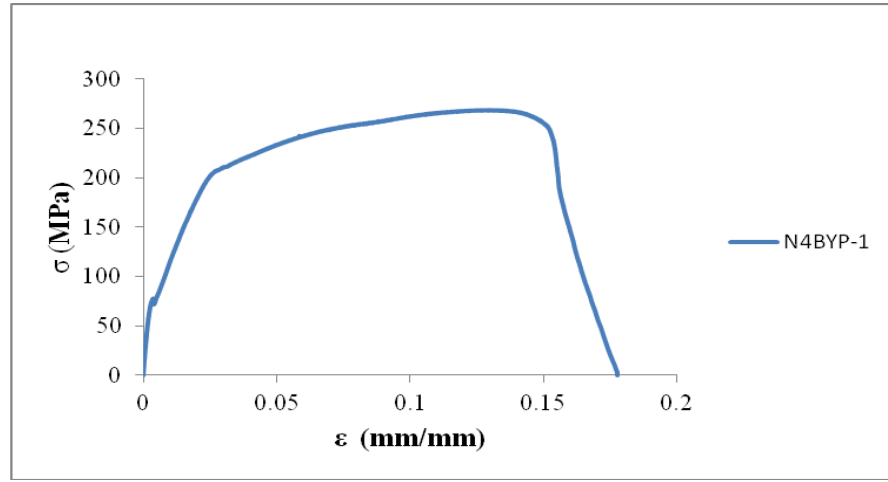
Şekil 5.48. Deney sonrası 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numuneler



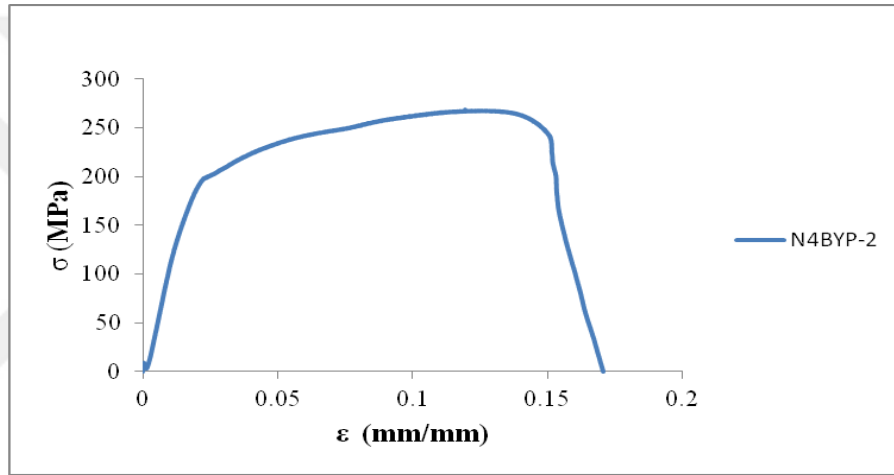
Şekil 5.49. N4LB-1 numunesi σ - ϵ grafiği



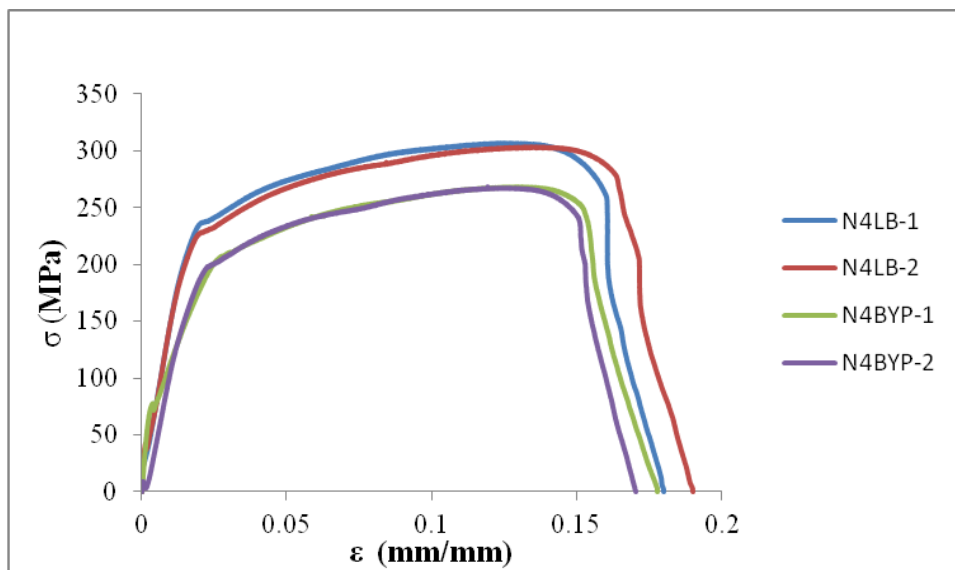
Şekil 5.50. N4LB-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.51. N4BYP-1 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.52. N4BYP-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.53. N4LB-1, N4LB-2, N4BY-1, N4BY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri

Çizelge 5.16. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numunelerde gerilmelerin karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Gerilmesi F_y (MPa)	Ort. Akma Gerilmesi $F_{y,ort}$ (MPa)	$F_{y,ort}/F_{y,ortreferans}$	Maksimum Çekme Gerilmesi F_m (MPa)	Ort. Maksimum Çekme Gerilmesi $F_{m,ort}$ (MPa)	$F_{m,ort}/F_{m,ortreferans}$
N4LB-1	236.64	232.28	1.00	307.28	305.64	1.00
N4LB-2	227.92			304.00		
N4BYP-1	204.56	202.03	0.87	268.91	268.67	0.87
N4BYP-2	199.50			268.43		

Çizelge 5.17. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numunelerde birim uzamaların karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Birim Uzaması ϵ_y (mm/mm)	Ort. Akma Birim Uzaması $\epsilon_{y,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{y,ort}/\epsilon_{y,ortreferans}$	Kopma Birim Uzaması ϵ_u (mm/mm)	Ortalama Birim Uzaması $\epsilon_{u,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{u,ort}/\epsilon_{u,ortreferans}$	ϵ_u/ϵ_y Süneklik Katsayısı
N4LB-1	0.02022	0.02010	1.00	0.15779	0.16164	1.00	8.04
N4LB-2	0.01998			0.16549			
N4BYP-1	0.02606	0.02494	1.24	0.15386	0.15266	0.94	6.12
N4BYP-2	0.02362			0.15146			

Korozyona uğramış numuneler ile referans numuneler karşılaştırıldığında aşağıdaki farklılıklar belirlenmiştir;

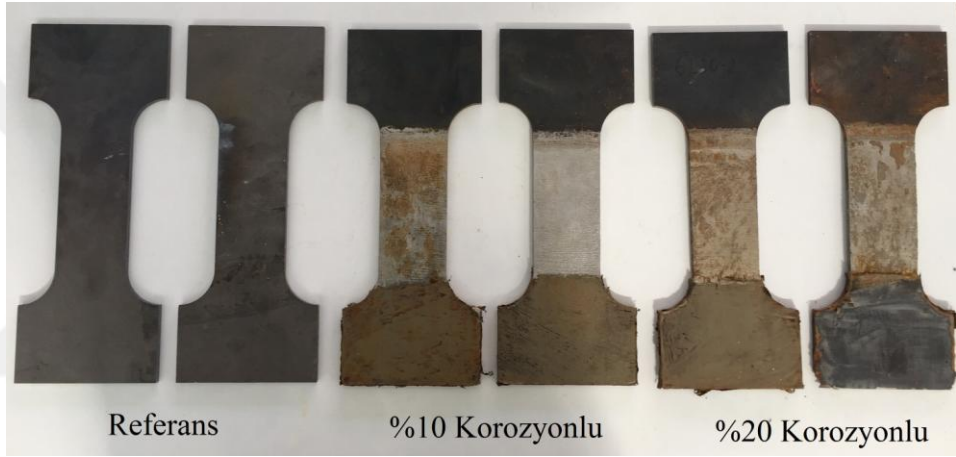
Kütlesinde %10 azalma meydana getirilerek imal edilmiş numunelerde ortalama akma dayanımları %13 azalmış, ortalama akma birim uzamaları %24 artmış ve ortalama kopma birim uzamaları %6 azalmıştır. Maksimum dayanımlarında ise %13 azalma meydana geldiği belirlenmiştir.

Çizelge 5.18. 4 mm kalınlığındaki bulonlu levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numunelerde gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri

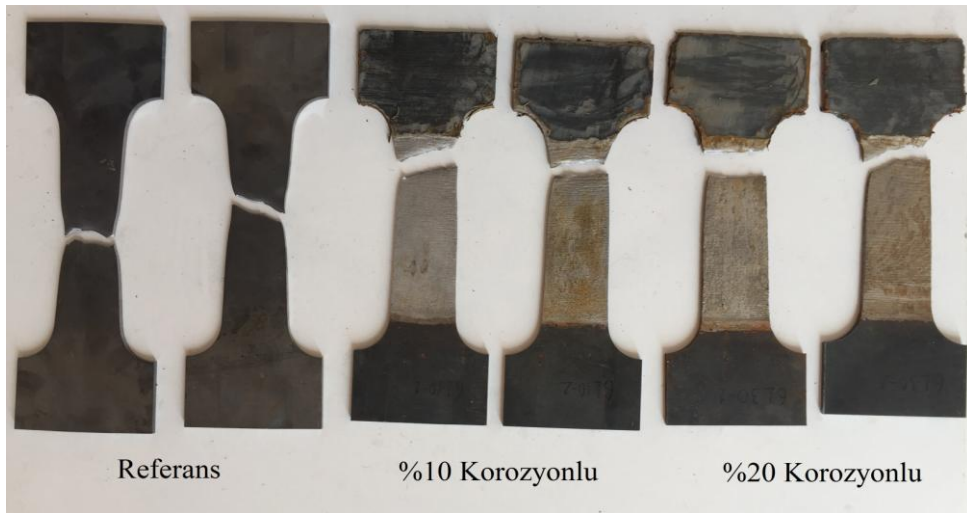
Numune Adı	Korozyon Türü	Kırılma Bölgesi
N4LB-1	-	Zayıt Bölgesi
N4LB-2	-	Zayıt Bölgesi
N4BD-1	Yapay Korozyon	Zayıt Bölgesi
N4BD-2	Yapay Korozyon	Zayıt Bölgesi

5.1.7. 6 mm kalınlığındaki levhalarda korozyon olması durumu

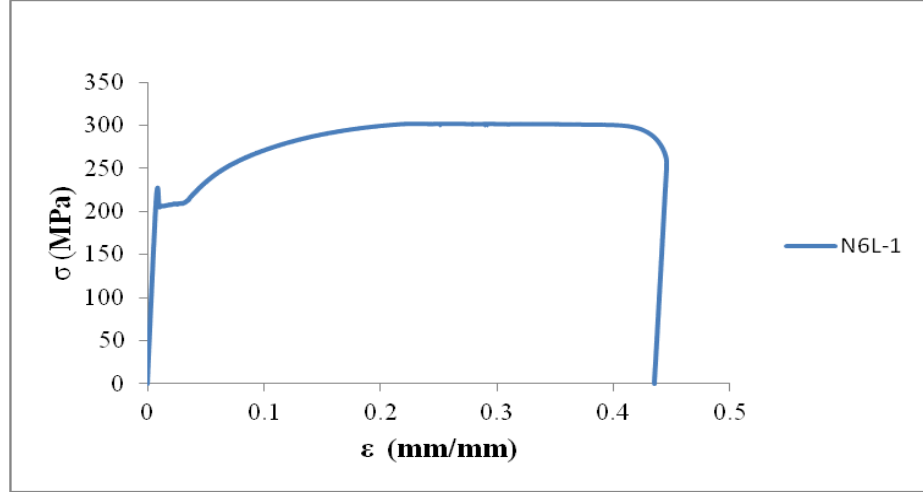
6 mm kalınlığındaki levhaların (N6L1, N6L2, N6LD1, N6LD2, N6LY1, N6LY2 deney numuneleri) aksenal çekme deneyi öncesi ve sonrası görünümleri sırasıyla Şekil 5.54 ve Şekil 5.55'te, çekme deneyinden elde edilen gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) grafikleri ise Şekil 5.56, Şekil 5.57, Şekil 5.58, Şekil 5.59, Şekil 5.60, Şekil 5.61 ve Şekil 5.62'de görülmektedir. Deney sonrasında elde edilen gerilme değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.19'da, birim uzamaların karşılaştırması Çizelge 5.20'de ve deney numunelerinde oluşumu gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri ise Çizelge 5.21'de görülmektedir.



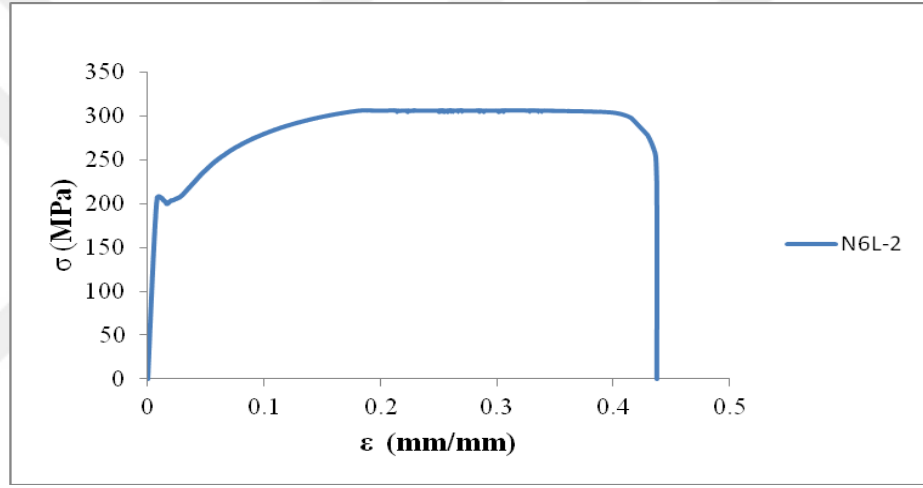
Şekil 5.54. Deney sonrası 6 mm kalınlığındaki levha numuneleri



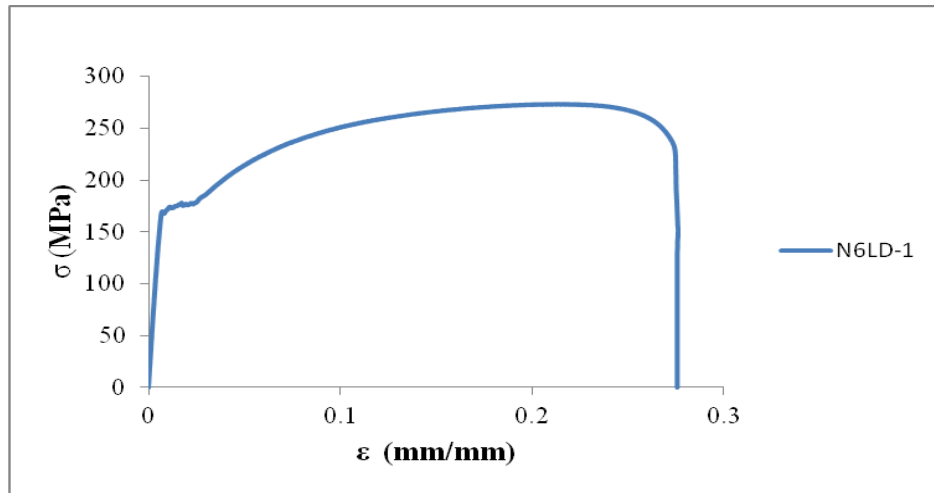
Şekil 5.55. Deney sonrası 6 mm kalınlığındaki levha numuneleri



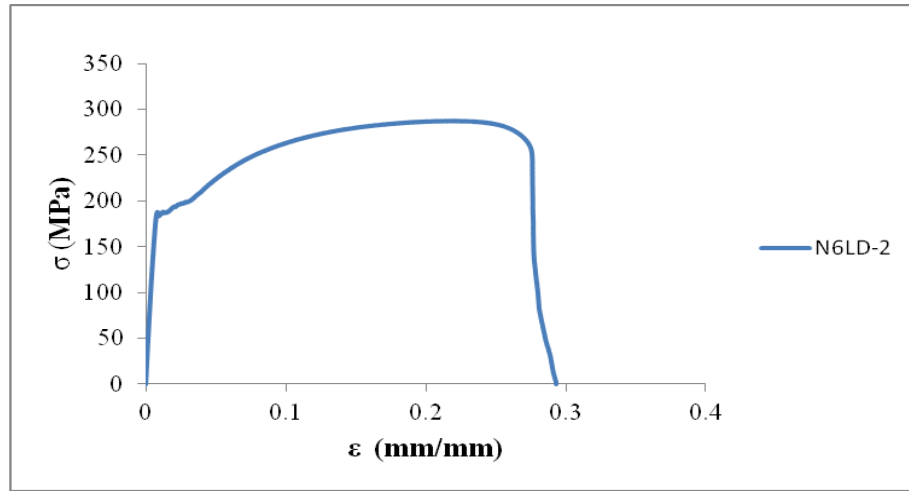
Şekil 5.56. N6L-1 numunesi σ - ϵ grafiği



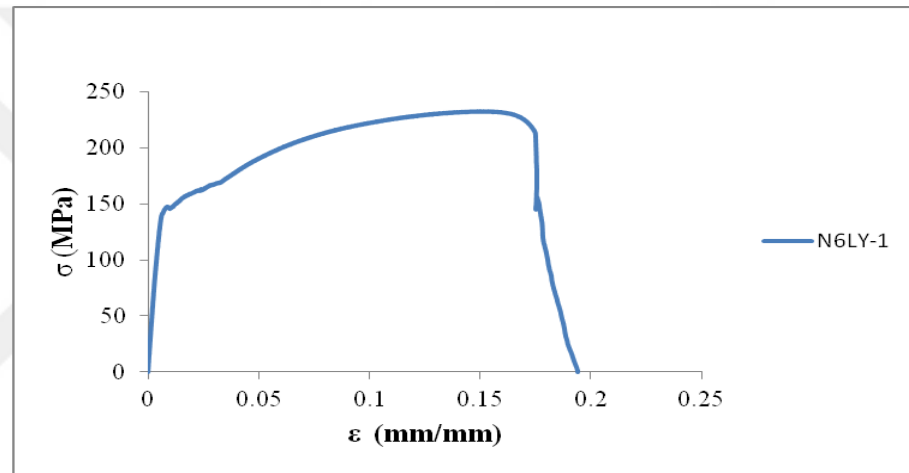
Şekil 5.57. N6L-2 numunesi σ - ϵ grafiği



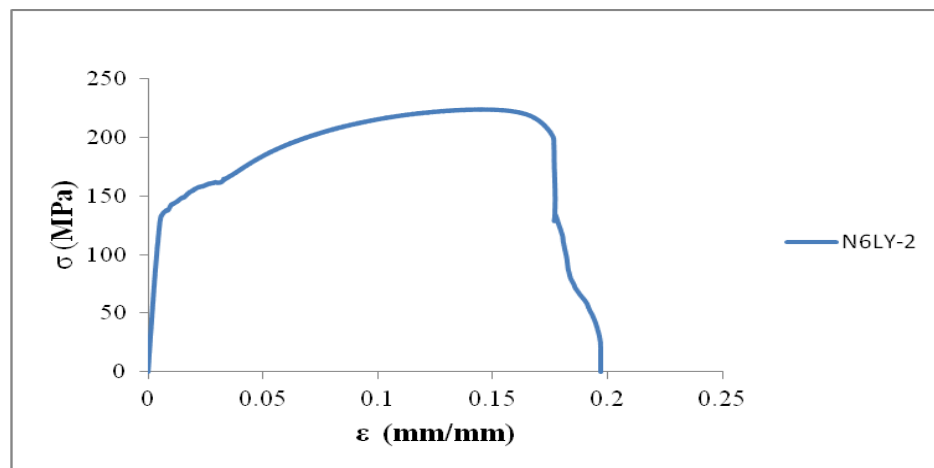
Şekil 5.58. N6LD-1 numunesi σ - ϵ grafiği



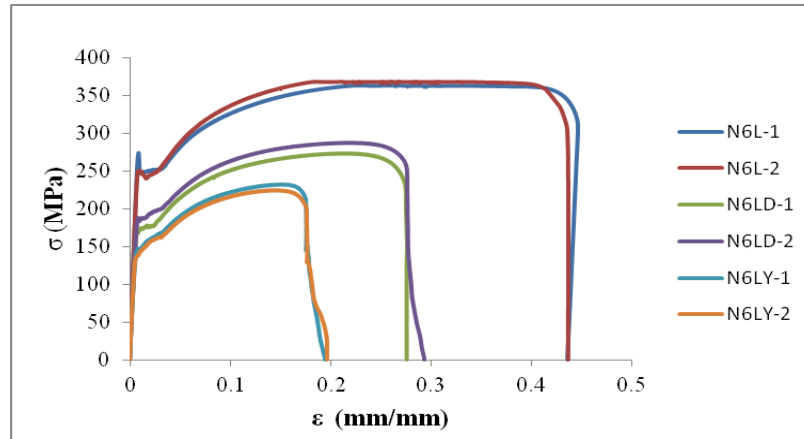
Şekil 5.59. N6LD-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.60. N6LY-1 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.61. N6LY-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.62. N6L-1, N6L-2, N6LD-1, N6LD-2, N6LY-1, N6LY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri

Çizelge 5.19. 6 mm kalınlığındaki levhalarda gerilmelerin karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Gerilmesi F_y (MPa)	Ort. Akma Gerilmesi $F_{y,ort}$ (MPa)	$F_{y,ort}/F_{y,ortreferans}$	Maksimum Çekme Gerilmesi F_m (MPa)	Ort. Maksimum Çekme Gerilmesi $F_{m,ort}$ (MPa)	$F_{m,ort}/F_{m,ortreferans}$
N6L-1	270.27	260.27	1.00	362.72	365.465	1.00
N6L-2	250.27			368.21		
N6LD-1	169.76	178.45	0.68	273.34	280.62	0.76
N6LD-2	187.13			287.89		
N6LY-1	146.62	144.34	0.55	232.79	228.56	0.63
N6LY-2	142.05			224.33		

Çizelge 5.20. 6 mm kalınlığındaki levhalarda birim uzamaların karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Birim Uzaması ϵ_y (mm/mm)	Ort. Akma Birim Uzaması $\epsilon_{y,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{y,ort}/\epsilon_{y,ortreferans}$	Kopma Birim Uzaması ϵ_u (mm/mm)	Ortalama Birim Uzaması $\epsilon_{u,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{u,ort}/\epsilon_{u,ortreferans}$	ϵ_u/ϵ_y Süneklik Katsayısı
N6L-1	0.00853	0.00889	1.00	0.44585	0.44154	1.00	49.67
N6L-2	0.00905			0.43723			
N6LD-1	0.00703	0.00750	0.84	0.27521	0.27588	0.62	36.78
N6LD-2	0.00796			0.27654			
N6LY-1	0.00831	0.00904	1.02	0.17564	0.17633	0.40	19.51
N6LY-2	0.00977			0.17702			

Korozyona uğramış numuneler ile referans numuneler karşılaştırıldığında aşağıdaki farklılıklar belirlenmiştir;

Kütlece %10 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımlarında %32 azalma olduğu belirlenmiş, ortalama akma birim uzamalarında %16 azalma ve ortalama kopma birim uzamalarında %38 azalma meydana gelmiştir. Maksimum dayanımları ise %24 azalmıştır.

Kütlece %20 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımlarında %45 azalma olduğu belirlenmiş, ortalama akma birim uzamalarında %2 artış ve ortalama kopma birim uzamasında %60 azalma meydana gelmiştir. Maksimum dayanımları ise %37 azalmıştır.

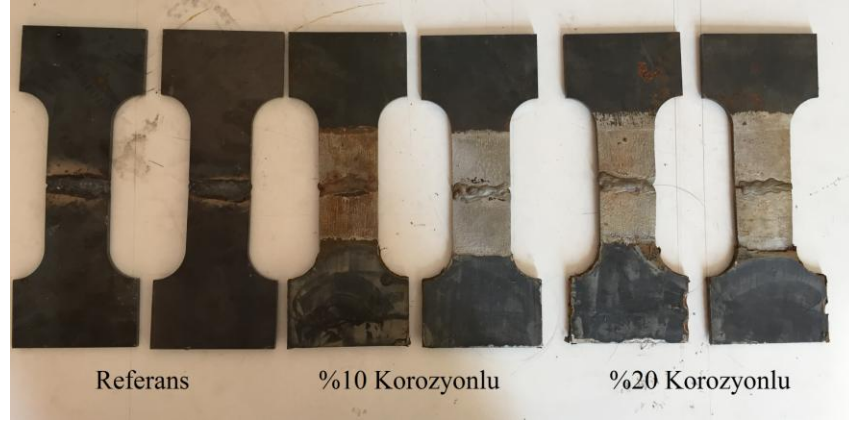
6 mm kalınlığındaki birleşimsiz düz levhalarda oluşan korozyon türü beklendiği gibi üniform korozyon olarak meydana gelmiştir. Referans numunelerde kırılma gövdede sünek kopma şeklinde meydana gelmiştir. Korozyona uğrayan numunelerde ise başlık gövde birleşim bölgesinden yani gerilme yığılmalarının olduğu bölgede kopma meydana gelmiştir.

Çizelge 5.21. 6 mm kalınlığındaki levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri

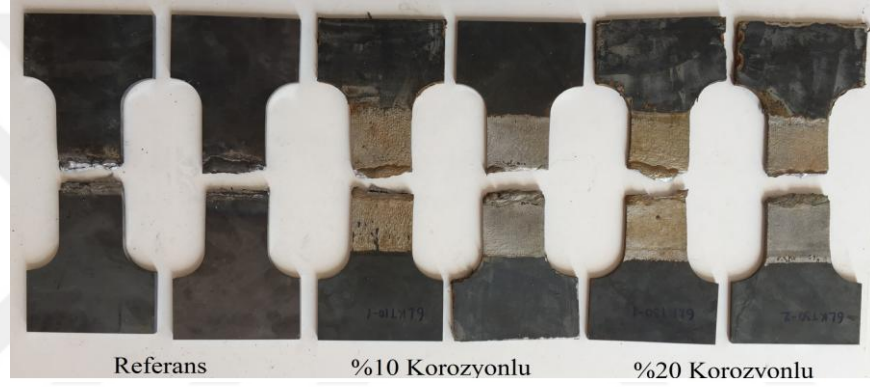
Numune Adı	Korozyon Türü	Kırılma Bölgesi
N6L-1	-	Levhada gövde kısmında
N6L-2	-	Levhada gövde kısmında
N6LD-1	Üniform Korozyon	Başlık gövde birleşim bölgesi
N6LD-2	Üniform Korozyon	Başlık gövde birleşim bölgesi
N6LY-1	Üniform Korozyon	Başlık gövde birleşim bölgesi
N6LY-2	Üniform Korozyon	Başlık gövde birleşim bölgesi

5.1.8. 6 mm kalınlığındaki küt kaynaklı levhalarda korozyon olması durumu

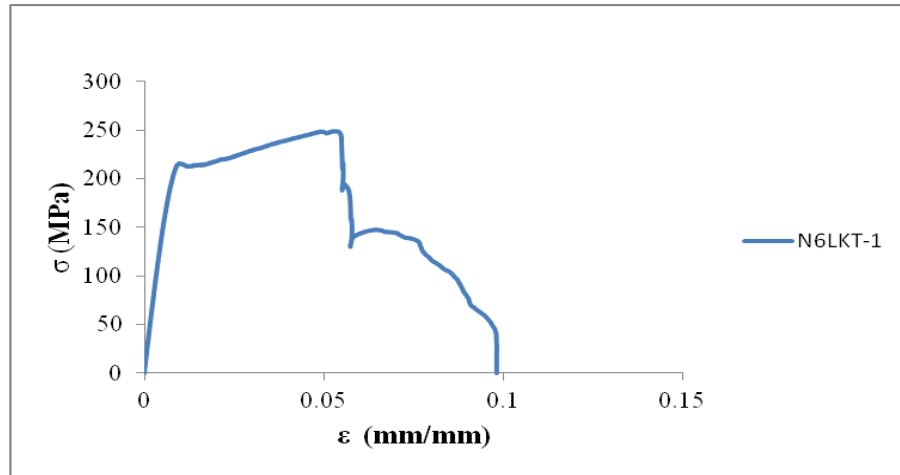
6 mm kalınlığındaki küt kaynaklı levhaların (N6LKT-1, N6LKT-2, N6LKTD-1, N6LKTD-2, N6LKTY-1, N6LKTY-2 deney numuneleri) eksenel çekme deneyi öncesi ve sonrası görünüşleri sırasıyla Şekil 5.63 ve Şekil 5.64'te, çekme deneyinden elde edilen gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) grafikleri ise Şekil 5.65, Şekil 5.66, Şekil 5.67, Şekil 5.68, Şekil 5.69, Şekil 5.70 ve Şekil 5.71'de görülmektedir. Deney sonrasında elde edilen gerilme değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.22'de, birim uzamaların karşılaştırılması Çizelge 5.23'de ve oluşumu gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri ise Çizelge 5.24'de görülmektedir.



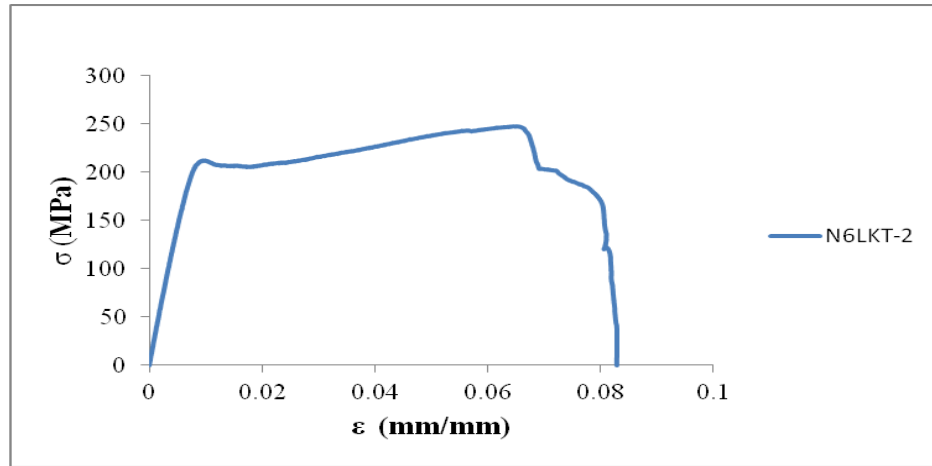
Şekil 5.63. Deney öncesi 6 mm kalınlığında ve küt kaynaklı levha numuneleri



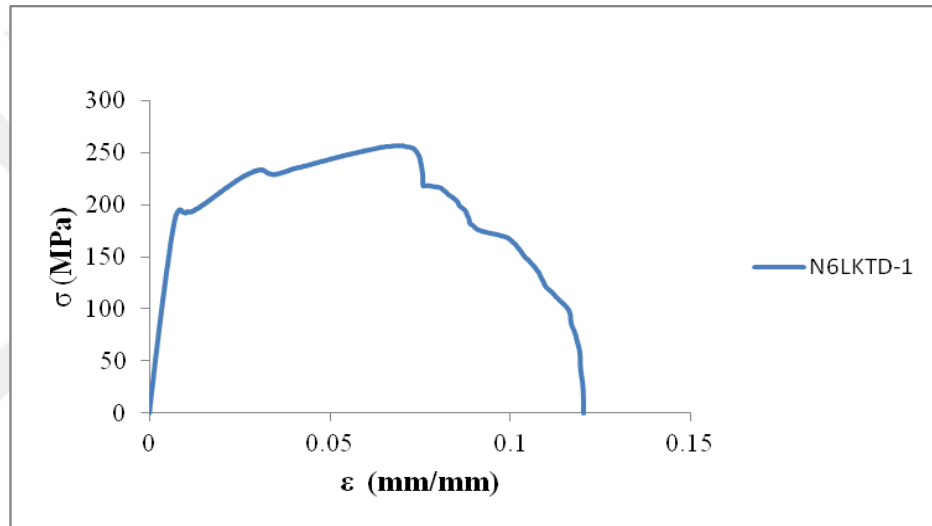
Şekil 5.64. Deney sonrası 6 mm kalınlığında ve küt kaynaklı levha numuneleri



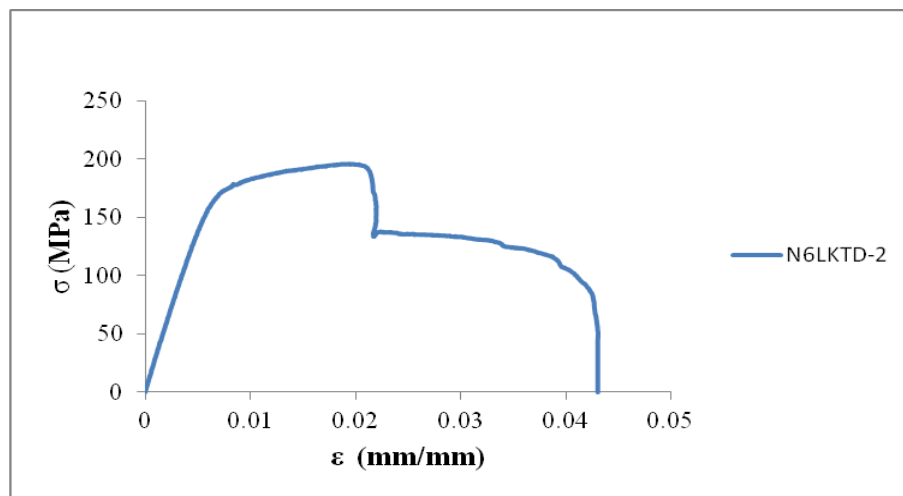
Şekil 5.65. N6LKT-1 numunesi σ - ϵ grafiği



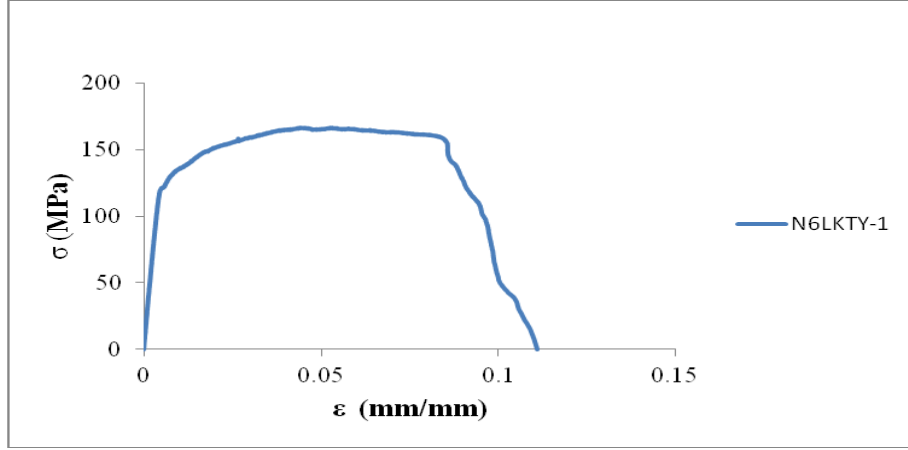
Şekil 5.66. N6LKT-1 numunesi σ - ϵ grafiği



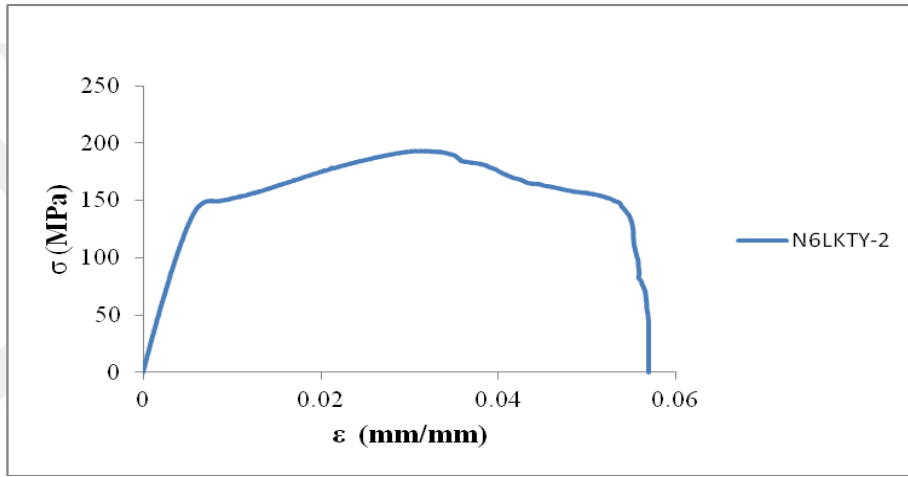
Şekil 5.67. N6LKT-1 numunesi σ - ϵ grafiği



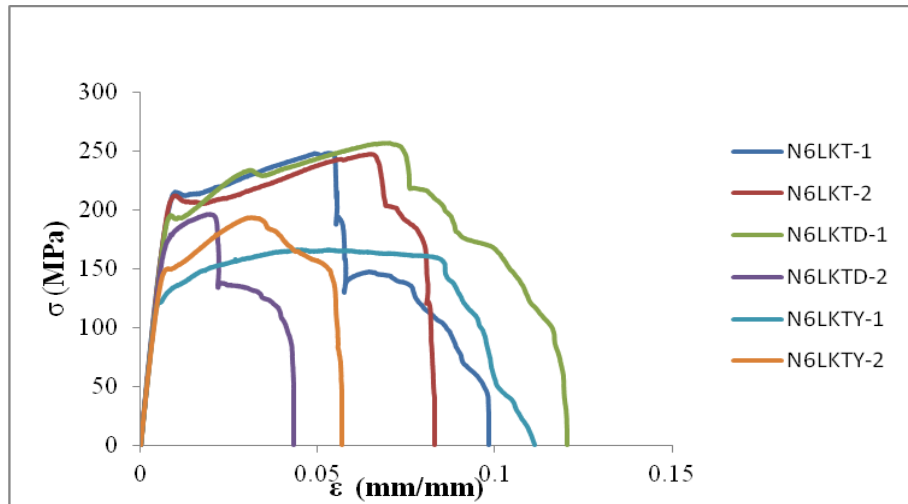
Şekil 5.68. N6LKT-1 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.69. N6LKTY-1 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.70. N6LKTY-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.71. N6LKT-1, N6LKT-2, N6LKTD-1, N6LKTD-2, N6LKTY-1, N6LKTY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri

Çizelge 5.22. 6 mm kalınlığındaki küt kaynaklı birleşimli levhalarda gerilmelerin karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Gerilmesi F_y (MPa)	Ort. Akma Gerilmesi $F_{y,ort}$ (MPa)	$F_{y,ort}/F_{y,ortreferans}$	Maksimum Çekme Gerilmesi F_m (MPa)	Ort. Maksimum Çekme Gerilmesi $F_{m,ort}$ (MPa)	$F_{m,ort}/F_{m,ortreferans}$
N6LKT-1	210.68	210.46	1.00	248.83	248.27	1.00
N6LKT-2	210.24			247.71		
N6LKTD-1	192.66	183.41	0.87	257.06	226.55	0.91
N6LKTD-2	174.16			196.04		
N6LKTY-1	121.03	133.06	0.63	166.55	180.08	0.73
N6LKTY-2	145.09			193.60		

Çizelge 5.23. 6 mm kalınlığındaki küt kaynaklı birleşimli levhalarda birim uzamaların karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Birim Uzaması ϵ_y (mm/mm)	Ort. Akma Birim Uzaması $\epsilon_{y,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{y,ort}/\epsilon_{y,ortreferans}$	Kopma Birim Uzaması ϵ_u (mm/mm)	Ortalama Birim Uzaması $\epsilon_{u,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{u,ort}/\epsilon_{u,ortreferans}$	ϵ_u/ϵ_y Süneklik Katsayısı
N6LKT-1	0.00873	0.00881	1.00	0.05483	0.05507	1.00	6.30
N6LKT-2	0.00888			0.05532			
N6LKTD-1	0.00784	0.00778	0.88	0.07576	0.04893	0.89	6.28
N6LKTD-2	0.00773			0.02209			
N6LKTY-1	0.00529	0.00577	0.65	0.08784	0.0654	1.18	11.33
N6LKTY-2	0.00625			0.04296			

Korozyona uğramış numuneler ile referans numuneler karşılaştırıldığında aşağıdaki farklılıklar belirlenmiştir;

Kütlece %10 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımında %13 azalma olduğu belirlenmiş, ortalama akma birim uzamasında %12 azalma ve ortalama kopma birim uzamasında %11 azalma gözlenmiştir. Maksimum dayanımda ise %9 azalma meydana gelmiştir.

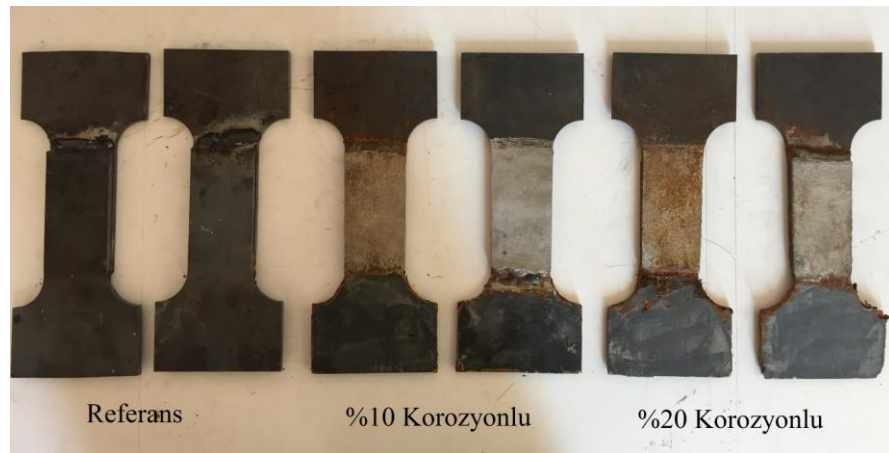
Kütlece %20 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımında %37 azalma olduğu belirlenmiş, ortalama akma birim uzamasında %35 azalma ve ortalama kopma birim uzamasında %18 artış meydana gelmiştir. Maksimum dayanım ise %27 azalmıştır.

Çizelge 5.24. 6 mm kalınlığındaki küt kaynaklı biresimli levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri

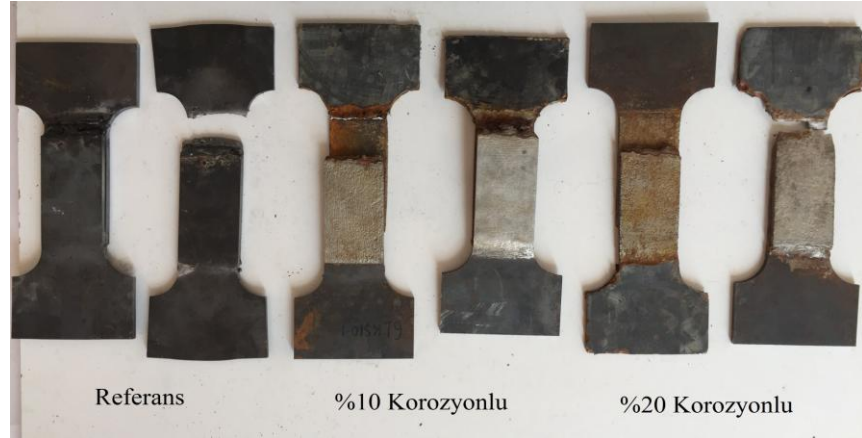
Numune Adı	Korozyon Türü	Kırılma Bölgesi
N6LKT-1	-	Kaynak Birleşiminden
N6LKT-2	-	Kaynak Birleşiminden
N6LKTD-1	Üniform Korozyon	Kaynak Birleşiminden
N6LKTD-2	Üniform Korozyon	Kaynak Birleşiminden
N6LKTY-1	Üniform Korozyon	Kaynak Birleşiminden
N6LKTY-2	Üniform Korozyon	Kaynak Birleşiminden

5.1.9. 6 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı levhalarda korozyon olması durumu

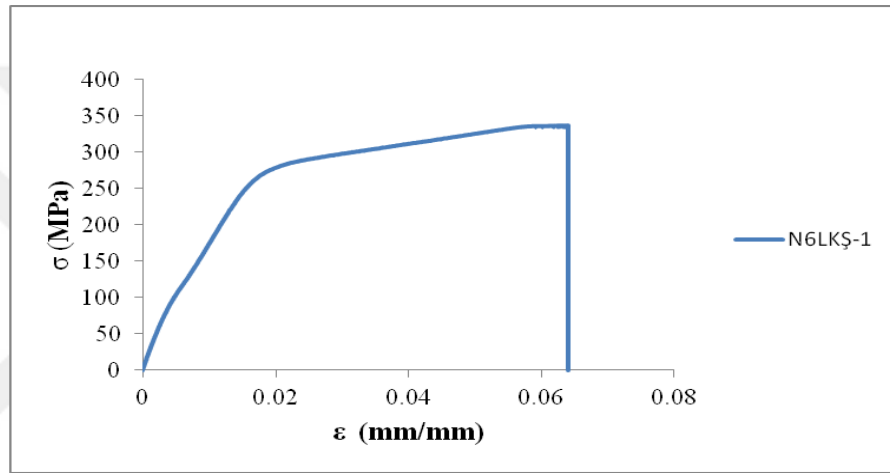
6 mm kalınlığında, köşe kaynaklı biresimli levhaların (N6LKŞ-1, N6LKŞ-2, N6LKŞD-1, N6LKŞD-2, N6LKŞY-1, N6LKŞY-2 deney numuneleri) aksenal çekme deneyi öncesi ve sonrası görünüşleri sırasıyla Şekil 5.72. ve Şekil 5.73'te, çekme deneyinden elde edilen gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) grafikleri ise Şekil 5.74, Şekil 5.75, Şekil 5.76, Şekil 5.77, Şekil 5.78, Şekil 5.79 ve Şekil 5.80'de görülmektedir. Deney sonrasında elde edilen gerilme değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.25'te, birim uzamaların karşılaştırılması Çizelge 5.26'de ve deney numunelerinde oluşumu gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri ise Çizelge 5.27'de görülmektedir.



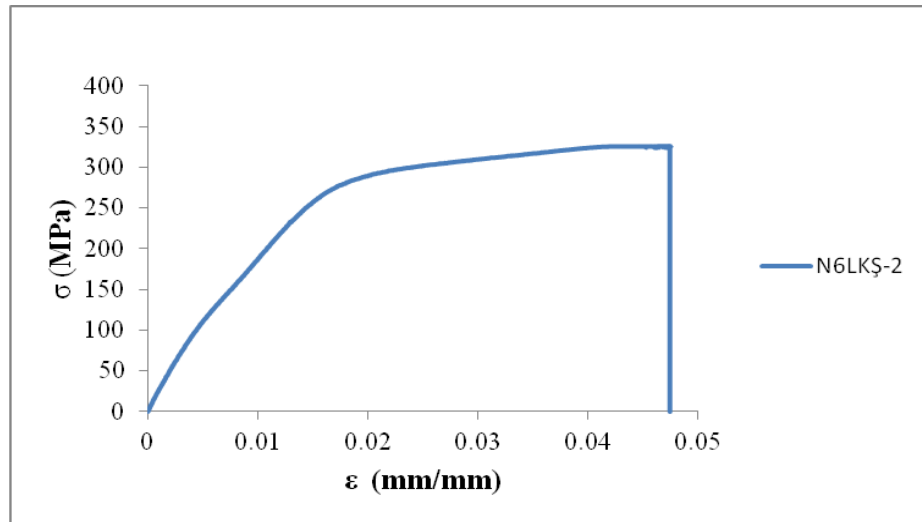
Şekil 5.72. Deney öncesi 6 mm kalınlığında ve köşe kaynaklı levha numuneleri



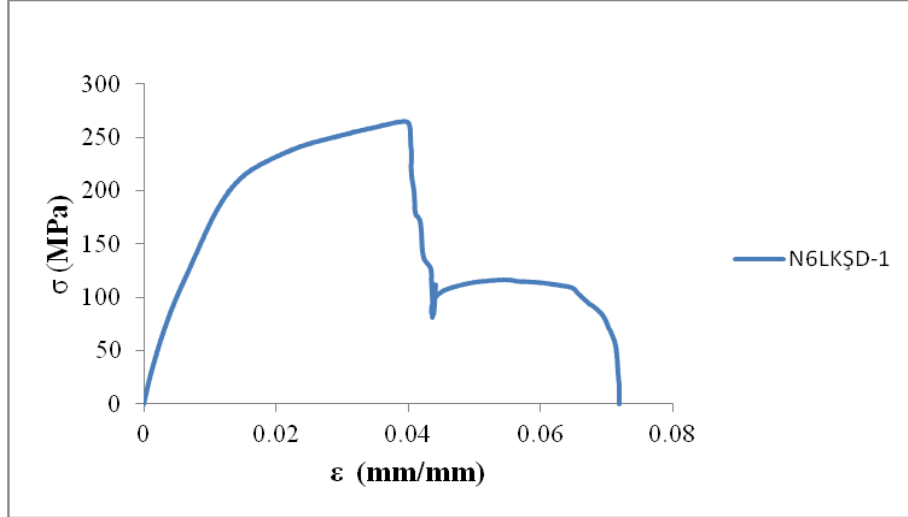
Şekil 5.73. Deney sonrası 6 mm kalınlığında ve köşe kaynaklı levha numuneleri



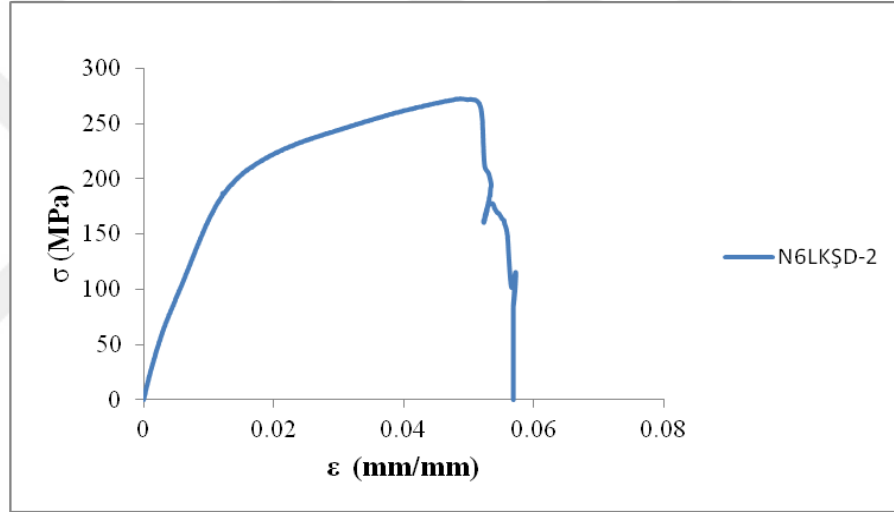
Şekil 5.74. N6LKŞ-1 numunesi σ - ϵ grafiği



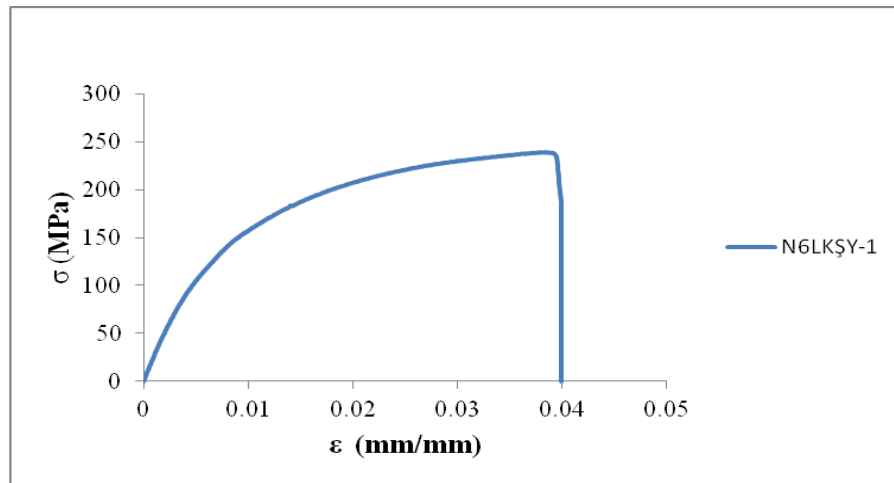
Şekil 5.75. N6LKŞ-2 numunesi σ - ϵ grafiği



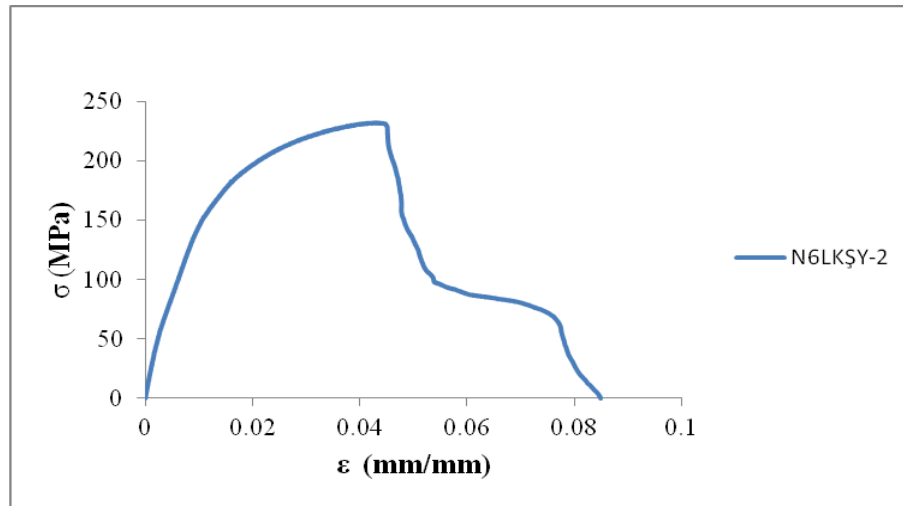
Şekil 5.76. N6LKŞD-1 numunesi σ - ϵ grafiği



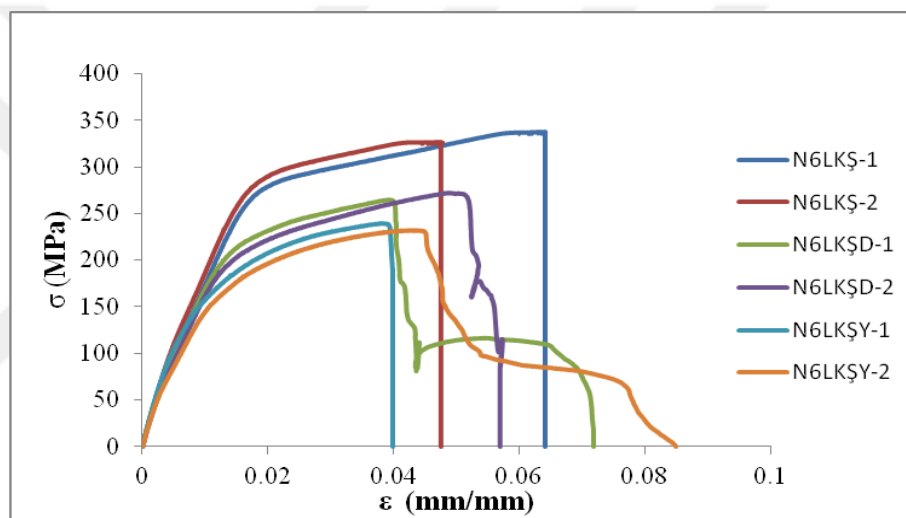
Şekil 5.77. N6LKŞD-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.78. N6LKŞY-1 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.79. N6LKŞY-1 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.80. N6LKŞ-1, N6LKŞ-2, N6LKŞD-1, N6LKŞD-2, N6LKŞY-1, N6LKŞY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri

Çizelge 5.25. 6 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı birleşimli levhalarda gerilmelerin karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Gerilmesi F_y (MPa)	Ort.Akma Gerilmesi $F_{y,ort}$ (MPa)	$F_{y,ort}/F_{y,ortreferans}$	Maksimum Çekme Gerilmesi F_m (MPa)	Ort. Maksimum Çekme Gerilmesi $F_{m,ort}$ (MPa)	$F_{m,ort}/F_{m,ortreferans}$
N6LKŞ-1	268.84	273.61	1.00	337.49	331.95	1.00
N6LKŞ-2	278.38			326.40		
N6LKŞD-1	201.61	198.71	0.72	265.14	268.75	0.81
N6LKŞD-2	195.81			272.35		
N6LKŞY-1	154.96	164.72	0.60	239.48	235.98	0.71
N6LKŞY-2	174.47			232.48		

Çizelge 5.26. 6 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı birleşimli levhalarda birim uzamaların karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Birim Uzaması ϵ_y (mm/mm)	Ort. Akma Birim Uzaması $\epsilon_{y,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{y,ort} / \epsilon_{y,ortreferans}$	Kopma Birim Uzaması ϵ_u (mm/mm)	Ortalama Birim Uzaması $\epsilon_{u,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{u,ort} / \epsilon_{u,ortreferans}$	ϵ_u / ϵ_y Süneklik Katsayısı
N6LKŞ-1	0.01774	0.01761	1.00	0.06405	0.05576	1.00	3.14
N6LKŞ-2	0.01748			0.04747			
N6LKŞD-1	0.01318	0.01344	0.76	0.04047	0.04634	0.83	3.44
N6LKŞD-2	0.01369			0.05222			
N6LKŞY-1	0.00955	0.01206	0.68	0.03988	0.04306	0.77	3.57
N6LKŞY-2	0.01457			0.04624			

Korozyona uğramış numuneler ile referans numuneler karşılaştırıldığında aşağıdaki farklılıklar belirlenmiştir;

Kütlece %10 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımı %28 azalmış, ortalama akma birim uzamasında %24 azalma ve ortalama kopma birim uzamasında %17 azalma meydana gelmiştir. Maksimum dayanımın ise %19 azalmıştır.

Kütlece %20 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımında %40 azalma olduğu belirlenmiş, ortalama akma birim uzamasında %32 azalma ve ortalama kopma birim uzamasında %23 azalma meydana gelmiştir. Maksimum dayanımın ise %29 azalmıştır.

N6LKŞD-1 numunesinde korozyon kaynaklarda yoğunlaşmıştır. Numunede bulunan kaynaklar belirli aralıklarla kırıldığı için σ - ϵ grafiğinde ilk kaynak kırıldığında gerilmede bir azalma meydana gelmiş diğer kaynak kırıldığında deney sona ermiştir.

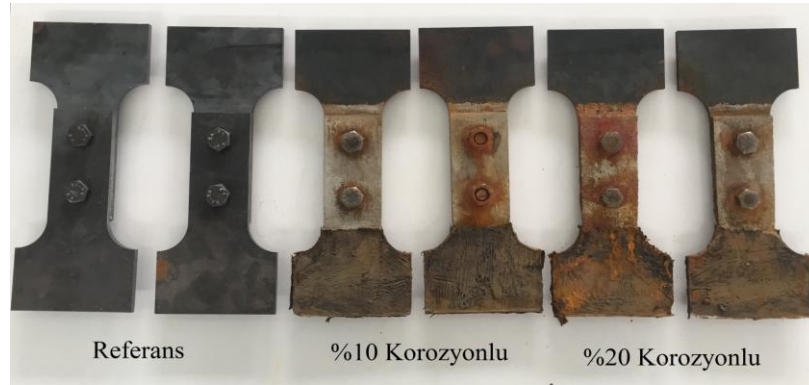
N6LKŞY-1 numunesinde korozyon başlık gövde birleşim bölgesinde yoğunlaşmış ve çukur korozyonu meydana gelmiştir. Çekme deneyinde başlık gövde birleşim kısmında kopmanın oluşmasıyla gevrek bir kırılma meydana gelmiştir.

Çizelge 5.27. 6 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı birleşimli levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri

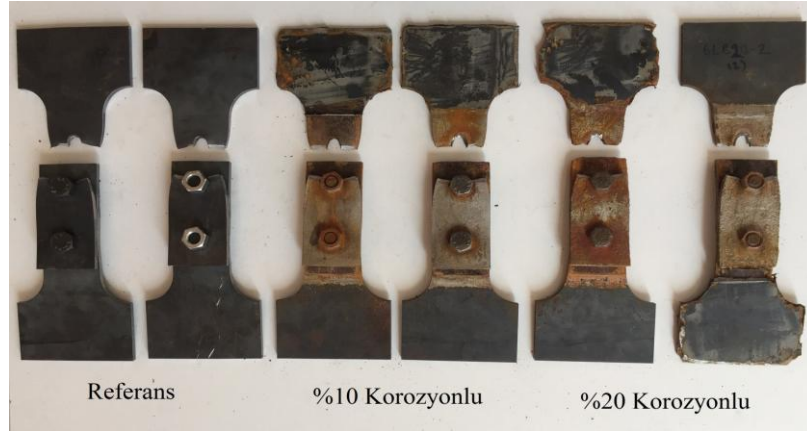
Numune Adı	Korozyon Türü	Kırılma Bölgesi
N6LKŞ-1	-	Kaynak Birleşiminden
N6LKŞ-2	-	Gövde Başlık Birleşiminden
N6LKŞD-1	Üniform Korozyon	Kaynak Birleşiminden
N6LKŞD-2	Üniform Korozyon	Kaynak Birleşiminden
N6LKŞY-1	Çukur Korozyon	Gövde Başlık Birleşiminden
N6LKŞY-2	Üniform Korozyon	Kaynak Birleşiminden

5.1.10. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda korozyon olması durumu

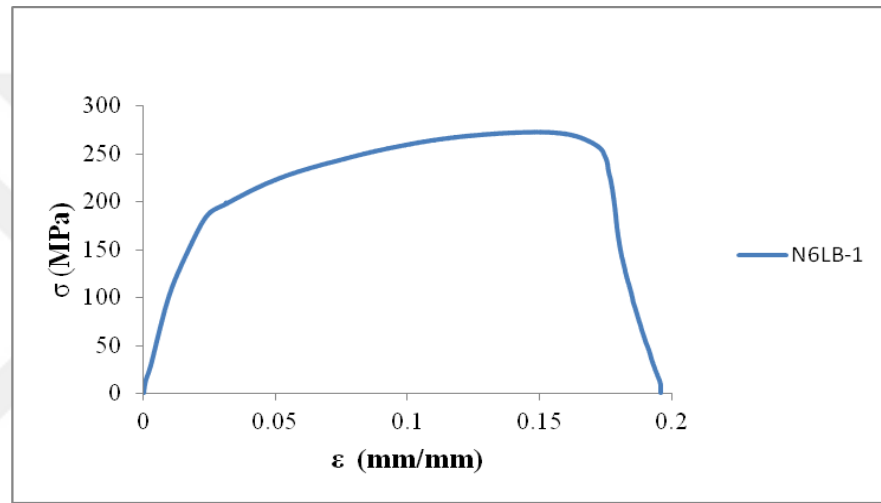
6 mm kalınlığında, bulonlu birleşimli levhaların (N6LB-1, N6LB-2, N6LBD-1, N6LBD-2, N6LBY-1, N6LBY-2 deney numuneleri) aksenal çekme deneyi öncesi ve sonrası görünüşleri sırasıyla Şekil 5.81 ve Şekil 5.82'de, çekme deneyinden elde edilen gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) grafikleri ise Şekil 5.83, Şekil 5.84, Şekil 5.85, Şekil 5.86, Şekil 5.87, Şekil 5.88 ve Şekil 5.89'da görülmektedir. Deney sonrasında elde edilen gerilme değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.28'de, birim uzamaların karşılaştırılması Çizelge 5.29'da ve deney numunelerinde oluşumu gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri ise Çizelge 5.30'da görülmektedir.



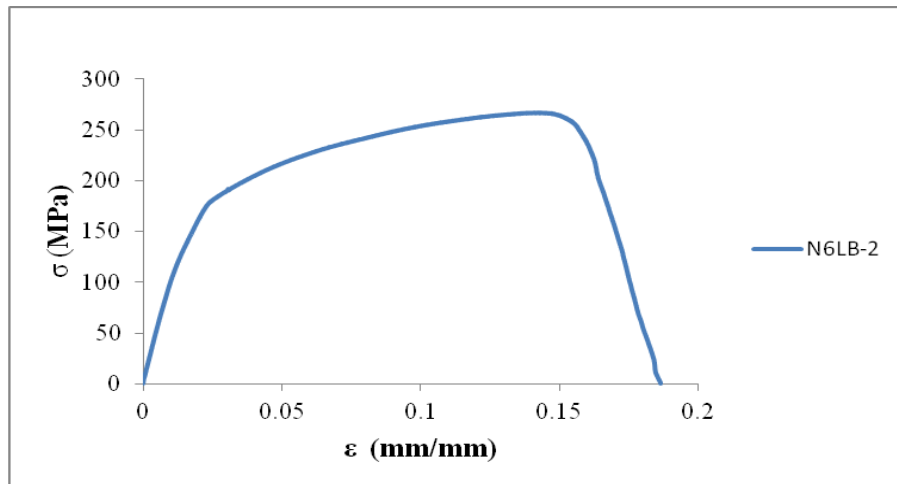
Şekil 5.81. Deney sonrası 6 mm kalınlığında ve bulonlu birleşimli numuneler



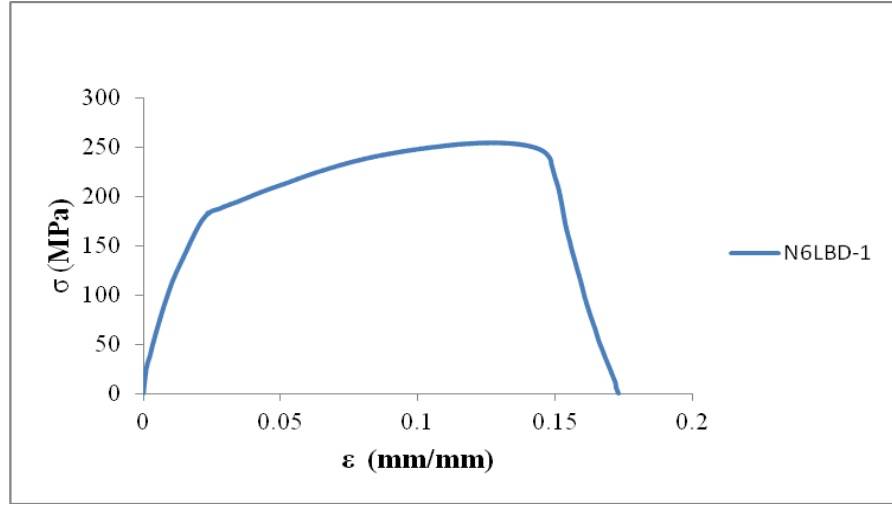
Şekil 5.82. Deney sonrası 6 mm kalınlığında ve bulonlu birleşimli numuneler



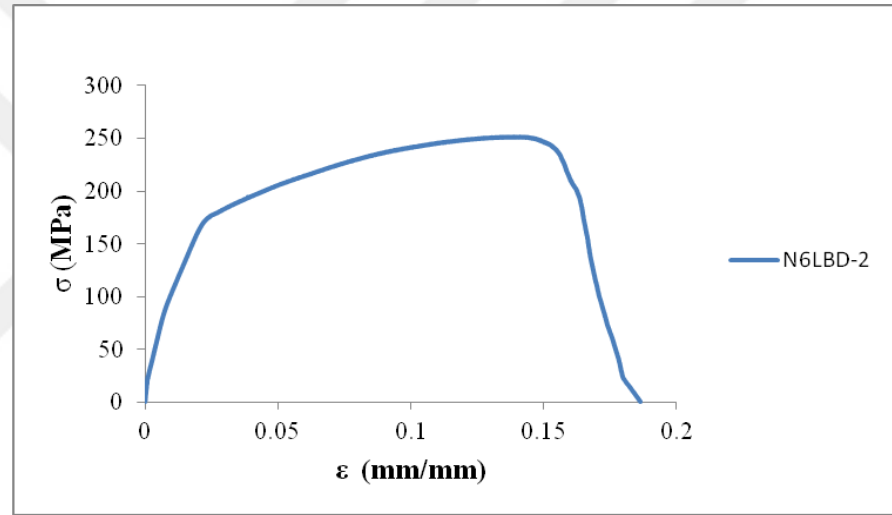
Şekil 5.83. N6LB-1 numunesi σ-ε grafiği



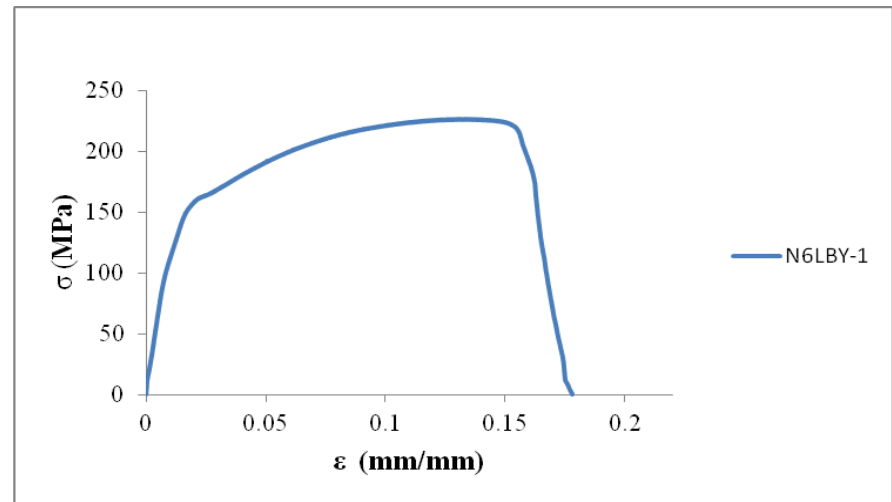
Şekil 5.84. N6LB-2 numunesi σ-ε grafiği



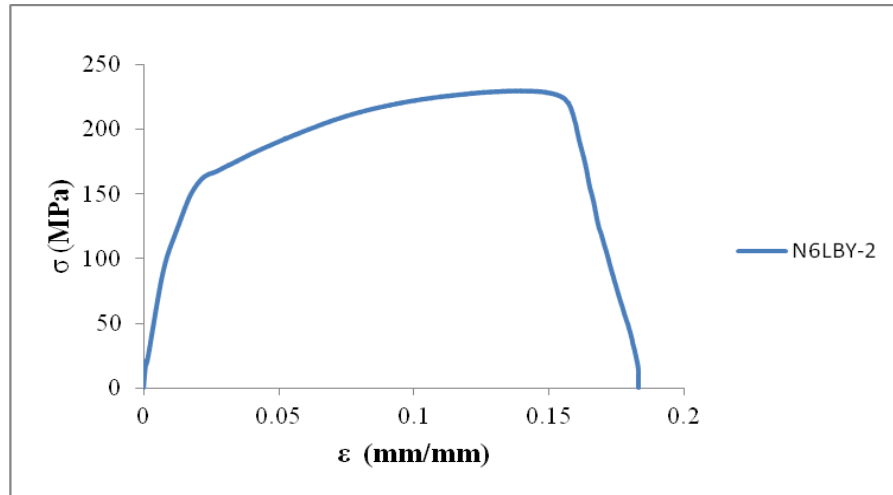
Şekil 5.85. N6LBD-1 numunesi σ - ϵ grafiği



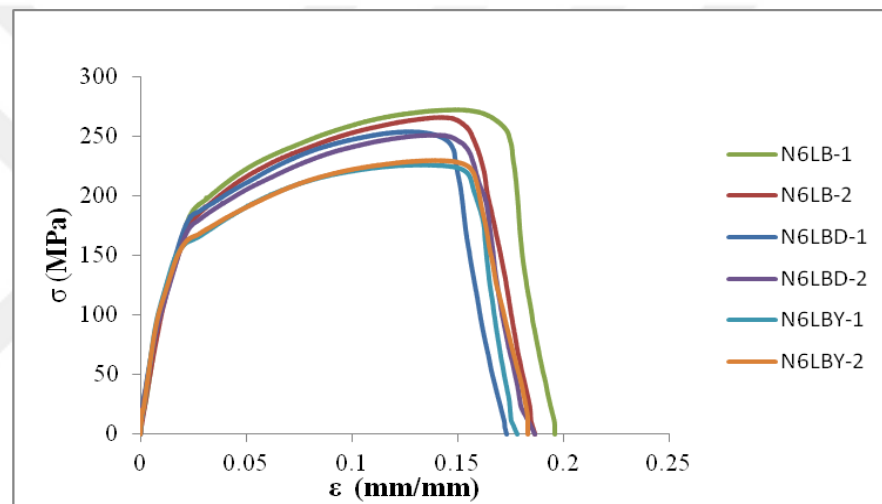
Şekil 5.86. N6LBD-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.87. N6LBY-1 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.88. N6LBY-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.89. N6LB-1, N6LB-2, N6LBD-1, N6LBD-2, N6LBY-1, N6LBY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri

Çizelge 5.28. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda gerilmelerin karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Gerilmesi F_y (MPa)	Ort.Akma Gerilmesi $F_{y,ort}$ (MPa)	$F_{y,ort}/F_{y,ortreferans}$	Maksimum Çekme Gerilmesi F_m (MPa)	Ort. Maksimum Çekme Gerilmesi $F_{m,ort}$ (MPa)	$F_{m,ort}/F_{m,ortreferans}$
N6LB-1	189.51	183.68	1.00	272.59	269.54	1.00
N6LB-2	177.84			266.48		
N6LBD-1	181.94	177.87	0.97	254.36	252.84	0.93
N6LBD-2	173.81			251.31		
N6LBY-1	157.51	160.45	0.87	226.12	227.93	0.85
N6LBY-2	163.39			229.73		

Çizelge 5.29. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda birim uzamaların karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Birim Uzaması ϵ_y (mm/mm)	Ort. Akma Birim Uzaması $\epsilon_{y,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{y,ort} / \epsilon_{y,ortreferans}$	Kopma Birim Uzaması ϵ_u (mm/mm)	Ortalama Birim Uzaması $\epsilon_{u,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{u,ort} / \epsilon_{u,ortreferans}$	ϵ_u / ϵ_y Süneklik Katsayısı
N6LB-1	0.02570	0.02474	1.00	0.17729	0.17055	1.00	6.89
N6LB-2	0.02377			0.16381			
N6LBD-1	0.02371	0.02366	0.95	0.15122	0.15695	0.92	6.63
N6LBD-2	0.02351			0.16269			
N6LBY-1	0.02011	0.02135	0.86	0.18676	0.16136	0.95	7.55
N6LBY-2	0,02260			0.16142			

Korozyona uğramış numuneler ile referans numuneler karşılaştırıldığında aşağıdaki farklılıklar belirlenmiştir;

Kütlece %10 korozyona uğramış numunelerde ortalama akma dayanımında %3 azalma olduğu belirlenmiş, ortalama akma birim uzamasında %5 azalma ve ortalama kopma birim uzamasında %8 azalma meydana gelmiştir. Maksimum dayanımın ise %7 azalmıştır.

Kütlece %20 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımında %13 azalma olduğu belirlenmiş, ortalama akma birim uzamasında %14 azalma ve ortalama kopma birim uzamasında %5 azalma meydana gelmiştir. Maksimum dayanımın ise %15 azalmıştır.

6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda kopma eksenel çekme deneyi sırasında levhada zayıf bölgesinde meydana gelmiştir.

Çizelge 5.30. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri

Numune Adı	Korozyon Türü	Kırılma Bölgesi
N6LB-1	-	Zayıf Bölgesi
N6LB-2	-	Zayıf Bölgesi
N6LBD-1	Üniform Korozyon	Zayıf Bölgesi
N6LBD-2	Üniform Korozyon	Zayıf Bölgesi
N6LBY-1	Üniform Korozyon	Zayıf Bölgesi
N6LBY-2	Üniform Korozyon	Zayıf Bölgesi

5.1.11. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olması durumu

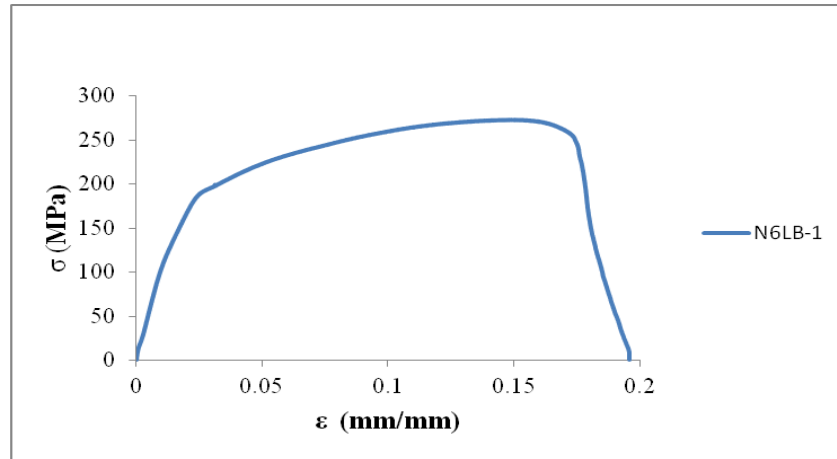
6 mm kalınlığında bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda korozyon olan numunelerin (N6LB-1, N6LB-2, N6BD-1, N6BD-2, N6BY-1, N6BY-2 deney numuneleri) aksenal çekme deneyi öncesi ve sonrası görünümleri sırasıyla Şekil 5.90 ve Şekil 5.91'de, çekme deneyinden elde edilen gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) grafikleri ise Şekil 5.92, Şekil 5.93, Şekil 5.94, Şekil 5.95, Şekil 5.96, Şekil 5.97 ve Şekil 5.98'de görölmektedir. Deney sonrasında elde edilen gerilme değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.31'de, birim uzamaların karşılaştırılması Çizelge 5.32'de ve deney numunelerinde oluşumu gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri ise Çizelge 5.33'de görölmektedir.



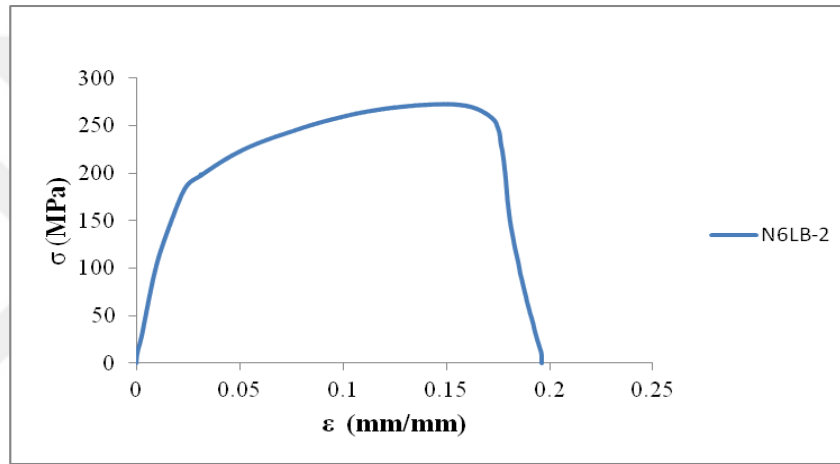
Şekil 5.90. Deney öncesi 6 mm kalınlığında bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numuneler



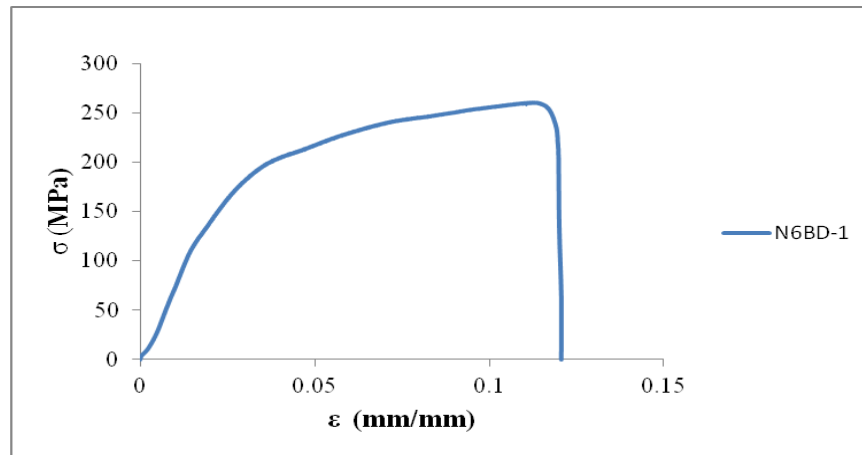
Şekil 5.91. Deney sonrası 6 mm kalınlığında bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numuneler



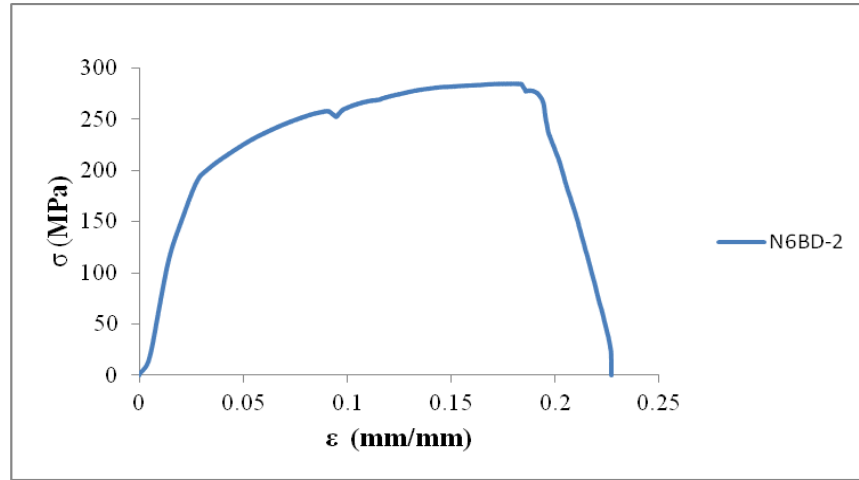
Şekil 5.92. N6LB-1 numunesi σ - ϵ grafiği



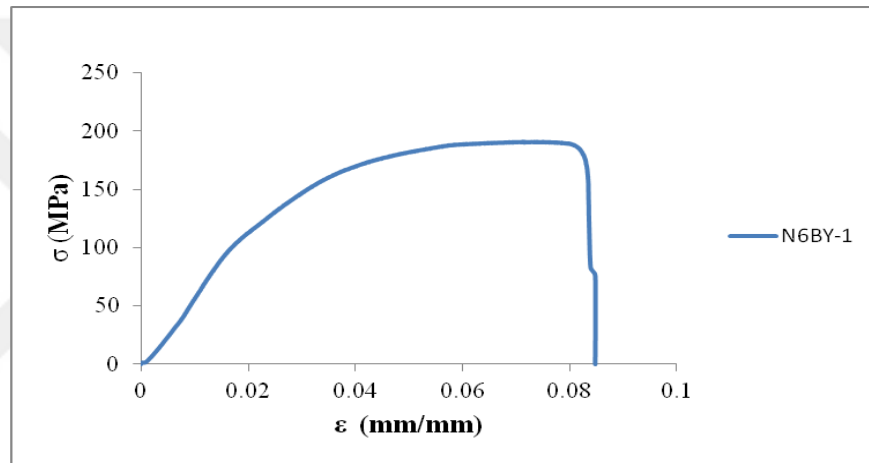
Şekil 5.93. N6LB-2 numunesi σ - ϵ grafiği



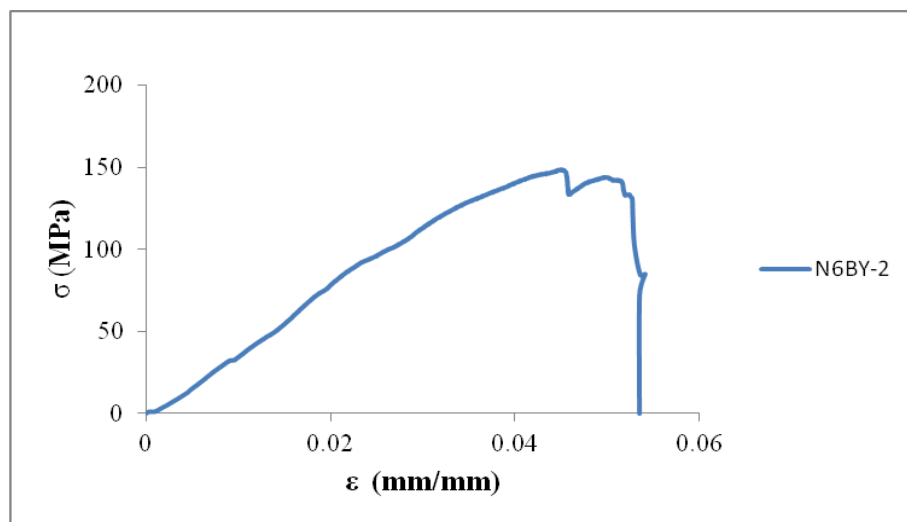
Şekil 5.94. N6BD-1 numunesi σ - ϵ grafiği



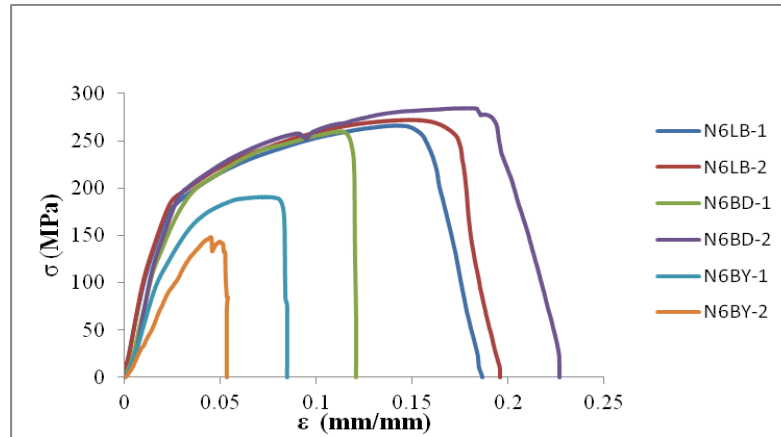
Şekil 5.95. N6BD-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.96. N6BY-1 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.97. N6BY-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.98. N6LB-1, N6LB-2, N6BD-1, N6BD-2, N6BY-1, N6BY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri

Çizelge 5.31. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numunelerde gerilmelerin karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Gerilmesi F_y (MPa)	Ort. Akma Gerilmesi $F_{y,ort}$ (MPa)	$F_{y,ort}/F_{y,ortrefers}$	Maksimum Çekme Gerilmesi F_m (MPa)	Ort. Maksimum Çekme Gerilmesi $F_{m,ort}$ (MPa)	$F_{m,ort}/F_{m,ortrefers}$
N6LB-1	289.51	233.67	1.00	272.59	269.54	1.00
N6LB-2	177.84			266.48		
N6BD-1	193.01	197.60	0.85	260.59	272.80	1.01
N6BD-2	202.18			285.01		
N6BY-1	149.29	128.14	0.55	191.25	169.86	0.63
N6BY-2	106.99			148.47		

Çizelge 5.32. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan numunelerin birim uzamalarının karşılaştırması

Eleman İsmi	Akma Birim Uzaması ϵ_y (mm/mm)	Ort. Akma Birim Uzaması $\epsilon_{y,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{y,ort}/\epsilon_{y,ortrefers}$	Kopma Birim Uzaması ϵ_u (mm/mm)	Ortalama Birim Uzaması $\epsilon_{u,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{u,ort}/\epsilon_{u,ortrefers}$	ϵ_u/ϵ_y Süneklik Katsayısı
N4LB-1	0.02570	0.02474	1.00	0.17729	0.17055	1.00	6.89
N4LB-2	0.02377			0.16381			
N4BD-1	0.03386	0.03364	1.35	0.11954	0.15851	0.93	4.71
N4BD-2	0.03342			0.19749			
N4BY-1	0.03078	0.02969	1.20	0.08309	0.06796	0.40	2.29
N4BY-2	0.02860			0.05283			

Korozyona uğramış numuneler ile referans numuneler karşılaştırıldığında aşağıdaki farklılıklar belirlenmiştir;

Bulonda, kütlece %10 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımı %15 azalmış, ortalama akma birim uzamaları %35 artmış ve ortalama kopma birim uzamaları %7 azalmıştır. Maksimum dayanım ise %1 artmıştır.

Bulonda, kütlece %20 korozyona uğrayan numunelerde ortalama akma dayanımı %45 azalmış, ortalama akma birim uzamaları %20 artmış ve ortalama kopma birim uzamaları %60 azalmıştır. Maksimum dayanım ise %37 azalmıştır.

N6BY-2 numunesinde bulonda oluşan korozyon bulonun dış kısımlarında yoğunlaştığı için çekme işlemi sırasında somun bulondan sıyrılmış ve dayanımında önemli azalma meydana gelmiştir (Şekil 5.99). Dış kısmı azalmış bulon numunesi Şekil 5.100'de görülmektedir.



Şekil 5.99. Bulon bağlantısında somunların sıyrılmış hali



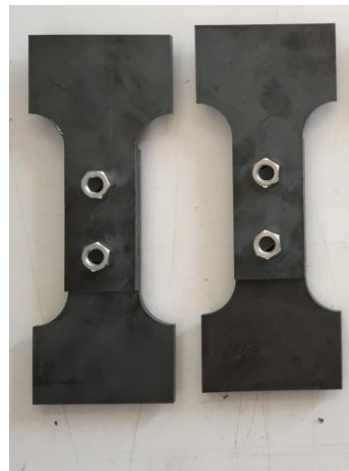
Şekil 5.100. Bulonun sıyrılmış hali

Çizelge 5.33. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşili levhalarda sadece bulonda korozyon olan numunelerde gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri

Numune Adı	Korozyon Türü	Kırılma Bölgesi
N4LB-1	-	Zayıt Bölgesi
N4LB-2	-	Zayıt Bölgesi
N4BD-1	Üniform Korozyon	Bulon Sıyırılma
N4BD-2	Üniform Korozyon	Bulon Sıyırılma
N4BY-1	Üniform Korozyon	Bulonda
N4BY-2	Üniform Korozyon	Bulon Sıyırılma

5.1.12. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olması durumu

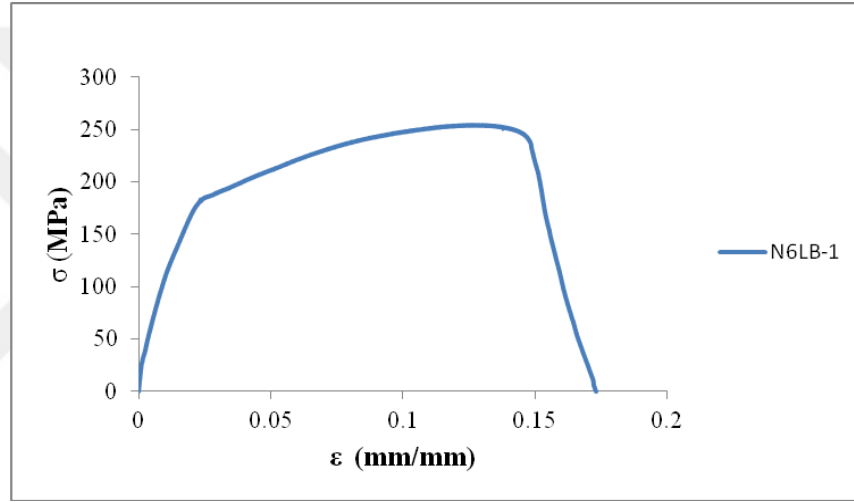
6 mm kalınlığında, bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda korozyon olan numunelerin (N6LB-1, N6LB-2, N6BY-1, N6BY-2 deney numuneleri) aksel çekme deneyi öncesi ve sonrası görünüşleri sırasıyla Şekil 5.101 ve Şekil 5.102'de, çekme deneyinden elde edilen gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) grafikleri ise Şekil 5.103, Şekil 5.104, Şekil 5.105, Şekil 5.106 ve Şekil 5.107'de görülmektedir. Deney sonrasında elde edilen gerilme değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.34'de, birim uzamaların karşılaştırılması Çizelge 5.35'de ve deney numunelerinde oluşumu gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri ise Çizelge 5.36'de görülmektedir.



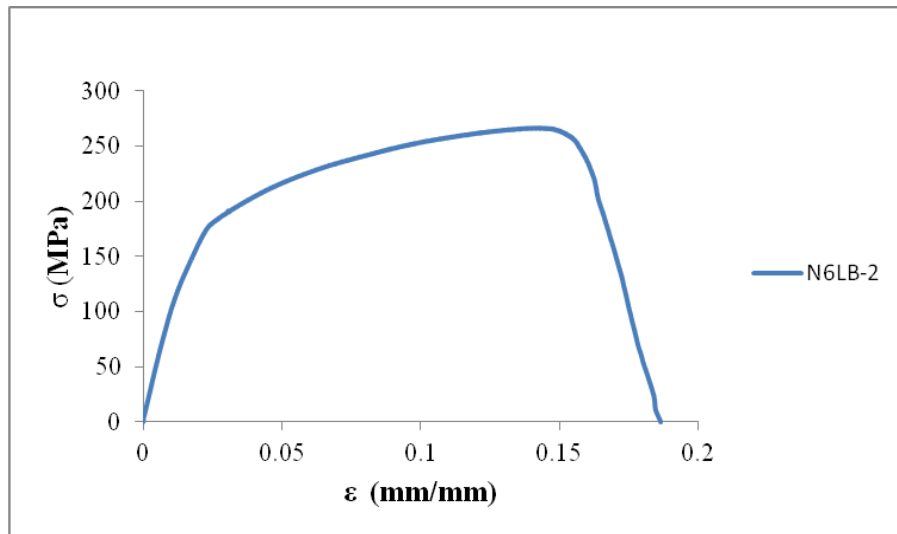
Şekil 5.101. Deney öncesi 6 mm kalınlığındaki bulon birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numuneler



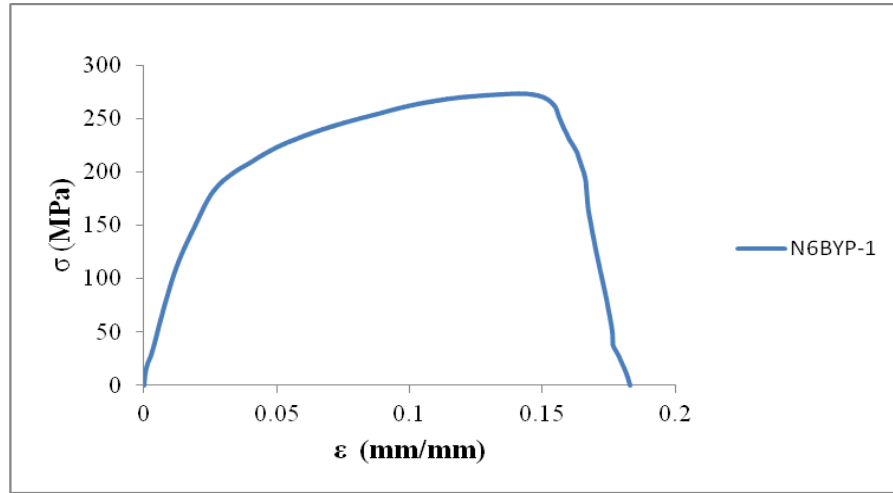
Şekil 5.102. Deney sonrası 6 mm kalınlığındaki bulon birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numuneler



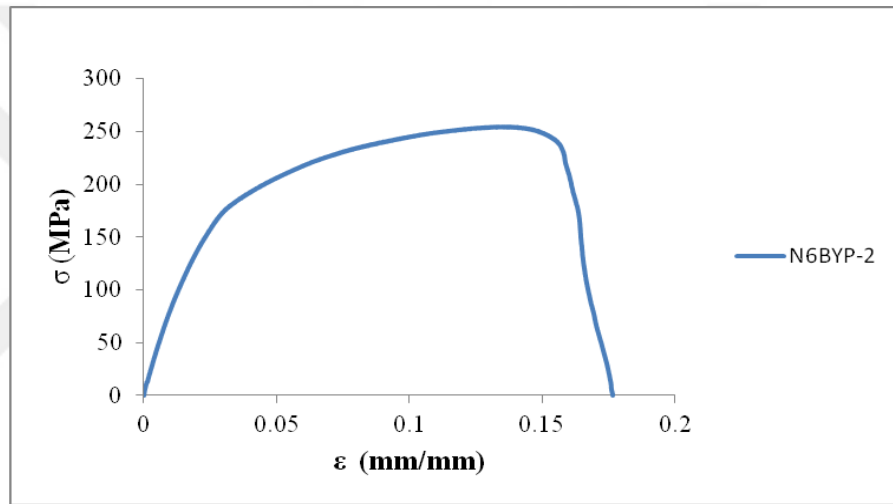
Şekil 5.103. N6LB-1 numunesi σ - ϵ grafiği



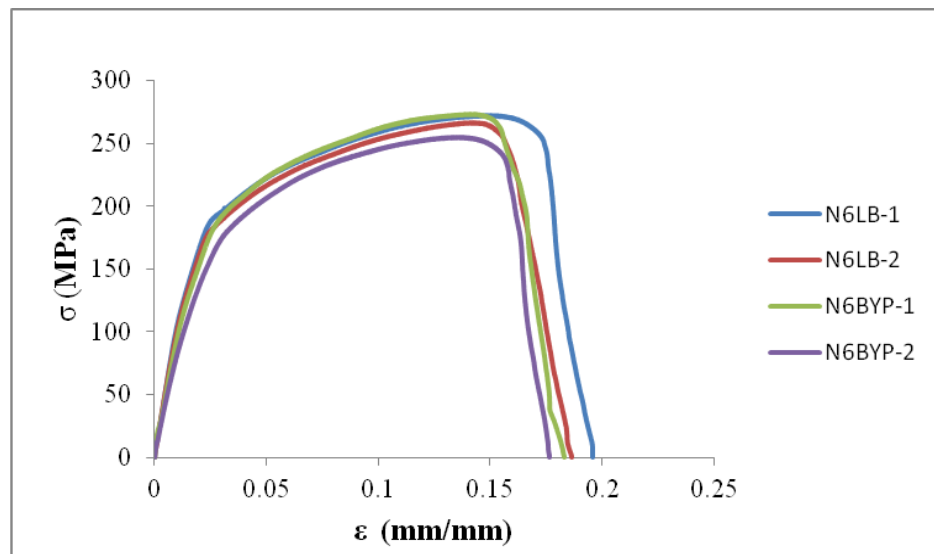
Şekil 5.104. N6LB-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.105. N6BYP-1 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.106. N6BYP-2 numunesi σ - ϵ grafiği



Şekil 5.107. N6LB-1, N6LB-2, N6BY-1, N6BY-2 numunelerinin karşılaştırmalı σ - ϵ grafikleri

Çizelge 5.34. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numunelerde gerilmelerin karşılaştırılması

Eleman İsmi	Akma Gerilmesi F_y (MPa)	Ort. Akma Gerilmesi $F_{y,ort}$ (MPa)	$F_{y,ort}/F_{y,ortreferans}$	Maksimum Çekme Gerilmesi F_m (MPa)	Ort. Maksimum Çekme Gerilmesi $F_{m,ort}$ (MPa)	$F_{m,ort}/F_{m,ortreferans}$
N6LB-1	189.51	183.66	1.00	272.59	269.54	1.00
N6LB-2	177.84			266.48		
N6BYP-1	190.83	183.85	1.00	272.20	263.65	0.97
N6BYP-2	176.86			255.11		

Çizelge 5.35. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numunelerde birim uzamaların karşılaştırılması

Eleman İsmi	Akma Birim Uzaması ϵ_y (mm/mm)	Ort. Akma Birim Uzaması $\epsilon_{y,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{y,ort}/\epsilon_{y,ortreferans}$	Kopma Birim Uzaması ϵ_u (mm/mm)	Ortalama Birim Uzaması $\epsilon_{u,ort}$ (mm/mm)	$\epsilon_{u,ort}/\epsilon_{u,ortreferans}$	ϵ_u/ϵ_y Süneklik Katsayısı
N6LB-1	0.02570	0.02474	1.00	0.17729	0.17055	1.00	6.89
N6LB-2	0.02377			0.16381			
N6BYP-1	0.02937	0.03021	1.22	0.16300	0.16190	0.95	5.36
N6BYP-2	0.03105			0.16080			

Korozyona uğramış numuneler ile referans numuneler karşılaştırıldığında aşağıdaki farklılıklar belirlenmiştir;

Bulon kütlede %10 azalma meydana getirilerek imal edilmiş numunelerde ortalama akma dayanımları sabit kalmış, ortalama akma birim uzamaları %22 artmış ve ortalama kopma birim uzamaları %5 azalmıştır. Maksimum dayanımları ise %3 azalmıştır.

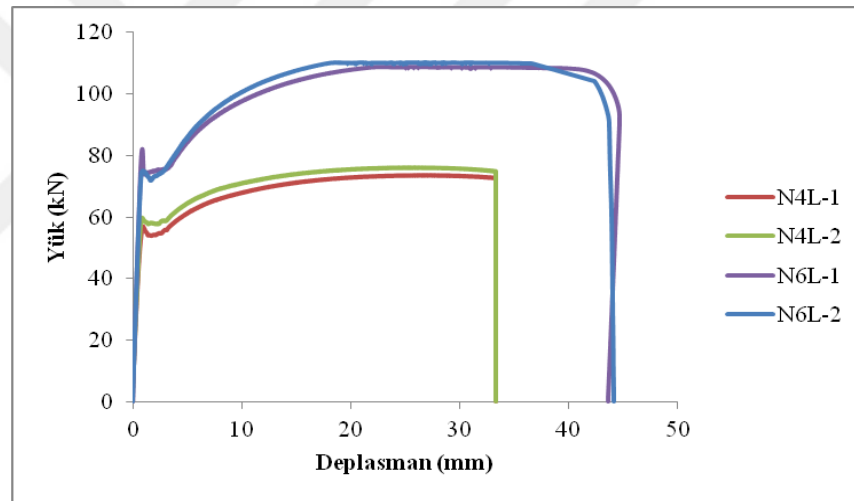
Çizelge 5.36. 6 mm kalınlığındaki bulon birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olan numunelerde gözlenen korozyon türü ve kırılma bölgeleri

Numune Adı	Korozyon Türü	Kırılma Bölgesi
N6LB-1	-	Zayıt Bölgesi
N6LB-2	-	Zayıt Bölgesi
N6BYP-1	Yapay Korozyon	Zayıt Bölgesi
N6BYP-2	Yapay Korozyon	Zayıt Bölgesi

5.2. Deneysel Sonuçların Levha Kalınlıklarına ve Birleştirme Elemanı Türüne Göre Karşılaştırılması

5.2.1. Birleştirme elemanı bulunmayan levhalarda korozyon olması durumu

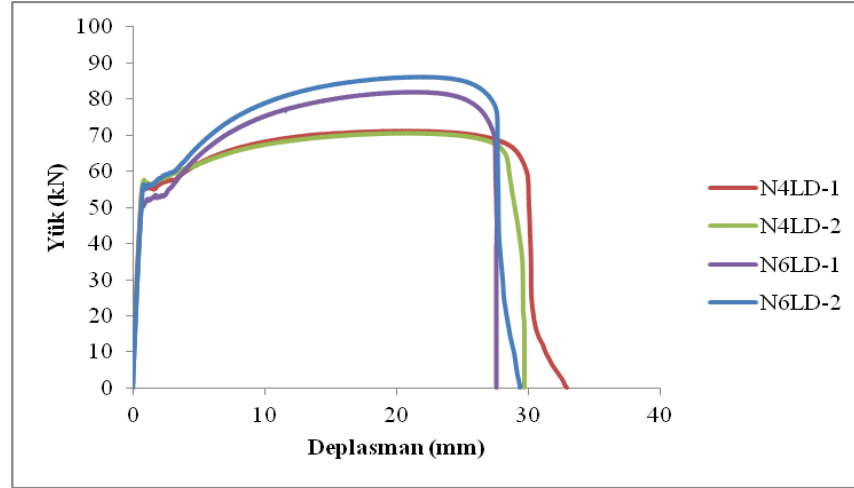
4 mm ve 6 mm kalınlığındaki birleşim elemanı bulunmayan levhaların korozyonsuz durumlarının karşılaştırması Şekil 5.108'de, %10 korozyon olması durumlarının karşılaştırması Şekil 5.109'de ve %20 korozyon olması durumlarının karşılaştırması ise Şekil 5.110'da görülmektedir. Referans numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.37'de, %10 korozyona uğrayan numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.38'de ve %20 korozyona uğrayan numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.39'da görülmektedir.



Şekil 5.108. N4L-1, N4L-2, N6L-1, N6L-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

Çizelge 5.37. N4L-1, N4L-2, N6L-1, N6L-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması

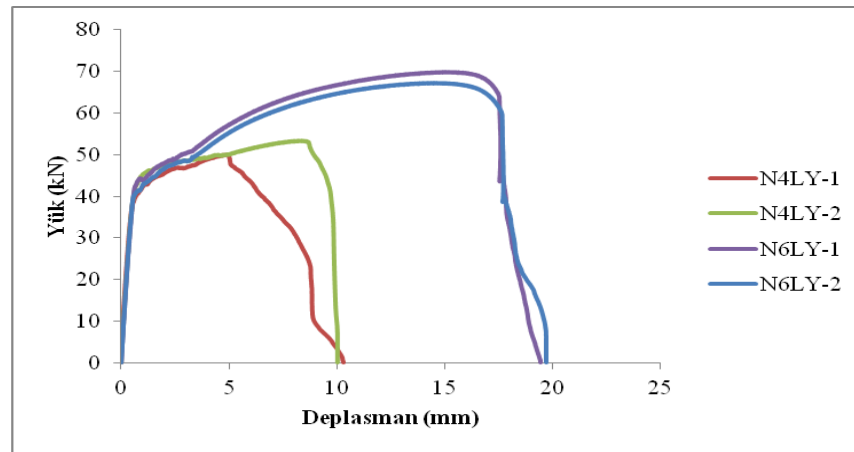
Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$\frac{P_{max,6ort}}{P_{max,4ort}}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\frac{\Delta_{max,6ort}}{\Delta_{max,4ort}}$
N4L-1	73.85	75.02	1.00	33.33	33.33	1.00
N4L-2	76.19			33.33		
N6L-1	108.81	109.60	1.45	44.61	44.34	1.33
N6L-2	110.40			44.07		



Şekil 5.109. N4LD-1, N4LD-2, N6LD-1, N6LD-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

Çizelge 5.38. N4LD-1, N4LD-2, N6LD-1, N6LD-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$P_{max,6ort} / P_{max,4ort}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\Delta_{max,6ort} / \Delta_{max,4ort}$
N4LD-1	71.27	71.01	1.00	32.88	31.29	1.00
N4LD-2	70.75			29.70		
N6LD-1	82.02	84.20	1.19	27.62	28.48	0.91
N6LD-2	86.37			29.34		



Şekil 5.110. N4LY-1, N4LY-2, N6LY-1, N6LY-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

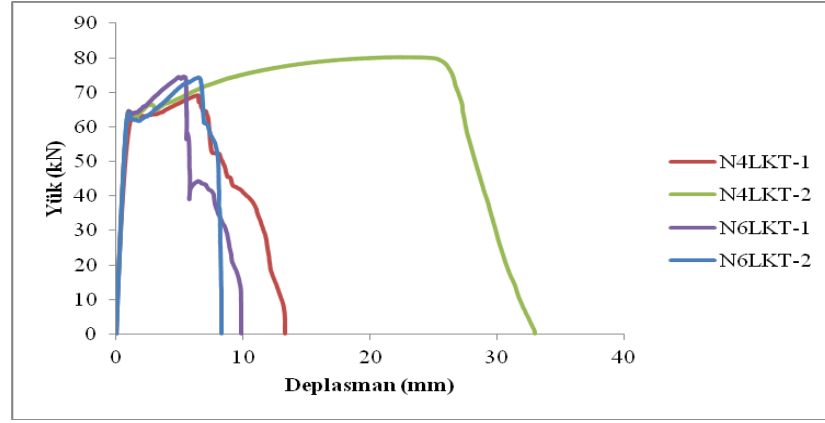
Çizelge 5.39. N4LY-1, N4LY-2, N6LY-1, N6LY-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$P_{max,6ort} / P_{max,4ort}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\Delta_{max,6ort} / \Delta_{max,4ort}$
N4LY-1	50.08	51.75	1.00	10.30	10.16	1.00
N4LY-2	53.41			10.01		
N6LY-1	69.84	68.57	1.32	19.41	19.56	1.92
N6LY-2	67.30			19.70		

Deney sonuçlarına göre, 6 mm kalınlığındaki levhalarda 4 mm kalınlığındaki levhalara göre korozyonsuz numunelerde ortalama %45 daha fazla, %10 korozyonlu numunelerde ortalama %19 daha fazla, %20 korozyonlu numunelerde ortalama %32 daha fazla maksimum yüke ulaşılmıştır. Maksimum deplasman açısından ise, 6 mm kalınlığındaki levhalarda 4 mm kalınlığındaki levhalara göre korozyonsuz numunelerde ortalama %33 daha fazla, %10 korozyonlu numunelerde ortalama %9 daha az, %20 korozyonlu numunelerde ortalama %92 daha fazla deplasman elde edilmiştir.

5.2.2. Küt kaynaklı birleşimli levhalarda korozyon olması durumu

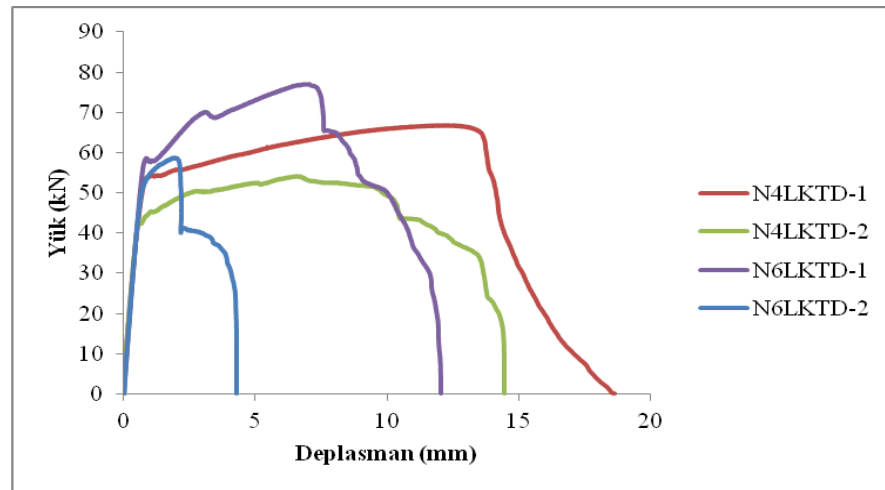
4 mm ve 6 mm kalınlığındaki küt kaynaklı birleşimli levhaların korozyonsuz durumlarının karşılaştırması Şekil 5.111'de, %10 korozyon olması durumlarının karşılaştırması Şekil 5.112'de ve %20 korozyon olması durumlarının karşılaştırması ise Şekil 5.113'te görülmektedir. Referans numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.40'da, %10 korozyona uğrayan numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.41'de ve %20 korozyona uğrayan numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.42'de görülmektedir.



Şekil 5.111. N4LKT-1, N4LKT-2, N6LKT-1, N6LKT-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

Çizelge 5.40. N4LKT-1 N4LKT-2 N6LKT-1 N6LKT-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması

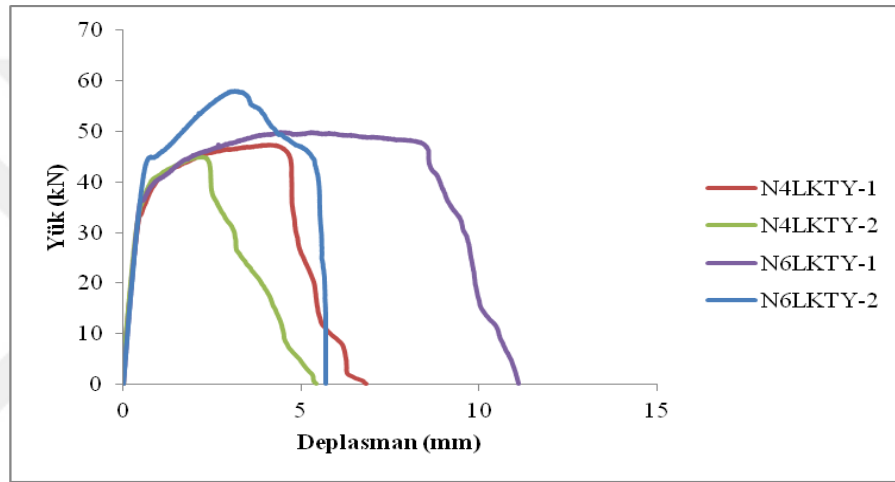
Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$\frac{P_{max,6ort}}{P_{max,4ort}}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\frac{\Delta_{max,6ort}}{\Delta_{max,4ort}}$
N4LKT-1	69.29	74.84	1.00	13.34	23.16	1.00
N4LKT-2	80.38			32.97		
N6LKT-1	74.65	74.48	0.99	9.82	9.06	0.39
N6LKT-2	74.31			8.29		



Şekil 5.112. N4LKTD-1, N4LKTD-2, N6LKTD-1, N6LKTD-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

Çizelge 5.41. N4LKTD-1 N4LKTD-2 N6LKTD-1 N6LKTD-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$P_{max,6ort} / P_{max,4ort}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\Delta_{max,6ort} / \Delta_{max,4ort}$
N4LKTD-1	66.78	60.43	1.00	18.64	16.55	1.00
N4LKTD-2	54.07			14.45		
N6LKTD-1	77.12	67.97	1.12	12.03	8.17	0.49
N6LKTD-2	58.81			4.31		



Şekil 5.113. N4LKTY-1, N4LKTY-2, N6LKTY-1, N6LKTY-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

Çizelge 5.42. N4LKTY-1, N4LKTY-2, N6LKTY-1, N6LKTY-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması

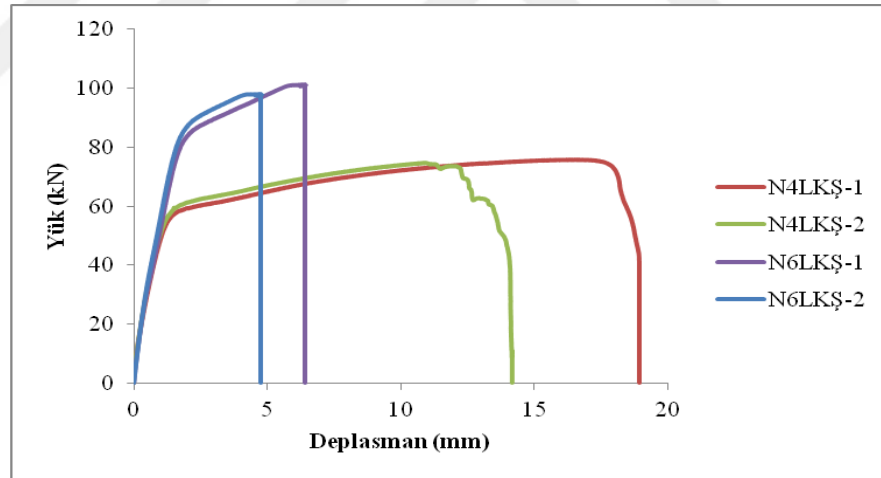
Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$P_{max,6ort} / P_{max,4ort}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\Delta_{max,6ort} / \Delta_{max,4ort}$
N4LKTY-1	47.46	46.32	1.00	6.84	6.15	1.00
N4LKTY-2	45.18			5.45		
N6LKTY-1	49.97	54.03	1.17	11.11	8.41	1.36
N6LKTY-2	58.08			5.70		

Deney sonuçlarına göre, 6 mm kalınlığında levhalı numunelerde 4 mm kalınlığındaki levhalı numunelere göre korozyonsuz numunelerde ortalama %1 daha az, %10 korozyonlu numunelerde ortalama %12 daha fazla, %20 korozyonlu numunelerde

ortalama %17 daha fazla maksimum yüke ulaşılmıştır. Maksimum deplasman açısından ise, 6 mm kalınlığındaki levhali numunelerde 4 mm kalınlığında levhali numunelere göre korozyonsuz numunelerde ortalama %61 daha az, %10 korozyonlu numunelerde ortalama %51 daha az, %20 korozyonlu numunelerde ortalama %36 daha fazla deplasman elde edilmiştir.

5.2.3. Köşe kaynaklı birleşimli levhalarda korozyon olması durumu

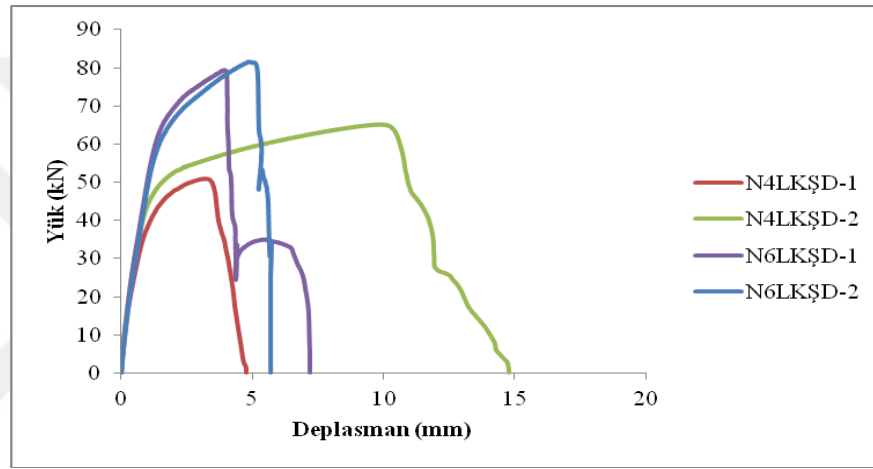
4 mm ve 6 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı birleşimli levhaların korozyonsuz durumlarının karşılaştırması Şekil 5.114'te, %10 korozyon olması durumlarının karşılaştırması Şekil 5.115'te ve %20 korozyon olması durumlarının karşılaştırması ise Şekil 5.116'da görülmektedir. Referans numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.43'de, %10 korozyona uğrayan numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.44'te ve %20 korozyona uğrayan numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.45'te görülmektedir.



Şekil 5.114. N4LKŞ-1, N4LKŞ-2, N6LKŞ-1, N6LKŞ-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

Çizelge 5.43. N4LKŞ-1, N4LKŞ-2, N6LKŞ-1, N6LKŞ-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması

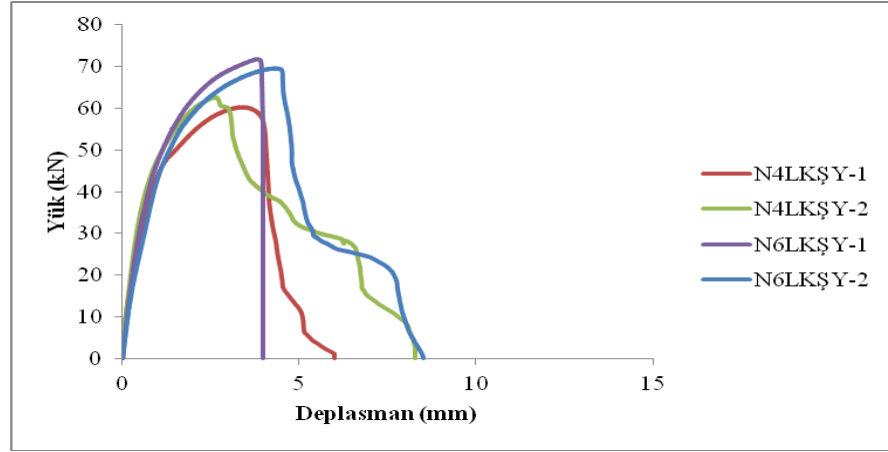
Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$P_{max,6ort} / P_{max,4ort}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\Delta_{max,6ort} / \Delta_{max,4ort}$
N4LKŞ-1	75.86	75.32	1.00	18.95	16.57	1.00
N4LKŞ-2	74.77			14.19		
N6LKŞ-1	101.24	99.58	1.32	6.41	5.58	0.34
N6LKŞ-2	97.92			4.75		



Şekil 5.115. N4LKŞD-1, N4LKŞD-2, N6LKŞD-1, N6LKŞD-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

Çizelge 5.44. N4LKŞD-1, N4LKŞD-2, N6LKŞD-1, N6LKŞD-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$P_{max,6ort} / P_{max,4ort}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\Delta_{max,6ort} / \Delta_{max,4ort}$
N4LKŞD-1	50.99	58.12	1.00	4.75	9.76	1.00
N4LKŞD-2	65.25			14.78		
N6LKŞD-1	79.54	80.62	1.38	7.19	6.46	0.66
N6LKŞD-2	81.70			5.72		



Şekil 5.116. N4LKŞY-1, N4LKŞY-2, N6LKŞY-1, N6LKŞY-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

Çizelge 5.45. N4LKŞY-1, N4LKŞY-2, N6LKŞY-1, N6LKŞY-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması

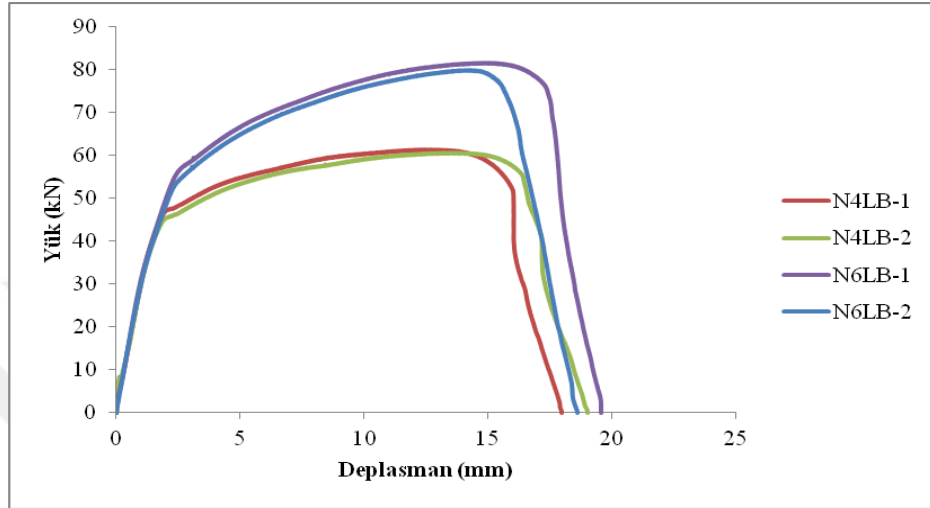
Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$P_{max,6ort} / P_{max,4ort}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\Delta_{max,6ort} / \Delta_{max,4ort}$
N4LKŞY-1	60.26	61.55	1.00	6.00	7.15	1.00
N4LKŞY-2	62.84			8.29		
N6LKŞY-1	71.84	70.79	1.15	3.99	6.25	0.87
N6LKŞY-2	69.74			8.50		

Deney sonuçlarına göre, 6 mm kalınlığında levhalı numunelerde 4 mm kalınlığındaki levhalı numunelere göre korozyonsuz numunelerde ortalama %32 daha fazla, %10 korozyonlu numunelerde ortalama %38 daha fazla, %20 korozyonlu numunelerde ortalama %15 daha fazla maksimum yüke ulaşılmıştır. Maksimum deplasman açısından ise, 6 mm kalınlığındaki levhalı numunelerde 4 mm kalınlığında levhalı numunelere göre korozyonsuz numunelerde ortalama %66 daha az, %10 korozyonlu numunelerde ortalama %34 daha az, %20 korozyonlu numunelerde ortalama %13 daha az deplasman elde edilmiştir.

5.2.4. Bulonlu birleşimli levhalarda korozyon olması durumu

4 mm ve 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhaların korozyonsuz durumlarının karşılaştırması Şekil 5.117'de, %10 korozyon olması durumlarının

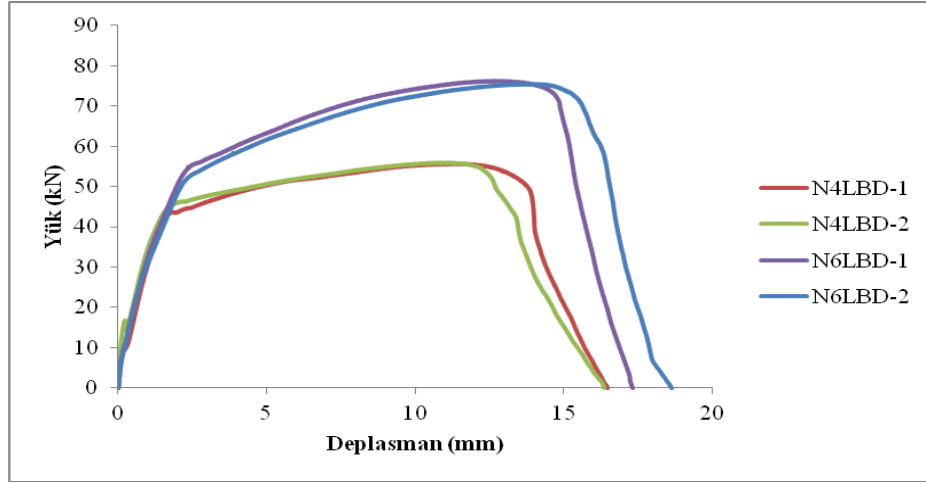
karşılaştırması Şekil 5.118'de ve %20 korozyon olması durumlarının karşılaştırması ise Şekil 5.119'da görülmektedir. Referans numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.46'da, %10 korozyona uğrayan numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.47'de ve %20 korozyona uğrayan numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.48'de görülmektedir.



Şekil 5.117. N4LB-1, N4LB-2, N6LB-1, N6LB-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

Çizelge 5.46. N4LB-1, N4LB-2, N6LB-1, N6LB-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması

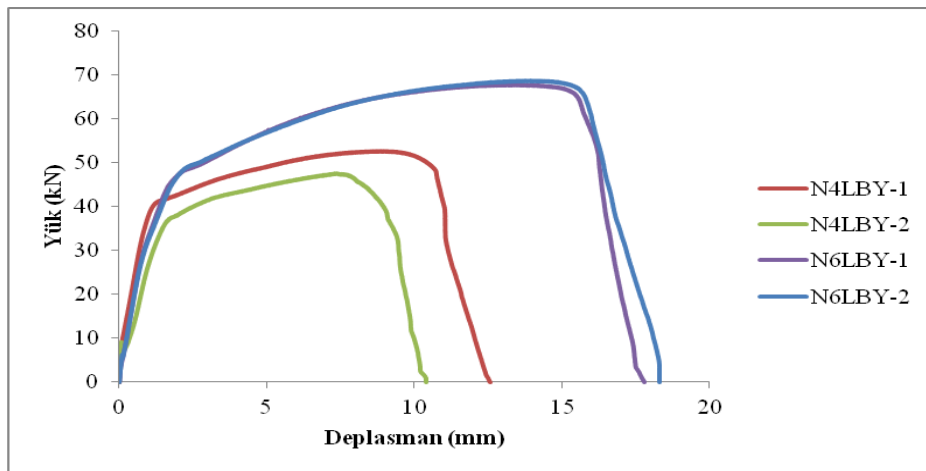
Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$P_{max,6ort} / P_{max,4ort}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\Delta_{max,6ort} / \Delta_{max,4ort}$
N4LB-1	61.46	61.13	1.00	17.99	18.51	1.00
N4LB-2	60.80			19.03		
N6LB-1	81.78	80.86	1.32	19.60	19.12	1.03
N6LB-2	79.94			18.64		



Şekil 5.118. N4LBD-1, N4LBD-2, N6LBD-1, N6LBD-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

Çizelge 5.47. N4LBD-1, N4LBD-2, N6LBD-1, N6LBD-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$\frac{P_{max,6ort}}{P_{max,4ort}}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\frac{\Delta_{max,6ort}}{\Delta_{max,4ort}}$
N4LBD-1	55.72	55.81	1.00	16.48	16.43	1.00
N4LBD-2	55.90			16.37		
N6LBD-1	76.31	75.85	1.35	17.31	17.98	1.10
N6LBD-2	75.39			18.65		



Şekil 5.119. N4LBY-1, N4LBY-2, N6LBY-1, N6LBY-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

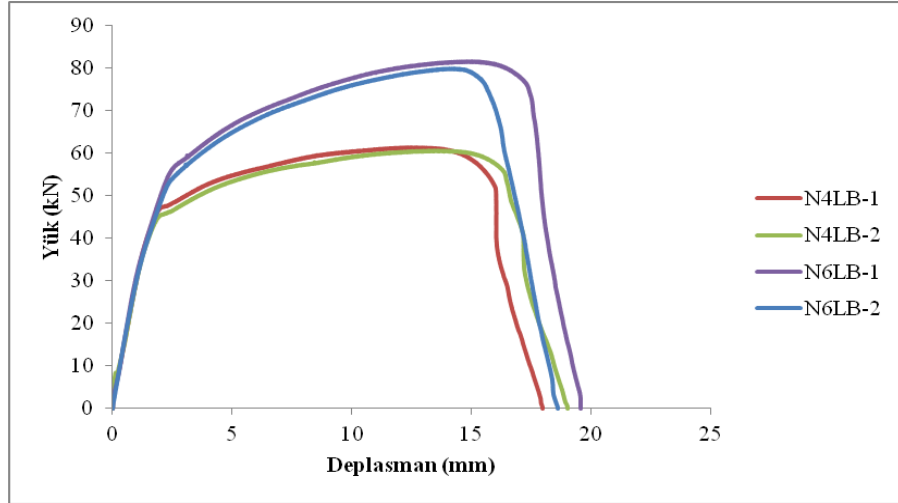
Çizelge 5.48. N4LBY-1, N4LBY-2, N6LBY-1, N6LBY-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$P_{max,6ort} / P_{max,4ort}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\Delta_{max,6ort} / \Delta_{max,4ort}$
N4LBY-1	52.83	50.19	1.00	12.56	11.47	1.00
N4LBY-2	47.54			10.38		
N6LBY-1	67.83	68.38	1.36	17.79	18.05	1.57
N6LBY-2	68.92			18.30		

Deney sonuçlarına göre, 6 mm kalınlığında levhalı numunelerde 4 mm kalınlığındaki levhalı numunelere göre korozyonsuz numunelerde ortalama %32 daha fazla, %10 korozyonlu numunelerde ortalama %35 daha fazla, %20 korozyonlu numunelerde ortalama %36 daha fazla maksimum yüke ulaşılmıştır. Maksimum deplasman açısından ise, 6 mm kalınlığındaki levhalı numunelerde 4 mm kalınlığında levhalı numunelere göre korozyonsuz numunelerde ortalama %3 daha fazla, %10 korozyonlu numunelerde ortalama %10 daha fazla, %20 korozyonlu numunelerde ortalama %57 daha fazla deplasman elde edilmiştir.

5.2.5. Bulonlu birleşimli bağlantılı levhalarda sadece bulonda korozyon olması durumu

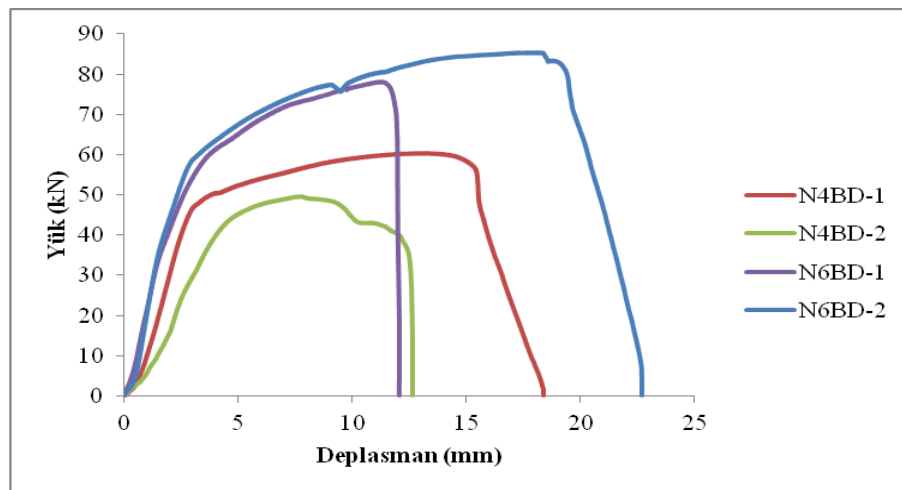
4 mm ve 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhaların korozyonsuz durumlarının karşılaştırması Şekil 5.120'de, bulonlarda %10 korozyon olması durumlarının karşılaştırması Şekil 5.121'de ve %20 korozyon olması durumlarının karşılaştırması ise Şekil 5.122'de görülmektedir. Referans numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.49'da, bulonları %10 korozyona uğrayan numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.50'de ve bulonları %20 korozyona uğrayan numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.51'de görülmektedir.



Şekil 5.120. N4LB-1, N4LB-2, N6LB-1, N6LB-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

Çizelge 5.49. N4LB-1, N4LB-2, N6LB-1, N6LB-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırması

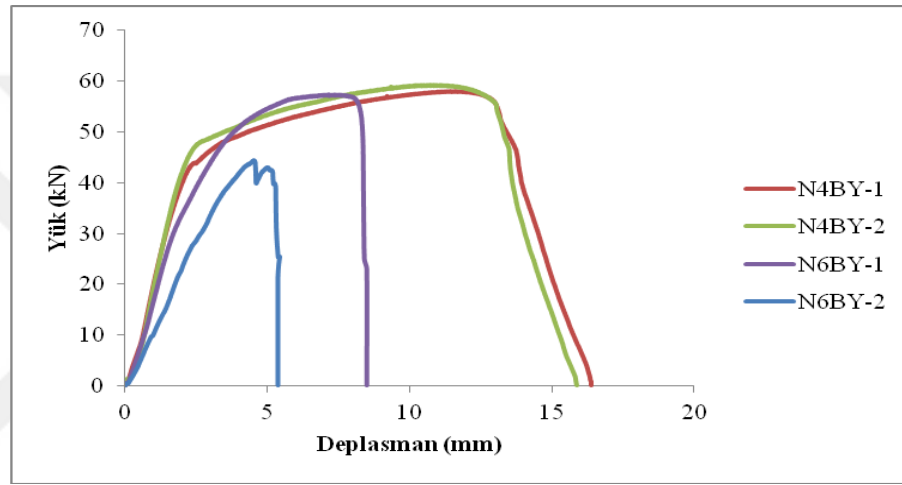
Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$P_{max,6ort} / P_{max,4ort}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\Delta_{max,6ort} / \Delta_{max,4ort}$
N4LB-1	61.46	61.13	1.00	17.99	18.51	1.00
N4LB-2	60.80			19.03		
N6LB-1	81.78	80.86	1.32	19.60	19.12	1.03
N6LB-2	79.94			18.64		



Şekil 5.121. N4BD-1, N4BD-2, N6BD-1, N6BD-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

Çizelge 5.50. N4BD-1, N4BD-2, N6BD-1, N6BD-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırması

Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$P_{max,6ort} / P_{max,4ort}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\Delta_{max,6ort} / \Delta_{max,4ort}$
N4BD-1	60.33	54.98	1.00	18.36	15.51	1.00
N4BD-2	49.63			12.65		
N6BD-1	78.17	81.84	1.48	12.06	17.38	1.12
N6BD-2	85.50			22.70		



Şekil 5.122. N4BY-1, N4BY-2, N6BY-1, N6BY-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

Çizelge 5.51. N4BY-1, N4BY-2, N6BY-1, N6BY-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması

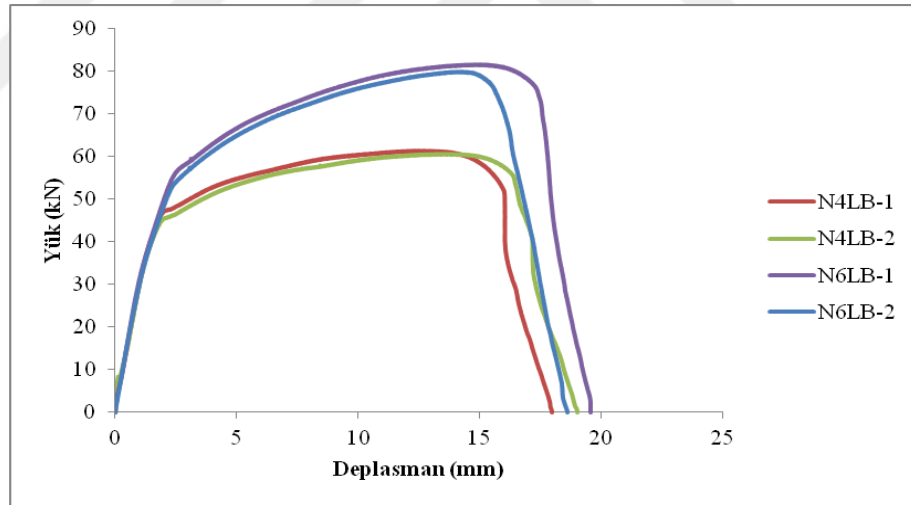
Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$P_{max,6ort} / P_{max,4ort}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\Delta_{max,6ort} / \Delta_{max,4ort}$
N4BY-1	57.96	58.64	1.00	16.38	16.13	1.00
N4BY-2	59.33			15.87		
N6BY-1	57.37	50.96	0.87	8.48	6.95	0.43
N6BY-2	44.54			5.41		

Deney sonuçlarına göre, 6 mm kalınlığında levhalı numunelerde 4 mm kalınlığındaki levhalı numunelere göre korozyonsuz numunelerde ortalama %32 daha fazla, %10 korozyonlu numunelerde ortalama %48 daha fazla, %20 korozyonlu

numunelerde ortalama %13 daha az maksimum yüke ulaşılmıştır. Maksimum deplasman açısından ise, 6 mm kalınlığındaki levhalı numunelerde 4 mm kalınlığında levhalı numunelere göre korozyonsuz numunelerde ortalama %3 daha fazla, %10 korozyonlu numunelerde ortalama %12 daha fazla, %20 korozyonlu numunelerde ortalama %57 daha az deplasman elde edilmiştir.

5.2.6. Bulonlu birleşimli levhalarda sadece bulonlarda yapay korozyon olması durumu

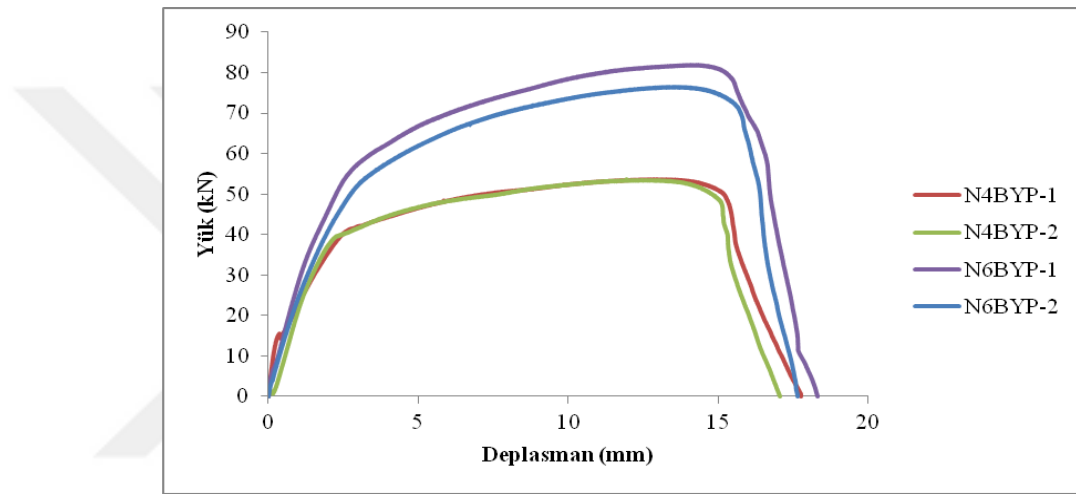
4 mm ve 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhaların korozyonsuz durumlarının karşılaştırması Şekil 5.123'te ve bulonlarda %10 yapay korozyon olması durumlarının karşılaştırması Şekil 5.124'te görülmektedir. Referans numunelerin yük deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.52'de, %10 yapay korozyona uğratılmış bulonlu numunelerin yük-deplasman değerlerinin karşılaştırması Çizelge 5.53'de görülmektedir.



Şekil 5.123. N4LB-1, N4LB-2, N6LB-1, N6LB-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

Çizelge 5.52. N4LB-1, N4LB-2, N6LB-1, N6LB-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$P_{max,6ort} / P_{max,4ort}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\Delta_{max,6ort} / \Delta_{max,4ort}$
N4LB-1	61.46	61.13	1.00	17.99	18.51	1.00
N4LB-2	60.80			19.03		
N6LB-1	81.78	80.86	1.32	19.60	19.12	1.03
N6LB-2	79.94			18.64		



Şekil 5.124. N4BYP-1, N4BYP-2, N6BYP-1, N6BYP-2 numunelerinin karşılaştırmalı yük deplasman grafikleri

Çizelge 5.53. N4BYP-1, N4BYP-2, N6BYP-1, N6BYP-2 numunelerinin yük deplasman değerlerinin karşılaştırılması

Eleman İsmi	Maksimum Yük P_{max} (kN)	Ort. Maksimum Yük $P_{max,ort}$ (kN)	$P_{max,6ort} / P_{max,4ort}$	Maksimum Deplasman A_{max} (mm)	Ort. Maks. Deplasman $A_{max,ort}$ (mm)	$\Delta_{max,6ort} / \Delta_{max,4ort}$
N4BYP-1	53.78	53.73	1.00	17.76	17.41	1.00
N4BYP-2	53.68			17.06		
N6BYP-1	82.00	79.26	1.47	18.32	17.99	0.98
N6BYP-2	76.52			17.66		




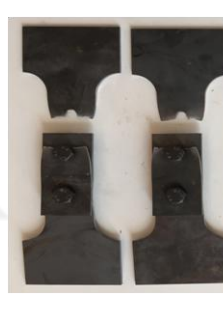


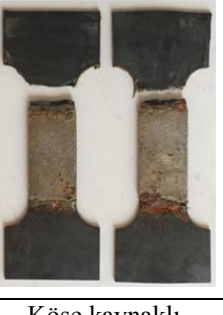
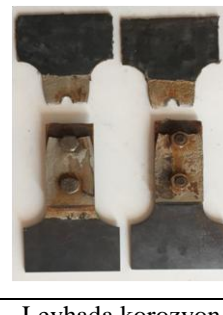



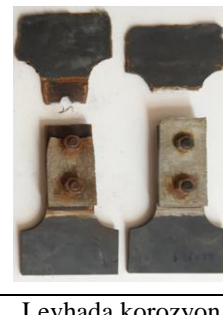
Deney sonuçlarına göre, 6 mm kalınlığında levhalı numunelerde 4 mm kalınlığındaki levhalı numunelere göre korozyonsuz numunelerde ortalama %32 daha fazla, %10 bulonda yapay korozyonlu numunelerde ortalama %47 daha fazla

maksimum yüke ulaşılmıştır. Maksimum deplasman açısından ise, 6 mm kalınlığındaki levhali numunelerde 4 mm kalınlığında levhali numunelere göre korozyonsuz numunelerde ortalama %3 daha fazla, %10 bulonda yapay korozyonlu numunelerde ortalama %2 daha az deplasman elde edilmiştir.

5.2.7. 4 mm ve 6 mm kalınlığındaki levhalardaki kırılma şekilleri bakımından karşılaştırma

Çizelge 5.54 ve 5.55'te sırasıyla 4 mm ve 6 mm kalınlığındaki levhalarda korozyonsuz, %10 korozyonlu ve %20 korozyonlu numunelerde eksenel çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma şekilleri görülmektedir.

Çizelge 5.54. 4 mm kalınlığındaki levhalarda, küt kaynaklı, köşe kaynaklı ve bulonlu birleşimlerde elde edilen kırılma şekilleri

4 mm kalınlığında levhali numuneler (Korozyonsuz)				
	Referans levha	Küt kaynaklı	Köşe kaynaklı	Bulonlu
4 mm kalınlığında levhali numuneler (%10 Korozyonlu)				
	Referans levha	Küt kaynaklı	Köşe kaynaklı	Levhada korozyon
4 mm kalınlığında levhali numuneler (%20 Korozyonlu)				
	Referans levha	Küt kaynaklı	Köşe kaynaklı	Levhada korozyon

4 mm kalınlığındaki birleşimsiz levhalarda korozyon miktarının artışıyla davranışın daha gevrek hale geldiği gözlenmiştir. 4 mm kalınlığındaki küt kaynaklı birleşimli levha numunelerinde genellikle kırılmalar gerilme yığılmaların olduğu gövde ve başlık birleşim bölgelerinde meydana gelmiştir. 4 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı birleşimli levha numunelerinde ise genellikle kaynak bölgelerinde korozyon oluşumu yoğun olarak gözlenmiş ve kırılmalar bu bölgelerde oluşmuştur. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levha numunelerinde kırılmalar zayıf olan kesit bölgelerinde meydana gelmiştir. Levha ve bulonun aynı anda korozyona maruz bırakıldığı numunelerde korozyonun bulonun baş kısmında ve somun bölgesinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bulonda kesme ve ezilme etkisindeki alanlarda korozyon oluşumu gözlemlenmemiştir. Bu tip numunelerde kırılma oluşumunda ise levhada meydana gelen korozyon hâkim olmuştur.

Çizelge 5.55. 6 mm kalınlığındaki levhalarda, küt kaynaklı, köşe kaynaklı ve bulonlu birleşimlerde elde edilen kırılma şekilleri

6 mm kalınlığında levhali numuneler (Korozyonsuz)				
	Referans levha	Küt kaynaklı	Köşe kaynaklı	Bulonlu
6 mm kalınlığında levhali numuneler (%10 Korozyonlu)				
	Referans levha	Küt kaynaklı	Köşe kaynaklı	Bulonlu
6 mm kalınlığında levhali numuneler (%20 Korozyonlu)				
	Referans levha	Küt kaynaklı	Köşe kaynaklı	Bulonlu

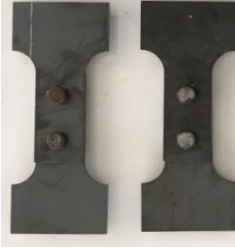

6 mm kalınlığındaki birleşimsiz levhalarda 4 mm kalınlığındaki levhalı numunelerde olduğu gibi korozyon miktarının artışıyla davranış gevrek hale gelmiştir. 6 mm kalınlığındaki küt kaynaklı birleşimli levha numunelerinde genellikle kırılmalar gerilme yığılmaların olduğu gövde ve başlık birleşim bölgelerinde meydana gelmiştir. 6 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı birleşimli levha numunelerinde korozyon genellikle kaynak bölgelerinde yoğun olarak gözlenmiş ve kırılmalar bu bölgelerde oluşmuştur. 6 mm kalınlığında bulonlu birleşimli levha numunelerinde kırılmalar zayıf olan kesit bölgesinde meydana gelmiştir. Levha ve bulonun aynı anda korozyona maruz bırakıldığı numunelerde korozyonun bulonun baş kısmında ve somun bölgesinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bulonda kesme ve ezilme etkisindeki alanlarda korozyon oluşumu gözlemlenmemiştir. Bu tip numunelerde kırılma oluşumunda ise levhada meydana gelen korozyon hâkim olmuştur.

Çizelge 5.56. 4 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda bulonda oluşan korozyon sonucu oluşan kırılma şekilleri

4 mm kalınlığında bulon bağlantılı numuneler				
	Referans Levha	%10 Bulonda Korozyonlu	%20 Bulonda Korozyonlu	Yapay Korozyonlu

4 mm kalınlığındaki bulon bağlantılı sadece bulonda korozyon olan numunelerde meydana gelen korozyon ilk olarak bulon dışlarında etkili olduğu için bazı numunelerde kopma meydana gelmemiş, numuneler sıyrılarak birbirinden ayrılmışlardır. Sıyrılma olmayan numunelerde ise kopma gövdede zayıf olan kısımlarda gerçekleşmiştir. 4 mm kalınlığındaki bulon bağlantılı sadece bulonda yapay korozyon olan numunelerde bulonlar gelen yükü taşıdığı için kopma gövdede zayıf olan kısımlarda gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.57. 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda bulonda oluşan korozyon sonucu oluşan kırılma şekilleri

6 mm kalınlığında bulon bağlantılı numuneler		%10 Bulonda Korozyonlu: İki adet siyah metal levha, ortasında beyaz bir delik, her iki tarafında bir adet bulonla birleştirilmiştir. Bulonların etrafında küçük korozyon lekeleri gözlemlenmektedir." data-bbox="441 144 578 254"/>	%20 Bulonda Korozyonlu: İki adet siyah metal levha, ortasında beyaz bir delik, her iki tarafında bir adet bulonla birleştirilmiştir. Bulonların etrafında daha büyük korozyon lekeleri gözlemlenmektedir." data-bbox="591 144 728 254"/>	
	Referans Levha	%10 Bulonda Korozyonlu	%20 Bulonda Korozyonlu	Yapay Korozyonlu

4 mm kalınlığındaki bulon bağlantılı sadece bulonda korozyon olan numunelerde meydana gelen korozyon ilk olarak bulon dışlerinde etkili olduğu için bazı numunelerde kopma meydana gelmemiş, numuneler sıyrılarak birbirinden ayrılmışlardır. Sıyrılmayan numunelerde ise oluşan korozyon bulon taşıma kapasitesini aştığı için bulonlarda kesme meydana gelmiştir. 4 mm kalınlığındaki bulon bağlantılı sadece bulonda yapay korozyon olan numunelerde bulonlar gelen yükü taşıdığı için kopma gövdede zayıf olan kısımlarda gerçekleşmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Çelik yapı elemanlarında çevresel koşullar nedeniyle kaçınılmaz olarak ortaya çıkabilen korozyon çeliğin bünyesinde bozulmalara neden olabilmektedir. Korozyon oluşum süreci ve miktarı arttıkça malzemede kesit azalmasının yanı sıra malzemenin mekanik özelliğinde de değişme meydana gelmektedir.

Korozyon oluşumu, kullanılan çelik elemanda doğrudan en kesit kaybı meydana getirmektedir. Korozyon elektro-kimyasal bir olay olduğu için çelik elemanlarda kütle kaybının yanında malzeme özelliğinde de değişimler göstermektedir.

Bu tez çalışmasında, 4 mm ve 6 mm kalınlığında çelik levha numunelerinde korozyon oluşumu ile eksenel çekme yükü etkisi altındaki davranış deneysel olarak incelenmiş, deney numunelerinin akma dayanımları, maksimum çekme dayanımları, akma birim uzamaları, maksimum gerilmeler, kopma uzamaları ve maksimum eksenel çekme kuvvetleri belirlenmiştir. Korozyon oluşumu malzemede incelenen bu parametrelerde her zaman olumsuz etki meydana getirmiştir.

Deneysel sonuçların karşılaştırılmasından;

Korozyon miktarı arttıkça deney numunelerinde eksenel çekme kuvveti etkisi altındaki davranışın daha gevrek hale geldiği gözlenmiştir. 4 mm ve 6 mm kalınlığındaki levhalarda aynı tip numunelerde genellikle aynı tür kırılma davranışı elde edilmiştir.

Akma dayanımındaki maksimum azalmanın, sadece bulonda korozyon olan 6 mm kalınlığındaki bulonlu birleşimli levhalarda kütlece %20 azalma meydana gelen numunelerde meydana geldiği belirlenmiştir. Akma dayanımı referans numuneye göre ortalama %45 azalmıştır.

Akma dayanımındaki minimum azalma, 4 mm kalınlığındaki birleşimsiz levhada kütlece %10 azalma meydana gelen numunede meydana geldiği belirlenmiştir. Akma dayanımındaki azalma referans numuneye göre ortalama % 1 azalmıştır.

Çekme gerilmesindeki maksimum azalma, 4 mm kalınlığındaki küt kaynaklı levhalarda kütlece %20 azalma meydana gelen korozyonlu numunelerde meydana gelmiştir. Çekme gerilmesi referans numuneye göre ortalama %38 azalmıştır.

Çekme gerilmesindeki minimum azalma, 6 mm kalınlığındaki bulon birleşimli levhalarda sadece bulonda korozyon olan levhalarda kütlece % 10 azalma meydana

gelen numunelerde meydana geldiği belirlenmiştir. Çekme gerilmesi referans numuneye göre aynı oranda çıkmıştır.

Akma birim uzamasındaki maksimum azalma, 4 mm kalınlığındaki küt kaynaklı levhalarda kütlece %20 azalma meydana gelen korozyonlu numunelerde meydana gelmiştir. Akma birim uzamasında referans numuneye göre ortalama %42 azalma meydana gelmiştir.

Kopma birim uzamasındaki maksimum azalma, 4 mm kalınlığındaki birleşimsiz levhalarda kütlece %20 azalma meydana gelen korozyonlu numunelerde meydana gelmiştir. Kopma birim uzamasında referans numuneye göre ortalama %85 azalma meydana gelmiştir.

Süneklik katsayısında en fazla azalma 4 mm kalınlığındaki köşe kaynaklı birleşim elemanlarında görülmektedir. Referans numuneye göre sünekliğinde %74 azalma meydana gelmiştir.

Genel olarak referans numuneye göre korozyondan en az etkilenen birleşim türü bulonlu birleşimler olmuştur. Buna göre korozyon etkisi altında en elverişli sonuçlar bulonlu birleşimli levhalarda gözlemlenmiştir.

Korozyon oluşumunda kütle kaybında lineer düzeyde azalmalar meydana gelmesi durumunda dayanımda ve malzemenin mekanik özelliklerindeki değişimler lineer olmamaktadır. Deney sonucunda oluşan dayanım kayıpları, akma gerilmesindeki azalmalar ve süneklik düzeyindeki azalmalar oluşturulan korozyon oranından daha büyük oranda meydana gelmektedir. Korozyonun yerel olması ile yaygın olması arasındaki yapısal davranış birbirinden farklıdır. Korozyon düzeyi, yeri, cinsi ne olursa olsun referans duruma kıyasla daima olumsuz etki yapmaktadır.

6.2. Öneriler

Yapının tasarım aşamasında, yapıda oluşması beklenen korozyon miktarının hesaplanması durumunda meydana gelebilecek dayanım kaybını önceden tahmin edebilmek için bu çalışma bir referans olarak kullanılabilir.

Birleşim bölgelerinde dayanım özelliklerini detaylı incelemek için yüksek dayanımlı bulonlarda ve farklı birleşim tipleri için korozyon etkisi incelenebilir. Büyük ölçekli yapısal çelik elemanlarda ve birleşim bölgelerinde korozyon hasarının etkileri deneysel olarak araştırılabilir.

Korozyon hızı tahminleri yapılsa dahi oluşacak korozyonun birleşim bölgesi üzerine etkileri kesin olarak hesaplanmamaktadır. Korozyonun zararlarını minimuma indirmek için korozyondan korunma yöntemlerine uyulmalı ve uygulamaları özenle yapılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Aghayere A., Vigil J., 2015, Structural Steel Design, A Practice-Oriented Approach 2'nd edition, Akbaş, B., Eğilmez, O., *Pearson Education Prentice Hall*, USA.
- Ahn, Jj., You, J., Huh, J., Jeong, Y., Kim, I., 2017, Residual clamping force of bolt connections caused by sectional damage of nuts, *Journal of Construtional Steel Research*, 136, 204-214
- Ateş, Ö., (2008), Bulonlu Birleşimlerde Kesme Kuvvetlerinin Bulonlara Dağılımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Coşkan, S., (2011), Üniform Korozyona Maruz Betonarme Binalarda Deprem Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak
- Coşkan, S., Yüksel, İ. (2013), "Çerçevelerde Donatı Korozyonunun Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkileri", *SDU International Technologic Science, Constructional Technologies*, Vol. 5, No 3, December, pp. 77-88.
- Çakır, A. F. (1990), "Metalik Korozyon İlkeleri ve Kontrolü", Makine Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 364 s.
- Çakır, A. F., (1996), "Yüzey İşlemleri ve Korozyon", 5. Korozyon Sempozyumu Bildirileri, Ankara, s 124-138.
- Çalı, Ş. (2016), İnşaat Çeliklerinin Sıcak Daldırma Yöntemiyle Alüminyum Kaplanması ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum
- ÇYTHYE, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap Ve Yapımına Dair Esaslar, 2016
- Demirtaş, B., (2008), Korozyonun Betonarme Kolonların Deprem Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Deren, H., Uzgider, U., Piroğlu, F., 2008, Çelik Yapılar, *Çağlayan Kitapevi*, İstanbul
- Doğan, G., (2006), Atmosferik Korozyonun Metal Yapı Malzemelerine Etkisi Üzerine Deneysel Çalışma Ve Yapay Sinir Ağı İle Korozyon Hızı Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Doruk, M., 1982, Korozyon ve Önlenmesi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Yayını*, Ankara, 239s.
- Doruk, M., 2014, Metalik Malzemeler ve Korozyon, *Korozyon Derneği Yayını*, Ankara

- Gedikli, Ü., (2004), Molibdenin sulu ortamdaki korozyonuna ph ve sülfürün etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Geliş, K., (2014), <https://docplayer.biz.tr/189439-Meslek-yuksekokulu-elektrik-ve-enerji-bolumu-iklimlendirme-ve-sogutma-teknolojisi-bolumu-kaynak-teknolojisi-ders-notlari-ogr-gor.html>
- Han, L., Hou, C., Wang, Q. 2014, Behavior of circular CFST stub columns under sustained load and chloride corrosion, *Journal of Construtional Steel Research*, 103, 23-36
- Hihara, L.H., (2014), Electrochemical Aspects of Corrosion-Control Coatings, in Intelligent Coatings for Corrosion Control, Chapter 1, p.1-15, Butterworth-Heinemann, United Kingdom
- İnci,P (2011), Donatı Korozyonunun Betonarme Yapıların Deprem Performansına Etkisi Tezi İstanbul, Türkiye, 2011
- Keyder, E., Wasti, S.T., 2010, Çelik Yapı Elemanları (Analiz ve Tasarım), Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Koçer, M., Öztürk, M., Boğa, A. (2019). Analytical Study On The Effect Of Corrosion To The Construction Performance, *Natural and Engineering Sciences*, 4(1), 11-20.
- Özdemir, Ö., (2019), http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/70503/39076/11._ders_notu.pdf [Ziyaret Tarihi: 26 Şubat 2019]
- Sarı, A., (2015), 1-(2-Hidroksietil)-2-İmidazolidion (2-HEI) ‘İN Yumuşak Çelik Korozyonuna 0,5 M HCL Çözeltisi İçinde Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Adana,
- Saad-Elden, S., Garbatov, Y., Soares, C., 2014, Strength assessment of a severely corroded box girder subjected to bending moment, *Journal of Construtional Steel Research*, 2014, 90-102
- Taze, N., (2003), Şehir ve Endüstri Atmosferinde Bulunan Kükürdioksidin Çeşitli Yapı Malzemelerine Korozif Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Topal, E., (2016), Alüminyum İçin Korozyon İnhibitörü Olarak Kullanılan Bazı Proton Pump İnhibitörlerinin Kuantum Kimyasal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa
- Yalçın, H. ve Koç, T., (1991),"Demir ve Çelik Yapıların Korozyonu ve Katodik Koruması", İller Bankası Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, 327s.
- Yavuz, G., (2011), Lif Takviyeli Polimerlerin Betonarme Kirişlerde Donatı Olarak Kullanımı”, *e-Journal of New World Sciences Academy-NWSA, Engineering Sciences*, 6 (4), 1001-1015.

YÇİTŞ, Yapı Çeliği İşleri Teknik Şartnamesi, 2007

Yüksekova, U., (2011), Çelik Yapılardaki Bulonlu Birleşimlerin Davranışları İle İlgili Araştırmaların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi , Eskişehir

Xu, S., Wang, H., Li, A., Wang, Y., Su, L., 2016, Effects of corrosion on surface characterization and mechanical properties of butt-welded joints, *Journal of Constructional Steel Research*, 126, 50-62

Wu, B., Cao, J., Kang, L., 2017, Influence of local corrosion on behavior of steel I-beams subjected to end patch loading: Experiments, *Journal of Constructional Steel Research*, 135, 150-16

http://www.amteccorrosion.co.uk/m_coatingfailuresguide.html

<https://www.shutterstock.com/image-photo/rust-corrosion-weldcorrosion-metalrust-metalscorrosion-rusted-722678866>



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yasin DUYSAK
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Fatih / 06.04.1993
Telefon : 0506 656 44 41
Faks :
E-Posta : ysndysk@outlook.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Cumhuriyet Lisesi	Selçuklu	Konya	2011
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	Selçuklu	Konya	2016
Yüksek Lisans	:			
Doktora	:			

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2018-2019	Yükselti Yapı Denetim Ltd.Şti.	Kontrol Elemanı
2019-	Kırklareli Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Duysak, Y., Yavuz, G., 2019, Korozyonun Farklı Kalınlıktaki Çelik Elemanların Davranışı Üzerine Etkisinin İncelenmesi, *II.International Science and Academic Congress'19*, Konya TURKEY, Vol.1, 181-187.

Duysak, Y., Yavuz G., 2018, "Corrosion Damages in Steel Structures and Corrosion Prevention Methods", *International Symposium for Environmental Science and Engineering Research (ISESER,)* Konya TURKEY.