



**BETONARME DONATILARDA
MEKANİK BAĞLANTI ELEMANI
MANŞONLARIN YÖNETMELİKLERDE
İNCELENMESİ**

DAMLA BERFİN ÇIKMAZ CEYLAN

ESKİŞEHİR - 2019

**BETONARME DONATILARDA MEKANİK BAĞLANTI ELEMANI
MANŞONLARIN YÖNETMELİKLERDE İNCELENMESİ**

DAMLA BERFİN ÇIKMAZ CEYLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

DANIŞMAN: Dr. Öğretim Üyesi Kıvanç Taşkın

ESKİŞEHİR

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Eylül 2019

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

DAMLA BERFİN ÇIKMAZ CEYLAN'ın "BETONARME DONATILARDA MEKANİK BAĞLANTI ELEMANI MANŞONLARIN YÖNETMELİKLERDE İNCELENMESİ" başlıklı tezi tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim- Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

<u>Jüri Üyeleri</u>	<u>Unvanı Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	: Dr. Öğretim Üyesi Kıvanç TAŞKIN
Üye	: Dr. Öğretim Üyesi Onur TUNABOYU
Üye	: Dr. Öğretim Üyesi Özlem ÇALIŞKAN

Prof. Dr. Murat TANIŞLI
Enstitü Müdürü

ÖZET

BETONARME DONATILARDA MEKANİK BAĞLANTI ELEMANI MANŞONLARIN YÖNETMELİKLERDE İNCELENMESİ

DAMLA BERFİN ÇIKMAZ CEYLAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eylül 2019

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Kıvanç TAŞKIN

Günümüzde donatı birleşimi ve sürekliliği, klasik bindirme yöntemine ve kaynakla birleşim yöntemine alternatif olarak manşon adı verilen mekanik birleşim araçları ile sağlanabilmektedir. Bu çalışmada mekanik birleşim araçları altı bölümde incelenmiştir.

Birinci bölümde mekanik bağlantı elemanları ile ilgili daha önceden yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

İkinci bölümde betonarme donatısının mekanik özellikleri incelenmiştir.

Üçüncü bölümde donatı birleşim türleri ve TS500, Eurocode-2, ACI 318-08 ve TBDY 2019 yönetmeliklerinde donatı birleşim yöntemlerine ilişkin hesap ve sınır kriterleri incelenmiştir. Piyasada sıklıkla kullanılan manşon türleri ile ISO 158351-2 ve ASTM A1034 mekanik birleşim elemanları test standartları incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, ACI318-14 yönetmeliğine göre ankrajlı donatı elemanları yerine mekanik birleşim araçlarının kullanılmasının bindirme boyuna etkileri sayısal örneklerle incelenmiştir.

Beşinci bölümde mekanik birleşim araçlarının monotonik çekme testleri, çevrimsel çekme testleri ve sıyrılma testleri altındaki davranışı, testler sırasında oluşabilecek olumsuz durumlar incelenmiştir.

Son bölümde sonuçlar değerlendirilmiş olup TBDY 2019 EK-8A ile ilgili öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Mekanik birleşim, Manşon, Mekanik birleşim testleri

ABSTRACT

REVIEW OF REINFORCED COUPLER SYSTEMS IN CODES

DAMLA BERFİN ÇIKMAZ CEYLAN

Department of Civil Engineering

Eskişehir Technical University, Graduate School of Sciences, September 2019

Supervisor: Assistant. Dr. Kıvanç TAŞKIN

Today reinforcement bar connection and continuity can be achieved by mechanical splices as an alternative to the classical overlap method and welded method. In this study, mechanical splices are discussed in six sections.

In the first section, the previous studies and result about the mechanical splices were mentioned.

In the second section mechanical properties of reinforced bar are examined.

In the third chapter, mechanical connection types and calculation methods are examined. Mechanical connections in TS 500, Eurocode-2, ACI 318-08 and TBDY 2019 regulations are researched.

In the fourth chapter, the effects of mechanical splice usage to the development length instead of anchor according to ACI 318-14 regulation are examined with numerical examples.

In the fifth chapter, the behaviour of mechanical splices under monotonic tensile tests, slip tests and high-cycle fatigue tests are examined.

In the last section, the results are evaluated, and some suggestions are presented about the TBDY 2019 *Appendix-8A*.

Key Words: Mechanical splice, Coupler, Mechanical Connection Test

Aileme...



TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sırasında benden yardımlarını esirgemeyen, tecrübe ve bilgi birikimiyle sürekli araőtırmaya ve sorgulamaya yöneltten değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN'a teşekkür ederim. Her daim yanımda olan eőim Batuhan CEYLAN'a teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.



DAMLA BERFİN ÇIKMAZ CEYLAN

Eylül 2019

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmanın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerinin sunumu olmak üzere tüm aşamalarda bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....
(İmza)

DAMLA BERFİN ÇIKMAZ CEYLAN
(Öğrencinin Adı Soyadı)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTARCT.....	iv
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması.....	2
2. BETONARME DONATISI	5
2.1. Betonarme Donatısının Mekanik Özellikleri	6
3. BETONARME DONATILARDA BİRLEŞİM YÖNTEMLERİ	8
3.1. Bindirmeli Birleşimler.....	8
3.1.1. TS 500 Yönetmeliğinde Bindirme ve Kenetlenme.....	8
3.1.1.1. <i>Kenetlenme</i>	8
3.1.1.2. <i>Bindirmeli Ekler</i>	11
3.1.2. Eurocode-2 Yönetmeliğinde Bindirme ve Kenetlenme.....	12
3.1.2.1. <i>Bindirmeli Ekler</i>	12
3.1.2.2. <i>Kenetlenme Boyu</i>	13
3.1.2.3. <i>Bindirme Boyu</i>	14
3.1.3. ACI (American Concrete Institute) 318-08 Yönetmeliğinde Bindirme ve Kenetlenme	17
3.1.3.1. <i>Kenetlenme Boyu</i>	17
3.1.3.1. <i>Bindirme Boyları</i>	20
3.1.4. TBDY (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği) 2019 Yönetmeliğinde Bindirme ve Kenetlenme	21
3.1.4.1. <i>Kenetlenme</i>	21

İÇİNDEKİLER

Sayfa

3.1.4.2. <i>Bindirme Boyu</i>	21
3.2. Kaynaklı Birleşimler	22
3.2.1. TS 500 Yönetmeliğinde Kaynaklı Bindirme ve Kenetlenme	23
3.3. Mekanik Birleşimler (Manşon)	24
3.3.1. Mekanik Birleşimin Avantajları	25
3.3.2. Manşon Türleri	27
3.3.2.1. <i>Solid Manşonlar</i>	28
3.3.2.2. <i>Kemerli Manşonlar</i>	28
3.3.2.3. <i>Kamalı Manşonlar</i>	29
3.3.2.4. <i>Soğuk Pres Manşonlar</i>	30
3.3.2.5. <i>Soğuk Pres Dişli Manşonlar</i>	30
3.3.2.6. <i>Grout Manşonlar</i>	30
3.3.2.7. <i>Nervürlü Donatı Manşonları</i>	31
3.3.2.8. <i>Konik Uçlu Manşonlar</i>	32
3.3.2.9. <i>Kamalı Manşon</i>	32
3.3.3. TS 500 Yönetmeliğinde Mekanik Birleşimler	32
3.3.4. ACI 318-08 Yönetmeliğinde Mekanik Birleşimler	33
3.3.5. TBDY 2019 Yönetmeliğinde Mekanik Birleşimler	34
4. MEKANİK BİRLEŞİM ARAÇLARININ TEST METOTLARI	36
4.1. ISO (International Organization for Standardization) 15385-1	36
4.1.1. Tanımlar	36
4.1.2. Test Koşulları	37
4.1.3. Statik Kuvvetler Altında Dayanım ve Süreklilik	37
4.1.4. Statik Yükler Altında Dayanım ve Sıyırılma	39
4.1.5. Yüksek Çevrimsel Yorulma Testlerinin Özellikleri	40
4.1.6. Düşük Çevrimsel Yorulma Testlerinin Özellikleri	41
4.1.7. İşaretlenme ve İzlenilebilirlik ve Kurulum Talimatları	41
4.1.8. Uygunluk Değerlendirmeleri	41
4.1.9. Yeterlilik Testleri ve Fabrika Üretim Kontrolü	42
4.1.10. Belgeleme	43

İÇİNDEKİLER

Sayfa

4.1.11. ISO 15835-1'de Manşon Sınıflandırması	44
4.2. ISO (International Organization for Standardization) 15385-2	45
4.2.1. Mekanik Birleşim Testleri	46
4.2.2. Test Ekipmanlarının Hazırlanması	47
4.2.3. Sıyırılma Testi.....	47
4.2.4. Çekme Testi	48
4.2.5. Test Prosedürleri	49
4.2.6. Yüksek Çevrimsel Yorulma Testleri	50
4.2.7. Düşük Çevrimsel Yorulma Testleri	51
4.2.8. Testlerin Raporlanması	54
4.3. ASTM (American Society for Testing and Materials) A1034	54
4.3.1. Tanımlar	54
4.3.2. Monotonik Çekme Deneyi	55
4.3.3. Monotonik Basınç Deneyi.....	55
4.3.4. Çevrimsel Yükleme Testleri	55
4.3.5. Yüksek Çevrimsel Yorulma Testi.....	55
4.3.6. Sıyırılma Testi.....	55
4.3.7. Test Ekipmanları.....	56
5. ACI 318-11 YÖNETMELİĞİNE GÖRE MEKANİK BİRLEŞİM	
UYGULAMA ÖRNEKLERİ	57
5.1. Standart Tek Kanca Yerine Mekanik Birleşim Elemanı Uygulamaları	57
5.2. Standart Kanca Grupları Yerine Mekanik Birleşim Elemanı	
Uygulamaları.....	62
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	67
6.1. SONUÇ	67
6.2. ÖNERİLER.....	67
KAYNAKÇA	69
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Çeliklerin mekanik olarak sınıflandırılması	6
Çizelge 3.1. Hasır donatılar için bindirmeli ekleme koşulları	11
Çizelge 3.2. α_6 katsayı değerleri	15
Çizelge 3.3. $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ ve α_5 katsayıları	16
Çizelge 3.4. Çekme donatılarında bindirme boyu sınır şartları	20
Çizelge 3.5. Çekme donatılarında bindirme boyu sınıfları.....	21
Çizelge 3.6. Kenetlenme için gerekli enine çubuk sayısı ve minimum boyları.....	23
Çizelge 3.7. Manşon sınıfları.....	34
Çizelge 3.8. Donatı mekanik bağlantılarında uygulanacak çevrimsel yükleme deneyleri.....	35
Çizelge 3.9. Farklı ülkelerin şartnamelerine göre çekme deneyinde mekanik bağlantı dayanım sınır değerleri.....	35
Çizelge 4.1. k katsayısı değerleri.....	39
Çizelge 4.2. Manşonların performans kontrolünde uygulanacak test esasları.....	43
Çizelge 4.3. Manşon sınıfları, özellikleri ve test yöntemleri	44
Çizelge 5.1. Kancalı donatılarda bindirme boyu	66
Çizelge 5.2. Kanca yerine mekanik bağlantı kullanılan donatılarda bindirme boyu	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Düz donatı	5
Şekil 2.2. Nervürlü donatı	5
Şekil 2.3. Ülkemizde sık kullanılan donatı çeliği sınıflarının mekanik özellikleri	6
Şekil 2.4. Çelik gerilme-birim uzama eğrisi	7
Şekil 3.1. Bindirme yöntemi	8
Şekil 3.2. Kanca ve fiyongla kenetlenme durumları	9
Şekil 3.3. Bindirmeli kanca uygulamaları	10
Şekil 3.4. Komşu donatılarda bindirmeli ek yapılması durumunda sınır değerler	12
Şekil 3.5. Esas kenetlenme boyu	13
Şekil 3.6. η_1 katsayısını belirlemede kullanılan beton döküm koşulları	14
Şekil 3.7. $0,65 l_0$ boyundaki donatı yoğunluğu ve ρ_1 hesap kriterleri	15
Şekil 3.8. Kiriş ve döşemelerde c_d değerleri	16
Şekil 3.9. Döşeme ve kirişlerde K değerleri	16
Şekil 3.10. Kancalı donatılarda kenetlenme boyu	18
Şekil 3.11. 90^0 kancalı uygulamalarda düşey etriye kullanımı sınır şartları	19
Şekil 3.12. 90^0 kancalı uygulamalarda yatay etriye kullanımı sınır şartları	20
Şekil 3.13. Beton örtüsü kalınlığının 2.5 inçten küçük olduğu durumda sınır değerler	20
Şekil 3.14. Kaynaklı birleşim	23
Şekil 3.15. Kaynaklı enine donatılarda kenetlenme	23

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.16. Mekanik birleşim	24
Şekil 3.17. Donatıda diş açma vemanşonlama makinaları.....	25
Şekil 3.18. Yapıda manşon kullanım alanları	26
Şekil 3.19. Yapıda manşon kullanım alanları	27
Şekil 3.20. Solid manşonlar.....	28
Şekil 3.21. Kemerli manşonlar.....	29
Şekil 3.22. Kamalı manşonlar	29
Şekil 3.23. Soğuk presli manşonlar.....	30
Şekil 3.24. Soğuk pres dişli manşonlar	30
Şekil 3.25. Grout manşonlar.....	31
Şekil 3.26. Nervürlü donatı manşonları	31
Şekil 3.27. Konikuçlu manşonlar	32
Şekil 3.28. Kamalı manşonlar	32
Şekil 3.29. Mekanik bağlantılarda kenetlenme boyu	33
Şekil 4.1. Lineer ve logaritmik oluşturulan S-N diyagramı örnekleri.....	40
Şekil 4.2. Ölçüm prensibi şematik	46
Şekil 4.3. Mekanik birleşim yerlerinin uzamalarını ölçmek için kullanılacak uzunluklar.....	46
Şekil 4.4. Sıyırılma deneyi çevrimsel yüklemesi grafiği	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4.5. Yüksek çevrimsel yorulma testi için çevrimsel yükleme diyagramı	50
Şekil 4.6. Tipik S-N diyagramı	51
Şekil 4.7. Mekanik bağlantıda yüksek gerilme etkisi altında çekme-basınç deneyi grafiği	52
Şekil 4.8. Mekanik bağlantıda yüksek şekil değiştirmelerin altında çekme-basınç deneyi grafiği	53
Şekil 4.9. Donatı manşonu şematik test düzeneği	56
Şekil 5.1. Standart kanca uygulaması yerine manşon uygulaması.....	58
Şekil 5.2. Tek ankrajlı uygulamalarda beton göçme alanı A_{NC0} hesabı.....	58
Şekil 5.3. A_{NC} alanı hesabı	59
Şekil 5.4. Standart kanca uygulaması yerine manşon uygulaması.....	59
Şekil 5.5. Standart kanca uygulaması yerine manşon uygulaması.....	62
Şekil 5.6. Standart grup kanca uygulaması yerine manşon uygulaması	64
Şekil 5.7. İkili grup ankraj uygulamalarında göçme alanı hesabı	65

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ΔL_e	: Eklenmemiş donatının elastik uzama miktarı
ΔL_g	: Eklenen donatının toplam uzama miktarı
ΔL_s	: Mekanik bağlantının sıyrılma boyu
ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
A_5	: 5d uzunluğundaki kırılma sonrası uzama yüzdesi
A_{10}	: 10d uzunluğundaki kırılma sonrası uzama yüzdesi
A_{gt}	: Maksimum çekme kuvveti (F_{max}) altında gerçekleşen toplam uzama yüzdesi
A_s	: Donatı alanı
c_b	: Beton örtüsü ve donatılar arası mesafe katsayısı
c_d	: Donatı çapına bağlı olarak değişen bir katsayı
d	: Donatı nominal çapı
d_b	: Donatı çapı
d_m	: Merdane çapı
E	: Elastisite modülü
EN	: Eurocode Standardı
f_{bd}	: Nihai aderans gerilimi
f_c	: Beton basınç dayanımı
f_{ctd}	: Beton tasarım aksenal çekme dayanımı
F_{max}	: Maksimum çekme kuvveti
F_s	: Aksenal kuvvet
f_y	: Donatı akma dayanımı
f_{yd}	: Donatının tasarım akma dayanımı
f_{yk}	: Donatının karakteristik akma dayanımı
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu
k	: Numune sayısına bağlı olarak değişen bir katsayı
K	: Döşeme ve kirişlerde kullanılan bir katsayı
K_{tr}	: Etriye dağılım katsayısı
L	: Mekanik bağlantı toplam uzunluğu
L_1	: Manşon uzunluğu
L_g	: Ölçüm aletinin uzunluğu

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

L_{g1}	: Eklenen donatının ilk yüklemekten sonra uzama miktarı
L_{g2}	: Eklenen donatının ikinci yüklemekten sonra uzama miktarı
l_b	: Kenetlenme boyu
$l_{b,rqd}$: Esas kenetlenme boyu
l_d	: Kenetlenme boyu
l_{dh}	: Kancalı donatılarda kenetlenme boyu
l_0	: Bindirme boyu
n	: Donatı sayısı
N	: Eksenel yük yorulma testinde belirtilen yükleme döngüsü sayısı
r	: Aynı kesitte eklenen donatının toplam donatıya oranı
$R_{eH, spec}$: Donatının nominal karakteristik akma dayanımı
$R_{m, spec}$: Donatının nominal çekme dayanımı
s	: Enine donatı aralığı
s	: Numunelerin standart sapma değeri
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS500	: Betonarme yapılarının tasarım ve yapım kurallarına ait Türk standardı
u_4	: 4. yükleme döngüsünden sonra ölçülen kalıcı uzamalar
u_8	: 8. yükleme döngüsünden sonra ölçülen kalıcı uzamalar
u_{20}	: 20. yükleme döngüsünden sonra ölçülen kalıcı uzamalar
x	: Numunelerin ortalama değeri
α_1	: Donatı katsayısı
α_2	: Beton örtüsü katsayısı
α_3	: Kaynaklanmamış basınç enine donatı katsayısı
α_4	: Kaynaklanmış basınç enine donatı katsayısı
α_5	: Ana donatıya kaynaklanmayan enine sargı donatı katsayısı
α_6	: Kesit yüzdesine bağlı bir katsayı
δ	: Birim şekil değiştirme
δ_1	: $0.5 F_{eH}$ noktasından x eksenine paralel bir doğru çizilmesi ve bu doğru ile kesişen S doğrusuna paralel doğru notasyonu
ε_y	: Nominal akma dayanımındaki birim şekil değiştirme
η_1	: Donatının bağlanmasına ve kondisyonuna göre belirlenen bir katsayı

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

η_2	: Donatı çapına bağlı bir katsayı
λ	: Hafif beton katsayısı
ρ_1	: $0,65l_0$ boyundaki donatı yoğunluğu
σ_{\min}	: Eksenel yükleme yorulma testinde minimum gerilme değeri
σ_{\max}	: Eksenel yükleme yorulma testinde maksimum gerilme değeri
σ_{sd}	: Kenetlenen donatının tasarım gerilmesi
ψ_t	: Donatı yerleşim katsayısı
ψ_e	: Donatı kaplama faktörü
ψ_s	: Donatı boyut faktörü
$2\sigma_a$: Monotonik çevrimsel testler için gerilme değeri sınırı

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknolojilerden inşaat sektörü doğrudan etkilenmiştir. Nüfus artışına paralel olarak yapı sektöründeki talepler artış göstermiştir. Yapı kullanım alanlarını minimize etmek ve planda daha az yer kaplayan fakat daha çok insanın barınabileceği yüksek katlı binalara talep başlamıştır. Bununla birlikte yüksek katlı yapılarda dayanım daha da önemli hale gelmiştir. Aynı şekilde ekonomik malzeme kullanımı ve yapının dayanıklılığı dengesini sağlamak amacı mühendislik yapılarında kullanılan malzemelerin de geliştirilmesine ön ayak olmuştur.

Yapı mühendisliği, yapının elemanlarının çeşitli konfigürasyonlarını iç ve dış kuvvetler göz önünde bulundurularak analiz etmeyi amaçlayan bir inşaat mühendisliği disiplini. Bununla birlikte yapı elemanlarında kullanılan malzemenin limit dayanım değerleri, yapısal özellikleri, deprem altındaki davranışı gibi unsurlarını bilmek önem arz etmektedir. Betonarme yapılar, yapı mühendisliğinin önemli alanlarından birisidir. Ülkemizde de dahil olmak üzere birçok ülkede betonarme yapılar uzun kullanım ömrü ve ekonomikliği açısından tercih edilmektedir. Bu sistemlerde kullanılan yapı elemanları ve malzemeler birçok çalışmada inceleme konusu olmuştur.

Klasik betonarme yapılarda betonun çekme dayanımını arttırmak amacı ile donatı demiri kullanılmaktadır. Donatıların bindirmeli olarak birleştirilmesi ise iki donatının paralel olarak bağ teli ile bağlanması ile gerçekleştirilir. Bindirmeli birleşimlerde yük transfer mekanizması, çelik ve betonun aderansından faydalanır. Yük donatıdan betona, sonrasında betondan diğer donatıya aktarılır. Bu yük aktarım sistemi, betonu ek olarak eğilme kuvvetine maruz bırakabilir ve donatıdaki deformasyonlardan etkilenebilir. Uygulamada yaygın olarak bindirmeli ekler kullanılmaktadır.

İnşaat ve malzeme sektöründeki değişiklikler, yapı boyutları ile orantılı olarak artan yapı elemanlarının boyutlarının büyümesi, işçilik ve ekonomiye dair gereklilikler donatı birleşim araçlarının alternatiflerinin bulunmasına sebep olmuştur. Donatıların sürekliliğini sağlamak için bindirmeli eklerin yanı sıra kaynakla bindirme ve manşonlu birleşimler de kullanılmaktadır.

Betonarme donatılarının birleştirilmesi için mekanik bağlantı manşonlarının kullanılması uygulama kolaylığı nedeni ile birçok ülkede kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde manşonlar boru bağlama, birleştirme ve mekanik tesisat uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. İnşaat alanında henüz yeni olan bu uygulama ekonomik ve işçilik avantajları sayesinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Donatıları mekanik olarak bağlayan bu

parçalar, donatı aderansı ve yapısal süreklilik için büyük önem taşırlar. Betonun kalitesinden bağımsız olarak yükün donatılarla aktarılmasında bindirmeli uygulamalara oranla büyük kolaylık sağlarlar.

Tez çalışmasının amacı, bindirme boylarının ve manşonlu birleşim kullanımının Eurocode 2, ACI 318-08 ve TBDY 18 açısından incelenmesi, mekanik birleşim araçlarının sıyırılma, çekme ve basınç testlerinin ISO 15835-1/2 kapsamında incelenmesi ve Türkiye’de manşon kullanımı için ön bilgi sağlayacak bir çalışma ortaya çıkarmaktır.

1.1. Literatür Taraması

2011 yılında Adachi ve ark. manşonlu birleşimlerin betonarme yapılarda kullanılmaya başlandığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada betonarme kiriş örneği üzerine birleşim yerlerinde manşonlu ve manşonsuz olmak üzere silindirik yükleme deneyi uygulanmıştır. Manşonlu birleşimlerin kiriş etriye bölgesinde kullanıldığında yapısal performans üzerinde, göçme mekanizması kesme kuvveti ya da hasar gibi, çok büyük bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Çalışmada manşonlu birleşimler kullanmak istenildiğinde herhangi ek bir hesaplama gerekliliği duyulmadığını belirtmişlerdir. [1]

Bai ve ark. betonarme yapılarda donatılarda kullanılan mekanik bağlantıların test kriterlerinden bahsetmişlerdir. Hem statik hem deprem kuvvetlerinin etkisi altında donatıda kullanılan mekanik bağlantı testleri Yeni Zelanda standartlarına göre yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda mekanik bağlantılarla ilgili yeni bir standardın oluşması amaçlanmıştır. Yapılan testlerde betonarme yapılarda donatıda kullanılan mekanik bağlantıların tatmin edici sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. [2]

2010 yılında Bureau of Indian Standards, mekanik bağlantı tiplerinin uygulanmasında kullanılması gereken standart bir taslak hazırlamışlardır. Çalışma içerisinde, manşon tipleri, özellikleri, üretimi ile ilgili bilgiler ve manşon testlerinin uygulanması ile ilgili bilgiler verilmiştir.[3]

Erico, Concrete Reinforcement Products, betonarme yapılarda uzun yıllar boyunca donatılarda meydana gelen çekme kuvveti ve kesme kuvveti üzerine odaklanmıştır. Bindirmeli yapılarda yük transferinin donatı-beton-donatı şeklinde aktarıldığını, bu durumun donatılar arasındaki bağda deformasyonlara sebebiyet verdiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada bindirmeli birleşimlerin problemlerinden ve manşonlu (mekanik) birleşimlerin avantajlarından bahsetmişlerdir.[4]

2005 yılında Fallon, donatılarda manşonlu (mekanik) birleşimlerin özellikleri ve mekanik birleşim deneylerini anlatmıştır. Yük transferi mekanizmasının bindirmeli birleşimlerde beton bağıyla oluştuğunu ve manşonlu yapılarda yük transferinin direkt olarak gerçekleşirken, bindirmeli birleşim yapılarında dolaylı olarak gerçekleştiğini belirtmiştir. Bunun sebebinin bindirmeli yapılarda donatıların üst üste /yan yana bağlanması olduğunu söylemiştir. Mekanik bağlantılarda kullanılan manşonların uygulanabilir olabilmesi için gerekliliklerini; düşey yükler altında kalıcı deformasyonları incelemek, çekme kuvveti ve çevrimsel yüklemeler altında mekanik bağlantının davranışını incelemek ve yorulma performansını incelemek olarak belirlemiştir.[5]

1988 yılında Hurd, çalışmasında betonarme yapılarda donatılarda kullanılan bindirme yöntemi ile mekanik birleşimli yöntemi karşılaştırmıştır. Bindirmeli donatı birleşiminin birçok dezavantajından bahsetmiştir. Çalışmasında manşonlu bağlantıların tasarım kolaylığı, malzemenin tasarruf, deprem yükleri altında daha iyi performans, kolon-kiriş bağlantı noktalarında oluşan donatı fazlalığını ortadan kaldırdığını anlatmıştır. Oluşabilecek hasarlarda bindirmeli bağlantıların elverişsiz olduğundan, tasarım sırasında fazladan uğraş gerektirdiğinden ve yapıda maliyetli olduğundan bahsetmiştir. Mekanik bağlantıların, bindirmeli bağlantılara göre daha avantajlı olduğunu belirtmiştir.[6]

2009 yılında Rowell ve ark. bu çalışmada, U.S. Army Engineer Research and Development Center (ERDC) ile, çeşitli donatı bağlantı yöntemlerinin dinamik yükler altındaki davranışlarını incelemiştir. Mekanik bağlantıların çevrimsel yükler altındaki performansını incelemiştir. Hiçbir mekanik bağlantının Army Technical Manual TM 5-1300'e uygun olmadığını gözlemlemiştir. Çalışmada 5 çeşit mekanik bağlantının yüksek gerilme durumlarındaki performansını incelemiştir. [7]

McCabe, betonarme yapı çeliğinde mekanik bağlantıların performans sonuçlarını incelemiştir. Betonarme yapılarda mekanik bağlantıların donatıların maksimum dayanıma ulaşmasını sağladığını gözlemlemiştir. Ayrıca mekanik bağlantıların, donatı bağlantıların olduğu bölümlerdeki yer değiştirmeler üzerinde büyük bir azalma meydana getirdiklerini belirtmiştir. Betonarme donatıda akma dayanımındaki gelişmeleri ve mekanik bağlantı boyunca şekil değiştirmeleri mevcut dayanım gerekliliklerine göre test etmiştir. Bindirmeli bağlantı ve kaynakla bağlantı yöntemlerine oranla mekanik bağlantıların maliyet, uygulama ve dizayn aşamasında kolaylık sağladığını görmüştür. [8]

2008 yılında Sim, J. çalışmasında değişik bağlantı metotlarını karşılaştırmaktadır. Bu bağlantı metotları; ön germeli ve betonarme yapılarda sıkça kullanılan dişli manşonlar, son zamanlarda gelişen şaşırtmalı manşonlardır. Çok yüksek çekme kuvveti uygulanan deney sonuçların göre, ikisi de çok iyi sonuç vermesine rağmen şaşırtmalı manşonların daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Mega yapılarda şaşırtmalı manşonların kullanılmasının daha verimli olacağı belirtilmiştir. [9]



2. BETONARME DONATISI

Betonarme donatısı, basınçta kuvvetli çekmede zayıf olan betonun çekme dayanımını arttırmak amacı ile beton içerisinde kullanılan çeliktir. Düz ya da nervürlü olarak imal edilirler.



Şekil 2.1. Düz donatı [20]

Nervür adı verilen donatı üzerinde çıkıntılar, betondaki kenetlenmeyi artırır ve sıyrılmaya karşı düz donatılardan daha fazla dayanım gösterir.



Şekil 2.2. Nervürlü donatı [20]

Çeliğin adlandırılması ülkeden ülkeye farklılıklar göstermiştir. Mekanik özelliklerinin yanı sıra ihtiva ettikleri karbon miktarına, yüzey ya da kimyasal özelliklerine göre de sınıflandırılmışlardır. BS EN 10027-1’de verilen ve ülkemizde inşaat sektöründe sık kullanılan çelik adlandırmalarından birkaçı çizelge (2.1)’deki gibi verilmiştir.

Çizelge 2.1. Çeliklerin mekanik olarak sınıflandırılması

Notasyon	Kullanıldığı Alan	Mekanik Özellik	Örnek
S	Yapısal çelik	En küçük akma dayanımı	S220, S420
B	Betonarme çeliği	En küçük akma dayanımı	B420B, B500A, B420C
Y	Öngerilmeli çelik	En küçük akma dayanımı	Y1770C
R	Demiryolları	En küçük akma dayanımı	R320Cr
H	Soğuk haddelenmiş	En küçük akma dayanımı	HXT450X

2.1. Betonarme Donatısının Mekanik Özellikleri

Betonarme yapılarda donatının mekanik özelliklerinin bilinmesi, yapı elemanının hangi koşullarda çalışabileceğinin ve şekillendirilebileceğinin tespiti için büyük önem taşır. Donatının kuvvet altında şekil değiştirmelerinin incelenmesi mekanik özellikleri hakkında bilgi verir. Ülkemizde TS 708 yönetmeliğinde donatı çeliğinin mekanik özellikleri verilmiştir.

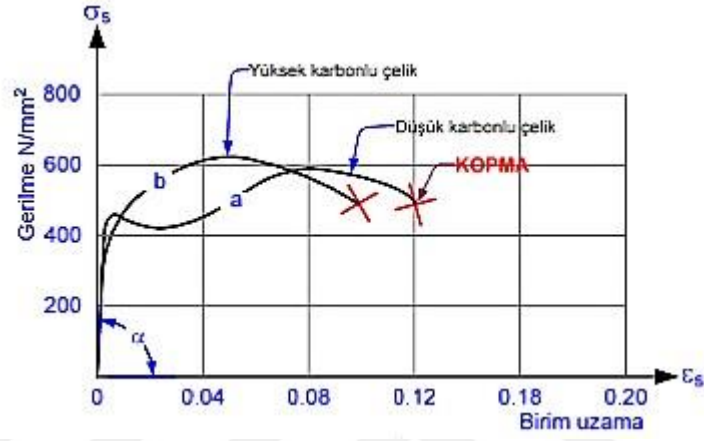
Tip	Düz yüzeyli	Nervürlü					Profilli ^a
		S 420	B 420B	B 420C	B 500B	B 500C	
Sınıf	S 220	S 420	B 420B	B 420C	B 500B	B 500C	B500A
Akma dayanımı (en az) R_e (N/mm ²)	220	420	420	420	500	500	500
Çekme dayanımı (en az) R_m (N/mm ²)	340	500	-	-	-	-	550
Çekme dayanımı/akma dayanımı oranı R_m/R_e	1,20 (en az)	1,15 (en az)	1,08 (en az)	$\geq 1,15$ <1,35	1,08 (en az)	$\geq 1,15$ <1,35	-
Deneysel akma dayanımı/karakteristik akma dayanımı oranı $R_{e,act}/R_{e,nom}$ (max)	-	1,30	-	1,30	-	1,30	-
Kopma uzaması (en az) A_g (%)	18	10	12	12	12	12	5
Maksimum yükte toplam uzama (en az) A_{gt} (%)	-	-	5	7,5	5	7,5	2,5
Bükme açısı (°)	180		-				
Bükme açısı/ters bükme açısı ^b	-		90/20				

Şekil 2.3. Ülkemizde sık kullanılan donatı çelik sınıflarının mekanik özellikleri [21]

Betonarme yapı elemanında donatılar betona oranla çekme dayanımı yüksek yapı elemanlarıdır. Çekme dayanımı, donatının kopmadan önce karşılayabileceği en büyük gerilme değeridir. Donatı çeliğindeki karbon miktarı azaldıkça akma davranışı daha

belirgin gözlemlenir. Şekil (2.4)'te a eğrisi düşük karbonlu çeliğin, b eğrisi ise yüksek karbonlu çeliğin gerilme-birim uzama grafiğidir [17]

Akma dayanımı ise yükleme altındaki donatıda kalıcı deformasyonların yaşandığı, elastik bölgeden plastik bölgeye geçen donatının bu bölgedeki dayanım değeridir. Yumuşak çelik gibi düşük karbon oranı içeren çelikler belirgin bir akma sınırı gösterebilirler.



Şekil 2.4. Çelik gerilme-birim uzama eğrisi [17]

3. BETONARME DONATILARDA BİRLEŞİM YÖNTEMLERİ

3.1. Bindirmeli Birleşim

Donatıların bağ teli ile birbirine bağlanması yolu ile uygulanan ve yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Uygulamada pratik olduğundan dolayı çok tercih edilir. Bindirme boyu değeri, betonun dayanımı, çeliğin akma dayanımı, donatı çapı ve beton örtüsüne göre değişir.



Şekil 3.1. Bindirme yöntemi [22]

Bindirmeli birleşimler ülkeden ülkeye farklı yönetmeliklerle tanımlanmıştır. Günümüzde global olarak en yaygın kullanılan donatı birleşim yöntemi olan bindirmeli birleşimler yönetmeliklerde geniş bir şekilde incelenmişlerdir.

3.1.1. TS500 Yönetmeliğinde Bindirme ve Kenetlenme

3.1.1.1. Kenetlenme

TS500 yönetmeliğinde kenetlenme boyu, kesitte bulunan donatı çubuklarının betonlama sırasındaki konumuna bağlı olarak iki şekilde ifade edilir.

Konum I: Konum II’de olmayan bütün çubuklar

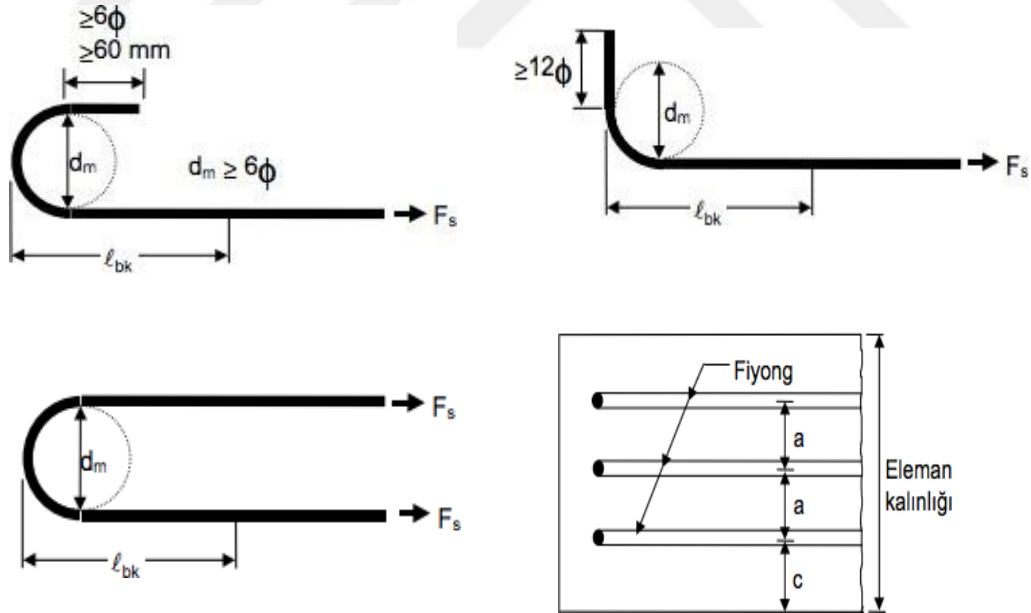
Konum II: Betonlama sırasında eğimi yatayla 45^0 - 90^0 arasında olanlar ile, daha az eğimli veya yatay olup da betonlama sırasında kesitin alt yarısında veya kesitin serbest üst yüzünden 300 mm’den daha uzakta olan çubuklar

TS 500 yönetmeliğinde düz kenetlenme, donatının ihtiyaç duyulmayan noktadan düz olarak l_b kadar uzatılması olarak tanımlanmıştır. Düz kenetlenmeye ancak nervürlü çubuklarda izin verilmiştir. TS500’e göre nervürlü çubuklarda çekme donatısı bindirme boyu l_b (3.1) bağıntısında verilmiştir.

$$l_b = \left(0,12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \Phi\right) \geq 20\Phi \quad (3.1)$$

Burada; f_{yd} donatının akma dayanımı, f_{ctd} betonun tasarım eksenel çekme dayanımı ve ϕ donatı çapıdır. Donatı çapının, $32 \text{ mm} < \phi \leq 40 \text{ mm}$ olduğu durumlarda yukarıdaki denklemlerden hesaplanan kenetlenme boyu, $100/(132 - \phi)$ katsayısı ile çarpılarak artırılır. Düz çubukların daha az aderans kuvvetine sahip olmalarından dolayı 20ϕ yerine bu değer iki katı olan 40ϕ kullanılmalıdır. Betonarme kesitteki donatının, hesaplanan donatıdan fazla olduğu durumlarda, yukarıdaki denklemlerden belirlenen kenetlenme boyları, hesaplanan donatı alanının mevcut donatı alanına oranı ile çarpılarak azaltılabilir. Ancak, bu azaltma ile bulunan kenetlenme boyu, yukarıdaki denklemden hesaplanan boyun $\frac{1}{2}$ sinden ve 20ϕ den az olmamalıdır. [10] Beton örtüsünün donatı çapından az olduğu veya aynı sıradaki donatı çubukları arasındaki net uzaklığın donatı çapının bir buçuk katından küçük olduğu durumlarda, (3.1) bağıntısından hesaplanan kenetlenme boyları 1,2 ile çarpılarak artırılmalıdır.

Donatının ucunun kanca olarak bükülmesi şeklinde yapılan kanca ile kenetlenme uygulamalarında, gereken kenetlenme boyu azaltılabilir. Kenetlenme boyu aşağıdaki durumlarda (3.1) bağıntısındaki değer $\frac{3}{4}$ 'ü kadar alınır.



Şekil 3.2. Kanca ve fiyongla kenetlenme durumları [10]

Burada; d_m merdane çapıdır. Donatının ucu bu merdane etrafında bükülerek kanca haline getirilir.

180 derece kanca uygulamasında kancanın serbest ucunun uzunluğu 60 mm'den az olmamalıdır. Merdane çapı d_m 6ϕ 'den az olmamalıdır. 90 derecelik yapılan kanca uygulamasında kancanın serbest ucunun uzunluğu 12ϕ 'den, merdane çapı d_m , ise 6ϕ 'den az olmamalıdır. [10]

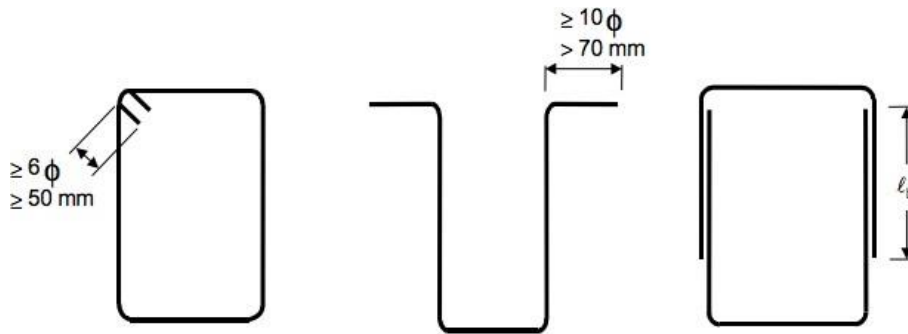
Basınç donatıları, çekme donatılarına kıyasla aderans yönünden daha az tehlike arz ederler. Bundan dolayı standartlarda basınç donatısının kenetlenme boyu çekme donatısına oranla daha kısadır. Basınç donatısına kanca yapılamaz. Donatı çubuğu bütün yük düzenlemeleri altında basınca çalışıyorsa, kenetlenme boyu, nervürlü çekme çubuklarının düz kenetlenmesi için verilen bağlantı ile hesaplanan değer $3/4$ üne kadar azaltılabilir. [10]

Etriyelerde düz bindirme ile kenetlenme deprem veya burulma etkisi altındaki yapı elemanlarında kullanılamaz. [10]

Etriyelerin kanca ile kenetlenme uygulaması 90^0 veya 135^0 'lik kanca yolu ile sağlanmalıdır. 135^0 'lik kanca uygulaması kolonlar, dikdörtgen kesitler ve burulmaya maruz kalan elemanlar için kullanılmalıdır.

90^0 'lik kanca uygulaması ise tabla içinde kalmak koşulu ile ancak dişli döşeme kirişlerinde kullanılabilir.

90^0 'lik bindirmeli kanca uygulaması ise deprem veya burulma etkisi altındaki elemanlarda kullanılamaz. [10]



Şekil 3.3. Bindirmeli kanca uygulaması [10]

Burada; ϕ donatı çapı, l_b bindirme boyudur.

3.1.1.2. Bindirmeli ekler

Bindirmeli ekleme aderans prensibini baz alarak çalışır. Birbirine paralel bağlanan iki betonarme demiri gerilmeleri aderans aracılığı ile taşımaktadırlar. Bindirmeli eklerde çubukların bitişik olması ve eklenen iki çubuk arasında aralık bırakılması durumunda, bu aralığın bindirme boyunun 1/6'sından ve 100 mm'den fazla olmaması belirtilmiştir. [10]

Çekme donatılarında bindirmeli eklemelerde nervürlü çubuk kullanıldığında kanca yapılması zorunlu değilken, düz çubuklarda kanca yapılması zorunludur. Çekme donatılarında bindirmeli eklerde bindirme boyu (3.2) ve (3.3) bağıntıları ile hesaplanır.

$$l_0 = \alpha_1 \cdot l_b \quad (3.2)$$

$$\alpha_1 = 1 + 0,5r \quad (3.3)$$

Burada; l_0 bindirme boyu, r aynı kesitte eklenen donatının toplam donatıya oranıdır. Bütün kesiti çekme taşıyan elemanlarda, $\alpha_1 = 1,8$ alınır. Bindirmeli ek yapılan çubuk uçları kancalı ise, bindirme boyu bu denklemden elde edilen değer $3/4$ 'üne kadar azaltılabilir.

Konum I içerisine giren çubuklarda l_0 1,4 sayısı ile çarpılır. Bindirme boyunca en az 6 sargı donatısı bulundurulmalı ve sargı donatısı aralığı eleman yüksekliğinin $1/4$ ünden ve 200 mm'den fazla olmamalıdır. [10]

Hasır donatılar için önerilen bindirme koşulları ise çizelge (3.1)'de verilmiştir. Betonarme kesitteki donatı alanının gerekli olan donatı alanına oranının 1,5' den küçük olması halinde, bu bindirme boyları ve enine çubuk sayıları ($1,5 \times$ gerekli donatı kesit alanı \div kesitte bulunan donatı kesit alanı) oranına göre arttırılmalıdır. [10]

Çizelge 3.1. Hasır donatılar için bindirmeli ekleme koşulları [10]

Donatı Yüzeyi	ϕ (mm)	Konum I		Konum II	
		N	l_b (mm)	n	l_b (mm)
Düz	$\phi < 8,5$	4	500	4	400
	$\phi \geq 8,5$	5	600	5	500
Nervürlü	$\phi < 8,5$	4	400	4	350
	$\phi \geq 8,5$	4	450	4	400

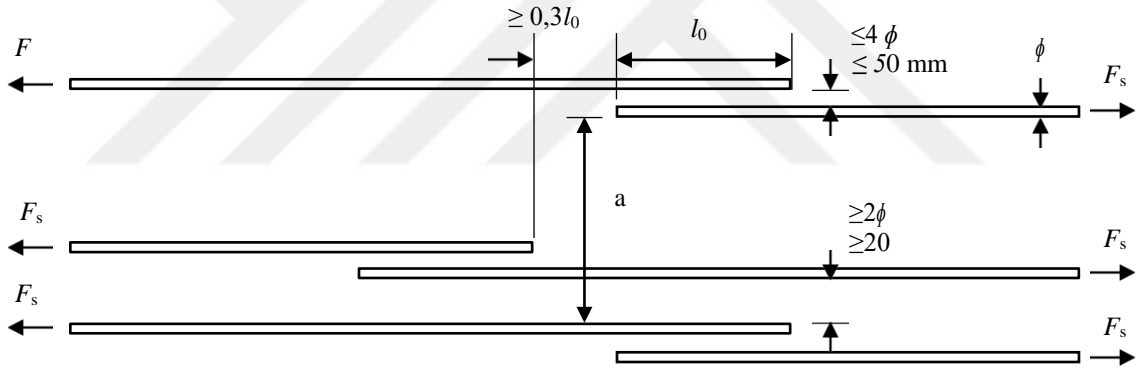
Basınç donatılarında bindirme boyu çekme donatılarında uygulanan bindirme boyundan daha kısa olabilmektedir. Basınç donatılarında bindirmeli ekler, çekme çatlaklarının önlenmesi için şaşırtmalı olarak yapılmalıdır. Basınç donatılarında çap 30 mm'den büyük ise bindirmeli ek yerine manşonlu birleşimler kullanılmalıdır ifadesi yer alır. Bu manşonların yeterliliği deneyler vasıtası ile kanıtlanmış olmalıdır. [10]

3.1.2. Eurocode-2 Yönetmeliğinde Bindirme ve Kenetlenme

3.1.2.1. Bindirmeli ekler

Donatılar arasındaki bindirmeli ekler yapılırken bağlantının bulunduğu konumdaki betonun yüzey çatlamasının mutlaka önlenmesi gerekmektedir. Ayrıca binanın yapısal performansını etkileyecek büyük çatlaklara yer verilmemelidir.

Yüksek moment ve kuvvetlerin meydana geldiği plastik mafsallarda bindirmeli ekler yapılmamalı ve donatılar arasındaki bindirmelerin şaşırtmaları dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.



Şekil 3.4. Komşu donatılarda bindirmeli ek yapılması durumunda sınır değerler [11]

Bindirmelerde donatılar arasındaki temiz açıklık 4ϕ ya da 50 mm'den fazla olmamalıdır.

Bindirme yapılan komşu iki donatı arasındaki mesafe l_0 bindirme boyunun 0,3 katından daha az olmamalıdır.

İkiden fazla donatı kullanılarak yapılan bitişik bindirmelerde, bitişik donatılar arasındaki açıklık 2ϕ ya da 20 mm'den daha az olmamalıdır.

3.1.2.2. Kenetlenme Boyu

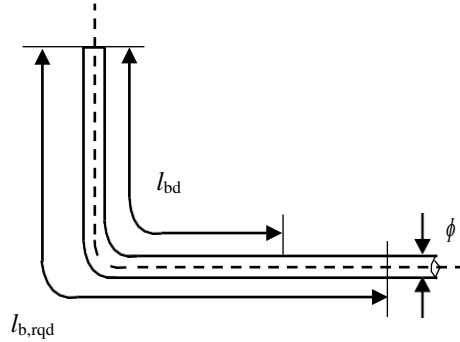
Yönetmelikte kenetlenme boyu aşağıdaki (3.4) bağıntısı ile hesaplanır.

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} \quad (3.4)$$

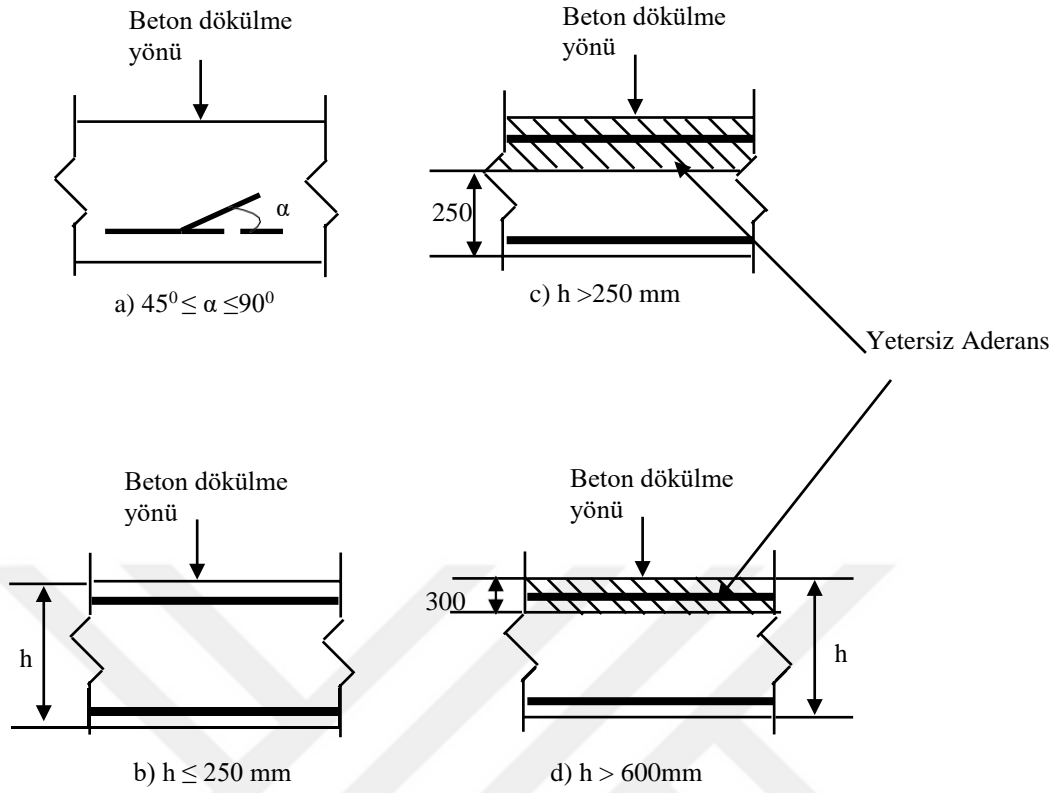
Burada; $l_{b,rqd}$ esas kenetlenme boyu, σ_{sd} donatının tasarım gerilimi, ϕ donatı çapı, f_{bd} aderans gerilimidir. Nihai aderans gerilimi aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd} \quad (3.5)$$

Burada f_{ctd} beton tasarım aksel çekme dayanımı, η_2 donatı çapı ile alakalı bir katsayıdır. 32 mm'den küçük donatılar için 1 olarak alınan bu katsayı, 32 mm'den büyük demir çapları olan donatılar için $(132 - \phi)/100$ bağlantısı ile hesaplanır. η_1 donatının bağlanma konumuna ve kondisyonuna göre belirlenen bir katsayıdır (iyi koşulların idealize edildiği durumlarda bu katsayı 1 olarak alınır, aksi -yetersiz koşul sınıfına dahil olan- durumlarda 0,7 olarak alınması öngörülmüştür). Dayanımı C60/75'e kadar olan beton sınıfları bu denkleme dahildir. Donatıda esas kenetlenme boyu şekil (3.5)'te, iyi ya da yetersiz koşullar ise şekil (3.6)'da gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Esas kenetlenme boyu [11]



Şekil 3.6. η_1 katsayısını belirlemede kullanılan beton döküm koşulları [11]

Şekil (3.6)'da taralı alanlar yetersiz koşulları, taralı olmayan alanlar ise iyi koşulları ifade eder. Şekil (3.6) verilen (a) ve (b) öncüllerindeki durumlarda η_1 katsayısı 1 olarak alınabilirken (c) ve (d) öncüllerindeki durumlarda η_1 katsayısı 0,7 olarak alınmalıdır.

3.1.2.3. Bindirme boyu

Yönetmelikte çekme donatılarında l_0 bindirme boyu için sınır şartları (3.6) bağıntısı ile verilmiştir.

$$l_{0,min} \geq \max \{0,3 \alpha_6 l_{b,rqd} ; 15\phi ; 200 \text{ mm}\} \quad (3.6)$$

Burada; l_0 bindirme boyu (15ϕ veya 200 mm değerleri ve $(0,3 \alpha_6 l_{b,rqd})$ çarpımının maksimum değerinden büyük olmalıdır.) $l_{b,rqd}$ esas kenetlenme boyu, ϕ donatı çapı, α_6 kesit alanındaki donatı yüzdesine bağlı bir katsayıdır. l_0 bindirme boyu (3.7) bağıntısı ile hesaplanır.

$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rqd} \geq l_{0,min} \quad (3.7)$$

Burada l_0 bindirme boyu, α_1 , α_2 , α_3 , α_5 , α_6 katsayılarıdır ve Çizelge (3.3)'te verilmiştir. Bu katsayılar beton örtüsüne, donatı çubuğunun çekme ya da basınca çalışmasına, donatıların şekline göre değişen katsayılarıdır. Yine de α_3 katsayısı denklem (3.8) bağıntısı ile de hesaplanabilir.

$$\alpha_3 = 1,0 A_s \left[\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right] \quad (3.8)$$

Burada; σ_{sd} bağlanan çubuğun tasarım gerilmesi. A_s bindirilmiş çubuğun alanı, f_{yd} ise tasarım akma dayanımıdır. α_6 katsayısı 1 ile 1,5 arasında değişen bir katsayıdır ve çizelge (3.2)'de değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. α_6 katsayı değerleri [11]

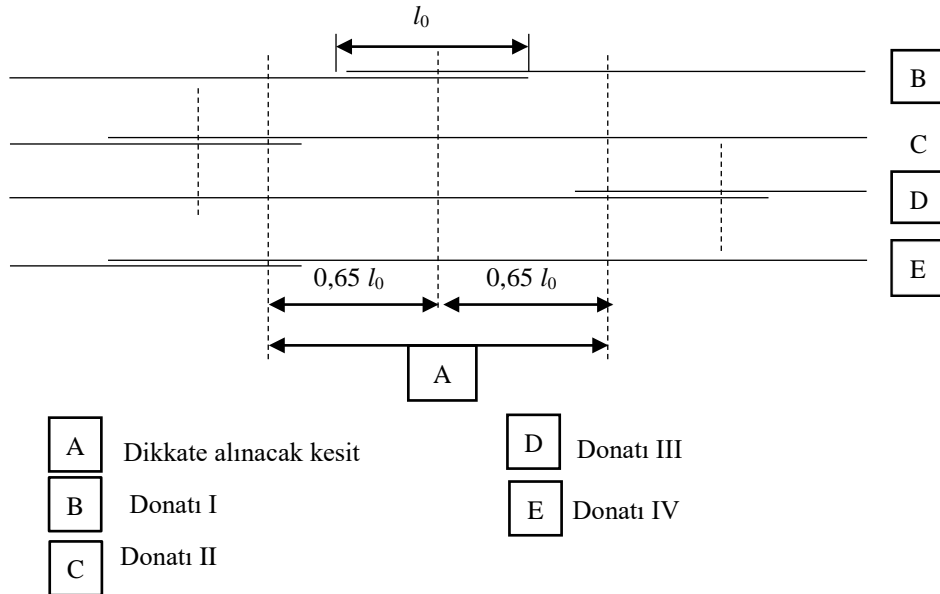
Toplam Kesit Alanına Bağlı Bindirmeli Donatı Yüzdesi	< %25	%33	%50	> %50
α_6	1	1,15	1,4	1,5

Not: Ara değerler enterpolasyon ile hesaplanabilir.

Alternatif olarak α_6 katsayısı (3.9) bağıntısı ile de hesaplanabilir.

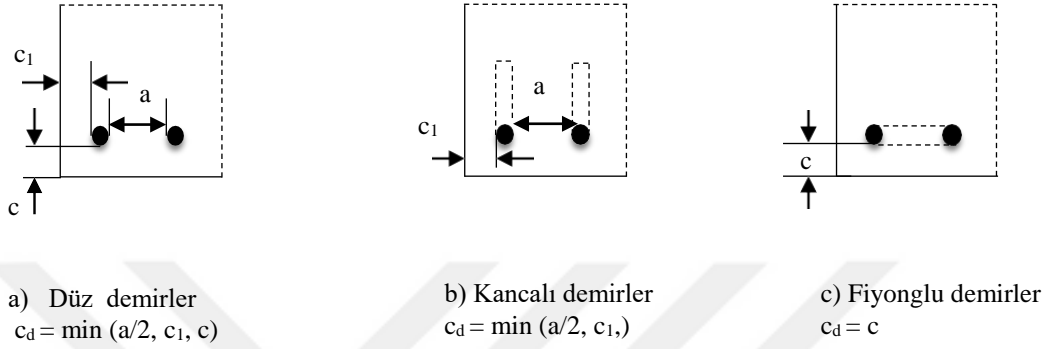
$$\alpha_6 = 0,5 \left[\frac{\rho_1}{25} \right] \quad (3.9)$$

Burada ρ_1 $0,65l_0$ boyundaki donatı yoğunluğudur ve şekil (3.7)'de verilmiştir. Şekil (3.7)'de örnek olarak; II ve III numaralı donatılar dikkate alınacak kesitin dışındadır %50 ve $\alpha_6=1,4$ olmalıdır.

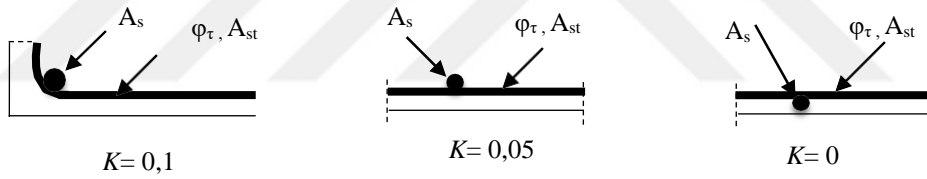


Şekil 3.7. $0,65l_0$ boyundaki donatı yoğunluğu ρ_1 hesap kriterleri [11]

Çekme donatılarında hesaplanan α_1 ve α_2 katsayıları donatının şekline ve beton örtüsüne bağlı olarak değişen c_d katsayılarına bağlı olarak hesaplanır. c_d katsayısı donatı çapına göre değişen bir değerdir. Şekil (3.8)'de donatı bağlanma şekillerine göre c_d katsayıları verilmiştir. Ana donatıya kaynaklanmayan enine sargı donatılarındaki α_5 katsayısı ise Şekil (3.9)'da gösterilen K katsayısına bağlı olarak hesaplanır



Şekil 3.8. Kiriş ve döşemelerde c_d değerleri [11]



Şekil 3.9. Döşeme ve kirişlerde K değerleri [11]

c_d ve K katsayıları çizelge (3.3)'teki gibi kullanılarak α_1 , α_2 , α_3 , α_4 ve α_5 katsayıları hesaplanır.

Çizelge 3.3. α_1 , α_2 , α_3 , α_4 ve α_5 katsayıları [11]

Etkileyen Faktörler	Bindirme Tipi	Basınç Donatısı	Çekme Donatısı
Donatının Şekli	Düz Bindirme	$\alpha_1=1,0$	$\alpha_1=1,0$
	Diğer durumlar Şekil 8.1. (b), (c) ve (d)	$\alpha_1=1,0$ eğer $c_d > 3\phi$ ise $\alpha_1=0,7$ (c_d değerleri için şekil 8.3)	$\alpha_1=1,0$
Beton Örtüsü	Düz Bindirmeli	$\alpha_2=1-0,15(c_d-\phi)/\phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2=1,0$

Çizelge 3.3.(Devam) $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ ve α_5 katsayıları [11]

	Diğer durumlar Şekil 8.1. (b), (c) ve (d)	$\alpha_2 = 1 - 0,15(c_d - 3\phi)/\phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (c_d değerleri için şekil 8.3)	$\alpha_2 = 1,0$
Kaynaklanmamış Enine Donatı ile Sargılama	Tüm Tipler	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Kaynaklı Enine Donatı ile Sargılama	Tüm Tipler	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Enine Basınç ile Sargılama	Tüm Tipler	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	-

3.1.3. ACI (American Concrete Institute) 318-08 Yönetmeliğinde Bindirme ve Kenetlenme

3.1.3.1. Kenetlenme Boyu

Kenetlenme boyu kavramı ilk olarak 1971 yönetmeliğinde ortaya atılmıştır. Kenetlenme boyu, beton içerisindeki donatının beton ile arasındaki aderans gerilimi üzerine dayanmaktadır. Büyük kesitli betonarme elemanlarda tek donatılarda kenetlenme boyu yetersiz olabilmektedir. Donatıda eğilme gerilmesini karşılamak ve donatı tesirlerini arttırmak için kenetlenme boyu kullanılmalıdır. Genellikle donatı gerilmenin fazla (kritik) olduğu noktalardan itibaren biraz daha devam etmelidir. Örneğin negatif moment donatıları mesnetten itibaren yan açıklığın ortasına doğru uzatılırlar. Genel kenetlenme boyu, (3.10) bağıntısı ile verilmiştir.

$$l_d = \left(\frac{3}{40\lambda} \frac{f_y}{\sqrt{f_c'}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{c_{b+K} \left(\frac{tr}{d_b} \right)} \right) d_b \quad (3.10)$$

Burada, l_d kenetlenme boyu, ψ_t donatı yerleşim katsayısı (enine donatı aralıklarının 12 inç'ten fazla olması durumunda 1,3 diğer durumlar için 1 alınır), ψ_e donatı kaplama faktörü (epoksili donatılarda donatı çapının 3 katından az beton örtüsü olursa 1,5 alınır, diğer durumlarda 1,2 alınır. Kaplama kullanılmayan donatılarda 1 alınır), ψ_s donatı boyut faktörü (6 numara -19,05 mm- daha küçük çaplı donatılarda 0,8 alınır, 7 numara -22,22 mm- ve daha büyük çaplı donatılarda 1 alınır), K_{tr} etriye dağılım katsayısı, d_b donatı çapı, f_c beton karakteristik dayanımı, f_y donatının akma dayanımı, λ hafif beton katsayısı, c_b beton örtüsü ve donatılar arası mesafe katsayısıdır.

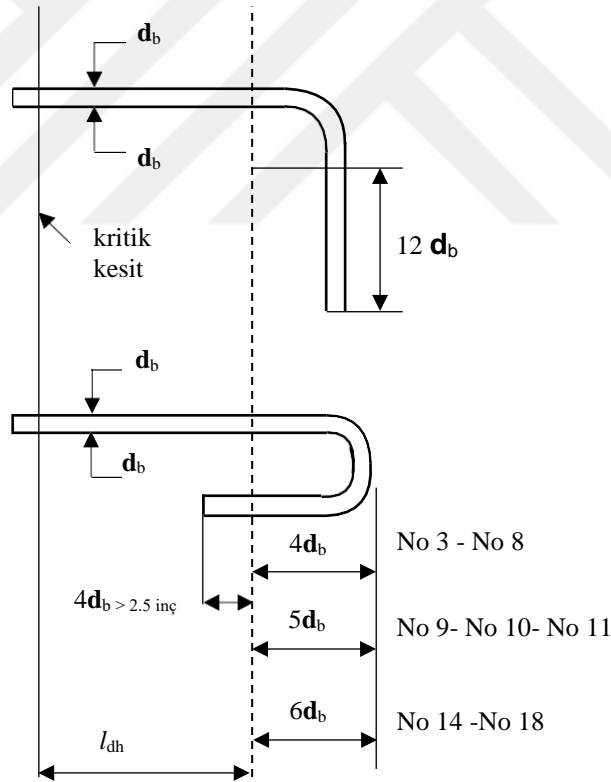
$(c_b + K_{tr} / d_b)$ değeri 2,5'ten büyük olmamalıdır. K_{tr} değeri (3.11) bağıntısı ile hesaplanır.

$$K_{tr} = \frac{40A_{tr}}{s n} \quad (3.11)$$

Burada, n donatı sayısıdır.

Fiyongla yapılan uygulamalarda kenetlenme boyu her bir donatı için 3 donatı kullanılarak yapılan fiyonglarda yüzde 20 ve 4 donatı kullanılarak yapılan fiyonglarda yüzde 33 oranında arttırılmalıdır.

Çalışmalar, kancalarda beton örtüsü yarılmasının göçmenin ana sebebi olduğunu göstermiştir. Bunun sebebi kancanın içindeki lokal gerilme yığılması fazlalığıdır. Bunun için kancalı birleşimlerde kenetlenme boyu mutlaka göz önüne alınmalıdır. Kancalı donatılarda kenetlenme boyu için ön koşullar Şekil (3.10)'da verilmiştir.



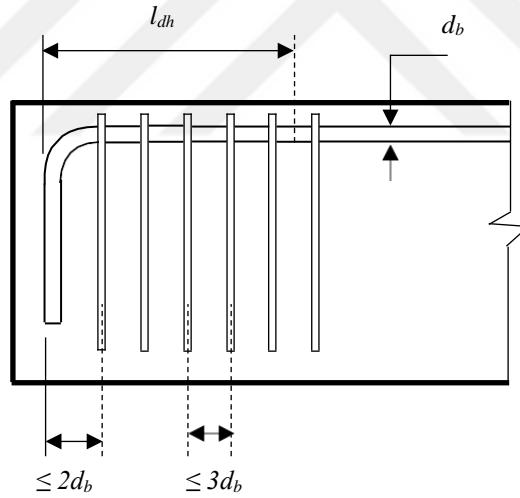
Şekil 3.10. Kancalı donatılarda kenetlenme boyu [12]

Kancalı çekme donatılarında kenetlenme boyu, kesitte gerilmenin maksimum olduğu kritik kesit ile kancanın dış tarafı arasındaki mesafedir ve (3.12) bağıntısı ile hesaplanır.

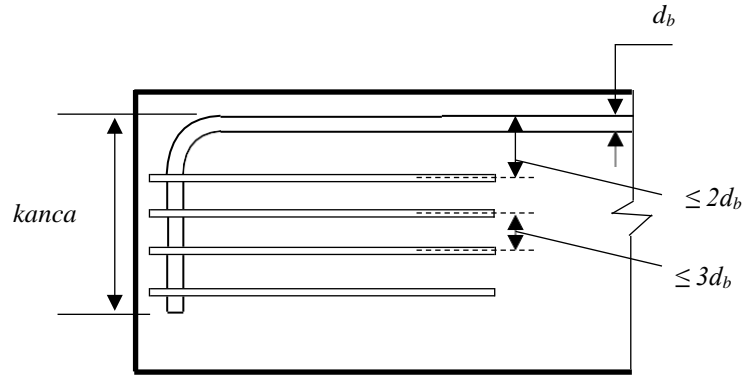
$$l_{dh} = 0,02 \frac{f_y \psi_e}{\lambda \sqrt{f_c}} d_b \quad (3.12)$$

Burada; l_{dh} kancalı donatılarda kenetlenme boyu (donatı çapının 8 katından daha büyük olamaz), λ hafif beton katsayısı (normal betonlarda 1, hafif betonlarda 0,75 alınır), d_b donatı çapı, f_c beton karakteristik dayanımı, f_y donatının akma dayanımı, ψ_e donatı kaplama faktörüdür (epoksili donatılarda 1,2 diğer durumlarda 1 alınır).

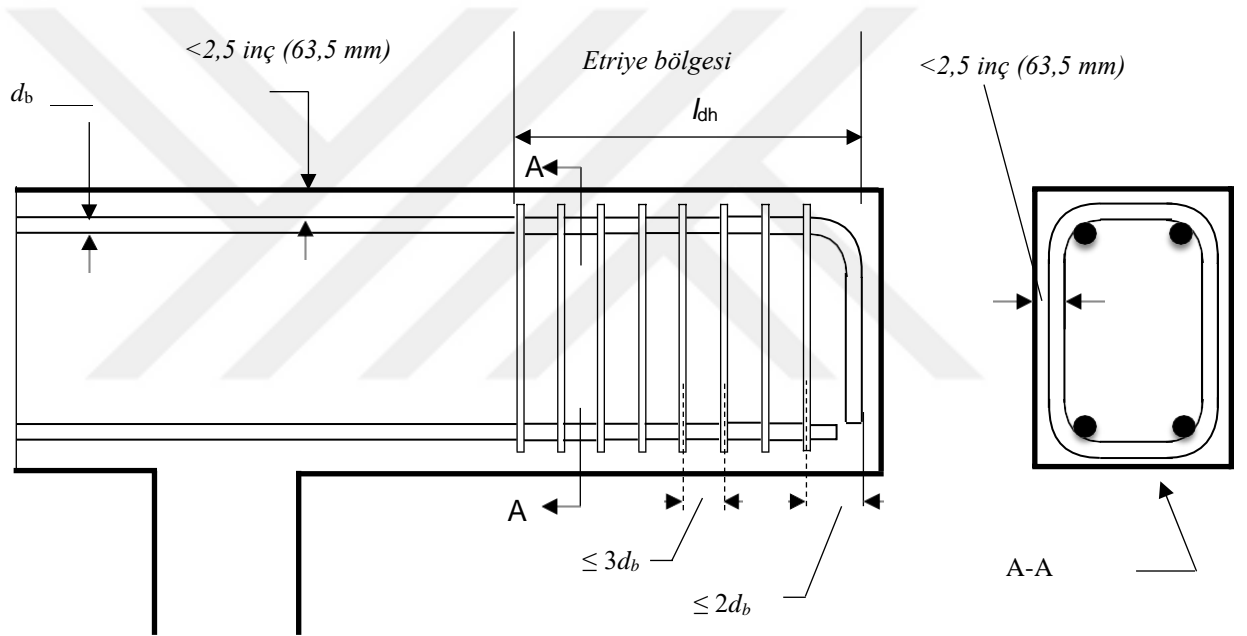
Etriyelerin 90° kancalı donatıya düşey (Şekil 3.11) ve yatay (Şekil 3.12) konumlanması durumunda, l_{dh} boyunca etriyeler arasındaki mesafe donatı çapının 3 katından ($3d_b$) az ya da eşit olmalıdır. Kancalı dış donatının ağırlık merkezinden ölçülen beton örtüsü kalınlığı donatının çapının 2 katından ($2d_b$) daha az olamaz. Beton örtüsünün kalınlığının 2,5 inçten küçük olduğu durumlarda ise sınır şartları Şekil (3.13) ile verilmiştir.



Şekil 3.11. 90° kancalı uygulamalarda düşey etriye kullanımı sınır şartları [12]



Şekil 3.12. 90° kancalı uygulamalarda yatay etriye kullanımı sınır şartları [12]



Şekil 3.13. Beton örtüsü kalınlığının 2,5 inçten küçük olduğu durumda sınır değerler [12]

3.1.3.2. Bindirme Boyları

Çekme ve basınç donatılarında bindirme boyu 12 inçten (31 cm) fazla olmamalıdır. Çekme donatılarında bindirme boyları Kategori A ve Kategori B olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır.

Çizelge 3.4. Çekme donatılarında bindirme boyu sınır şartları [12]

Çekme donatılarında kenetlenme boyu cinsinden minimum bindirme boyu	
A	1,0 l_d
B	1,3 l_d

Burada l_d kenetlenme boyudur ve denklem (3.10) bağıntısı ile verilmiştir. Bindirme boyu sınıflandırılma sınır şartları çizelge (3.5)'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Çekme donatıları bindirme boyu sınıfları [12]

$\frac{A_{Sprovided}}{A_{Srequired}}$	Maksimum A_s yüzdesi	
	50	100
≥ 2	Kategori A	Kategori B
< 2	Kategori B	Kategori B

Basınç donatılarında bindirme boyu Grade 60 (S420) çelikleri için (3.13) bağıntısını, Grade 60 (S420) ve üzeri çelikler için (3.14) bağıntısını sağlamalıdır.

$$l_d \geq 0,0005 f_y d_b \quad (3.13)$$

$$l_d = (0,0009 f_y - 24) d_b \quad (3.14)$$

Burada; l_d basınç donatılarında kenetlenme boyu, f_y donatının karakteristik akma dayanımı, d_b donatı çapıdır. Beton karakteristik basınç dayanımının (f_c') 3.000 psi'den (20,68 MPa) az olduğu durumlarda bindirme boyu üçte bir oranında arttırılmalıdır.

3.1.4. TBDY (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği) 2019 Bindirme ve Kenetlenme

3.1.4.1. Kenetlenme

Yönetmelikte donatıların kenetlenme boyu hakkında ise aksi belirtilmedikçe TS500'de verilen kurallara göre hesaplanacaktır ifadesi yer almaktadır. [16]

3.1.4.2. Bindirme Boyu

TBDY'ye göre kolonlarda bindirmeli ek yapılan kesitlerde boyuna donatı oranı %6'yı geçmemelidir. Kolon boyuna donatılarının bindirmeli ekleri, kolonun serbest yüksekliğinin orta üçte birlik bölgesinde yapılacaktır. Kolon orta bölgesi, kolonun alt ve üst uçlarında tanımlanan sarılma bölgeleri arasında kalan bölge olarak tanımlanmıştır. Bindirmeli ekinin boyu, TS500'de tanımlanan l_b 'den küçük olmamalıdır. Bindirmeli ek boyunca yerleştirilecek enine donatıların aralığı kolonun en küçük boyutunun 1/3'ünden ve 150 mm'den büyük olmamalıdır. [16]

Katlar arasında kolon kesitinin değişmesi durumunda, boyuna donatının kolon-kiriş birleşim bölgesi içinde düşeye göre eğimi 1/6'dan daha büyük olmayacaktır. Kesit

değişiminin daha büyük olması durumunda veya en üst kat kolonlarında; alttaki kolonun boyuna donatısının karşı taraftaki kirişin içindeki kenetlenme boyu, TS 500'de çekme donatısı için verilen kenetlenme boyu $1,5 l_b$ 'den ve 40ϕ 'den daha kısa alınmayacaktır. Karşı tarafta kiriş bulunmadığı durumlarda kenetlenme, gerekirse kolonun karşı yüzünde aşağıya doğru kıvrım yapılarak sağlanacaktır. 90^0 yatay kancanın veya aşağıya kıvrılan düşey kancanın boyu en az 12ϕ olacaktır. [16]

Kolona birleşen kirişlerin kolonun diğer yüzünde devam etmediği durumlarda kirişlerdeki alt ve üst donatı, kolonun etriyelerle sarılmış çekirdeğinin karşı taraftaki yüzeyine kadar uzatılıp etriyelerin iç tarafından 90^0 bükülecektir. Bu durumda boyuna donatının kolon içinde kalan yatay kısmı ile 90^0 kıvrılan düşey kısmının toplam uzunluğu, TS 500'de öngörülen düz kenetlenme boyu l_b 'den az olmayacaktır. 90^0 kancanın yatay kısmı $0,4 l_b$ 'den, düşey kısmı ise 12ϕ 'den az olmayacaktır. Perdelerde ve a ölçüsündüz kenetlenme boyu l_b 'den ve 50ϕ 'den daha fazla olan kolonlarda, boyuna donatının kenetlenmesi, 90^0 kanca yapılmaksızın düz olarak sağlanabilir. [16]

Perde gövdesinde yatay gövde donatılarına bindirmeli ek yapılması gereken durumlarda, bindirmeli ekler perde gövdesi uzunluğu boyunca şaşırtmalı olarak yapılacak, bindirme boyu $1,5 l_b$ 'den küçük olmayacak, bindirmeli ekteki yatay donatıların uçlarında 90^0 kancalar oluşturulacaktır. Yatay gövde donatılarının uçlarında kanca kullanılmazsa, bu donatılar boyuna gövde donatılarının iç tarafında kalacak şekilde düzenlenecek, bindirmeli ek boyunca en az altı adet boyuna gövde donatısı bulunacak, bindirmeli ek bölgesindeki boyuna gövde donatılarının arasındaki yatay uzaklık 200 mm'yi aşmayacaktır. Perde uç bölgelerinde ise bindirme donatısı oranı ise $0,06$ 'yı geçmemelidir. Süneklik düzeyi yüksek kolon, kiriş ve perdelerdeki kenetlenme boyları süneklik düzeyi sınırlı elemanlar için de aynı şekilde geçerlidir. [16]

3.2. Kaynaklı Birleşim

Sahada ark kaynağı ile donatıların kaynaklanması yöntemi ile uygulanır. Dolaylı maliyetleri ve kalifiye eleman ihtiyacından dolayı sıklıkla kullanılmaz.



Şekil 3.14. Kaynaklı Birleşim [23]

3.2.1. TS 500 Yönetmeliğinde Kaynaklı Bindirme ve Kenetlenme

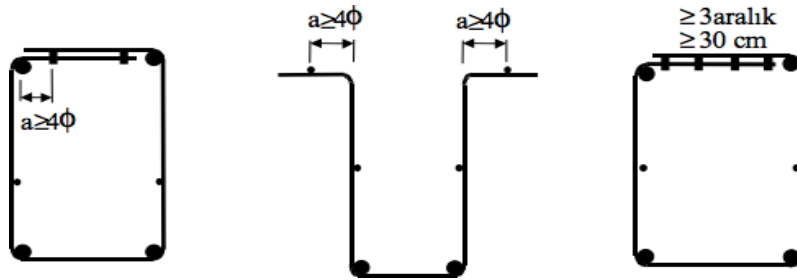
Soğuk çekilme işlemi ile dayanım kazandırılmış ve nervürlendirilmiş çelik çubukları nokta kaynaklanma vasıtası ile birbirine bağlanması yolu ile elde edilen çelik hasırlarda kaynaklanmış enine çubuklar ile kenetlenme biçimi sıklıkla kullanılmaktadır. Kenetlenme için gerekli enine çubuk sayısını ve minimum boyutları gösteren çizelge (3.6)'da nokta kaynaklı hasır donatı için geçerlidir. Dinamik veya çok değişen yüklerin söz konusu olduğu durumlarda çizelgedeki değerlere bir çubuk ve 100 mm eklenmelidir. [10]

Çizelge 3.6. Kenetlenme için gerekli enine çubuk sayısı ve minimum boyutları [10]

Donatı Yüzeği	ϕ (mm)	Konum I		Konum II	
		n	l_b (mm)	n	l_b (mm)
Düz	$\phi < 8,5$	3	450	3	350
	$\phi \geq 8,5$	4	500	4	400
Nervürlü	$\phi < 8,5$	3	350	3	300
	$\phi \geq 8,5$	3	450	3	350

Etriyelerde kaynakla enine donatı ile kenetlenme ancak hasır donatı ile yapılmaktadır.

[10]



Şekil 3.15. Kaynaklı enine donatılarda kenetlenme [10]

Donatıların eklenmesi kaynakla yapılacak çubuklar hakkında TS 500’de bazı hususlar ele alınmıştır.

- Kaynaklı ek yapılacak çubukların malzeme analizi yapılmalı ve çeliğin özellikle karbon içeriği açısından kaynaklamaya uygun olduğu kanıtlanmalıdır.
- Kaynaklı ekler TS 708’e uygun olarak yapılmalıdır.
- Kaynakla yapılan eklerden her elli taneden birine (en az 5 tanesine) çekme deneyi uygulanmalıdır. Bu deneylerde, ekli donatının $1,25f_{yk}$ kadar gerilme taşıyabileceği kanıtlanmalıdır. [10]

3.3. Mekanik Birleşim (Manşon)

Donatılar, manşon adı verilen mekanik bağlantı elemanı ile birbirine doğrudan bağlanır. Manşon, boru tesisatlarında boruların birbirine birleştirilmesi için kullanılan dişli mekanik bağlantı elemanıdır. Yaygın olarak tesisatlarda kullanılan bu malzeme günümüzde inşaat sektöründe donatı elemanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Manşon ve donatının uyumluluğu için dişli birleşim olması gerekir. Diş açma işlemi hidrolik pres makinaları aracılığı ile gerçekleşir.



Şekil 3.16. Mekanik Birleşim



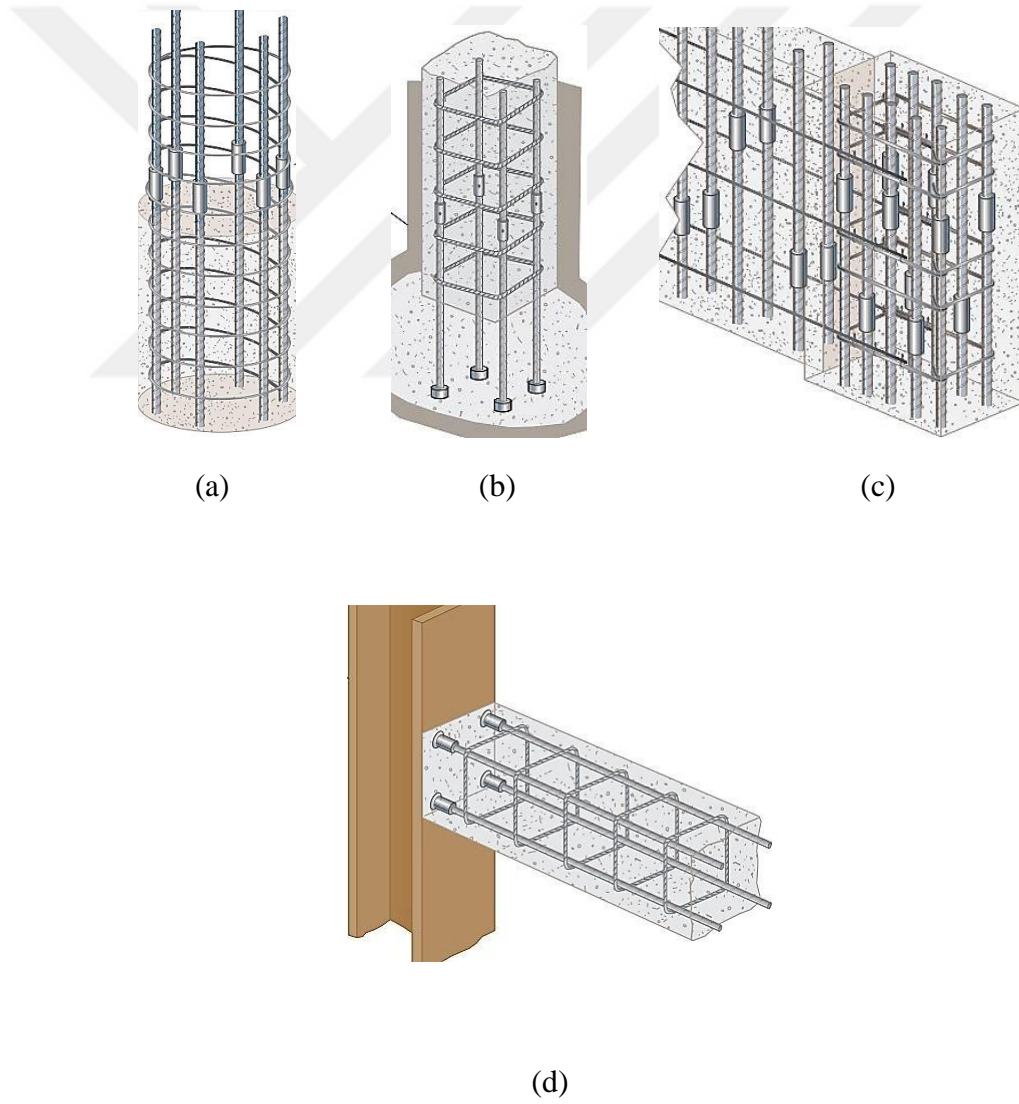
Şekil 3.17. Donatıda diş açma ve manşonlama makinaları

3.3.1. Mekanik Birleşimin (Manşon) Avantajları

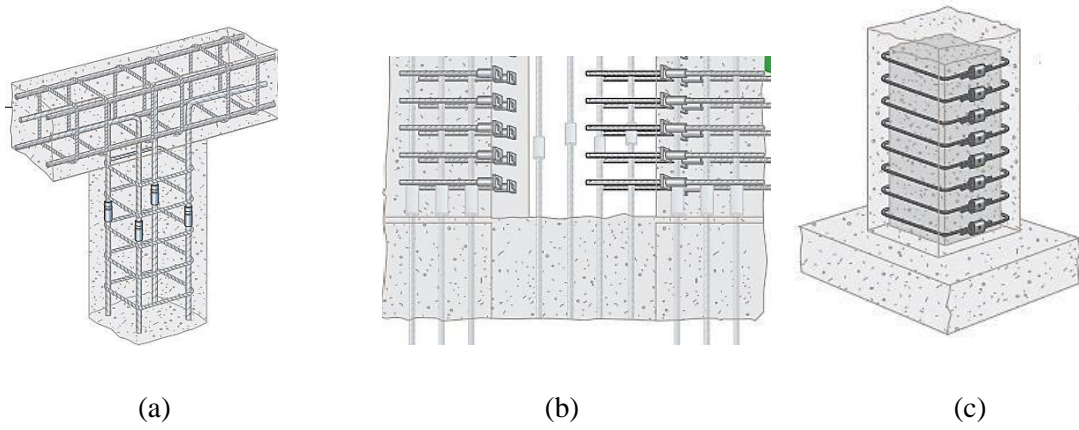
- Bindirme donatıların aksine, mekanik birleşim aracı olan manşon kullanımında yapıda oluşan yük transferi betondan bağımsız olarak direkt donatılar arasında meydana gelir. Donatıdan mekanik olarak daha fazla mukavemete sahip olduğu için yapısal süreklilik sağlar.
- Donatı manşonları, montajı daha hızlı ve kolay olduğundan işçilik ve zaman açısından ergonomiktir.
- İş programına olumlu derecede katkı sağlar, kalite kontrol maliyetini düşürdüğünden ekonomiktir.
- Çevrimsel yüklemeler altında güvenli ve avantajlıdır. Böylece yapının sismik performansının artmasına sebep olur.
- Manşon kullanımı donatı sıklığını azalttığı için betonun yerleştirilmesi daha rahat olur.
- Küçük betonarme kesitlerde daha sağlam tasarımlar ortaya çıkarır. Kesitlerin azaltılması alanların daha verimli kullanılmasını sağlar. Mimari tasarım açısından da son derece ekonomik ve yararlıdır.

Manşonlu bağlantıların yapıda kullandığı alanlar;

1. Donatıların sürekliliği ve bindirme boyu yerine (Şekil 3.18-a)
2. Temelde kanca yerine (Şekil 3.18-b)
3. Donatı yoğunluğunun fazla olduğu yapı elemanlarında (Şekil 3.18-c)
4. Çelik yapı elemanı-betonarme yapı elemanı birleşimlerinde (Şekil 3.18-d)



Şekil 3.18. Yapıda manşon kullanım alanları [25]



Şekil 3.19. Yapıda manşon kullanım alanları [25]

Manşonların statik koşullardaki mukavemet gereksinimi için genel gereklilik, manşonların mukavemetinin birbirine eklenecek donatılarda daha büyük olmasıdır. Çoğu betonarme tasarım hesaplarında, manşonun mukavemet ihtiyacını bulmak için, dayanım fazlalığı katsayısı adı verilen bir katsayı ile birleştirilecek donatıların akma dayanımı çarpılır. Bunun arkasında yatan mantık ise, yükleme altında, birleştirilen donatı demirleri akmalıdır ve manşonun nihai göçmesinden önce göçmelidir böylelikle manşonların rijit göçmesinden kaçınılmış olunur.

Birbirine eklenen donatılar ile mekanik manşon arasındaki kayma nedeniyle oluşabilecek olası bir beton çatlamasından dolayı kullanılabilirlik sınır durumu meydana gelmiştir. Kalıcı ve artık deformasyonlara sebep olan bu kaymanın mekanik manşon ile donatılar arasında bir kalite kontrol sorunu olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca mekanik bağlantıların düşük gerilmelerde daha rijit olma eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır (Bai A., Ingham J., and Hunt R., 2003). Bunun nedeni donatı ile manşonun birbirine kenetlenmiş sistemi içinde yatak gerilmesine bağlı plastik deformasyonudur.

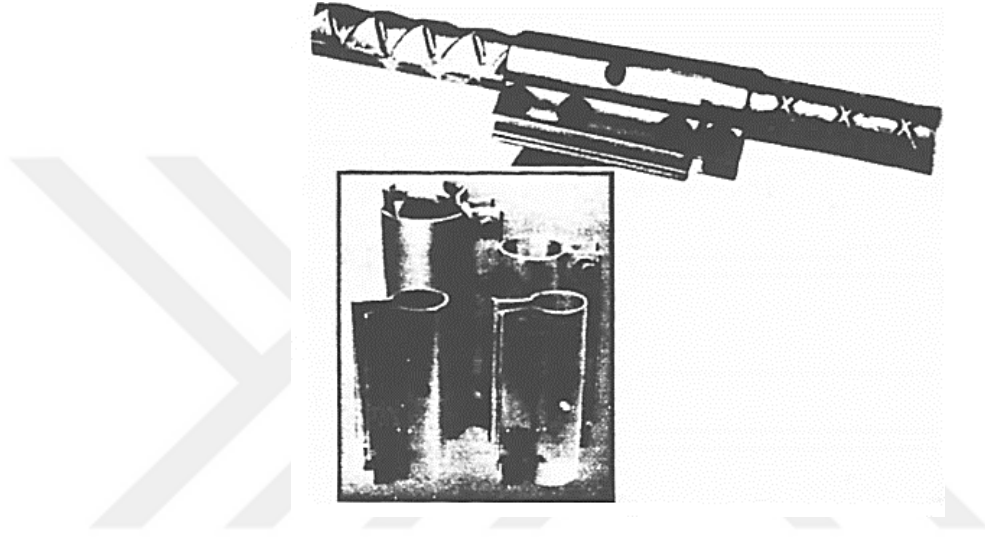
Elastik stres aralığında çok sayıda çevrimsel yükleme altında manşonun yorulma davranışı gözlemlenmelidir.

3.3.2. Manşon Türleri

Manşon çeşitleri üretici firmalara göre değişiklik gösterebilmektedir. ACI (American Concrete Institute) Committee 439, donatılar arası mekanik bağlantı elemanları yerel üretici firmalara göre incelemiştir.

3.3.2.1. *Solid Manşonlar (Solid-Type Steel Coupling Sleeves)*

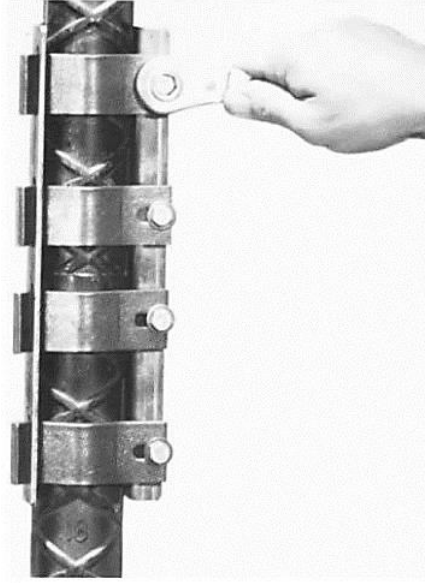
Flanşlı silindirik manşon cıvatalarla yatay kelepçeleme şeklinde kurulur. Kurulum aşamasında sadece İngiliz anahtarı yeterlidir. Uzunluğu 8 inç (203mm) ile 12 inç (305 mm) arasında değişir. Farklı çaplardaki donatıları birleştirmek için kullanılırlar. Manşonun flanş kısmı donatılar arası temiz açıklığın sağlanması ve beton örtüsünün devamlılığı için donatının arkasına yerleştirilmelidir.



Şekil 3.20. *Solid manşonlar [19]*

3.3.2.2. *Kemerli Manşonlar (Strap Type Coupling Sleeve)*

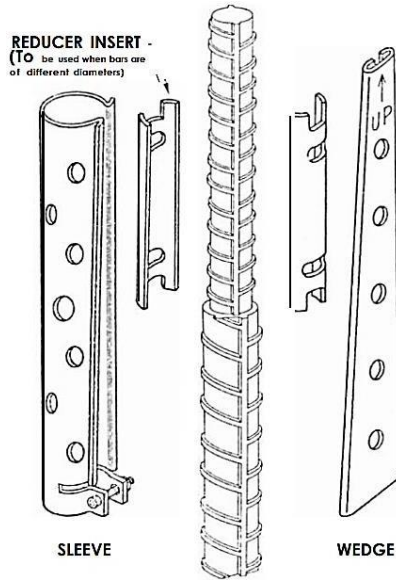
Yarı silindirik flanşların kemer şeklinde donatıyı sarması şeklinde kullanılan manşonlardır. L biçimdeki bağlantılar manşonun yarıklarından ve flanşa cıvatalanır. Manşon boyutları 18 numara (60mm) donatılar için 12 inç (305mm)'ye kadar değişir. Aynı çaptaki donatıların yanı sıra farklı çaptaki donatılar için özel adaptörler ile kullanılabilirler. Kurulum ve flanşların yerleşimi cıvatalı çelik manşonların yerleşimi ile benzerdir. Donatı uçları uygulamadan önce kesilmelidir.



Şekil 3.21. Kemerli manşonlar [19]

3.3.2.3. Kamalı Manşonlar (Wedge-Locking Coupling Sleeve)

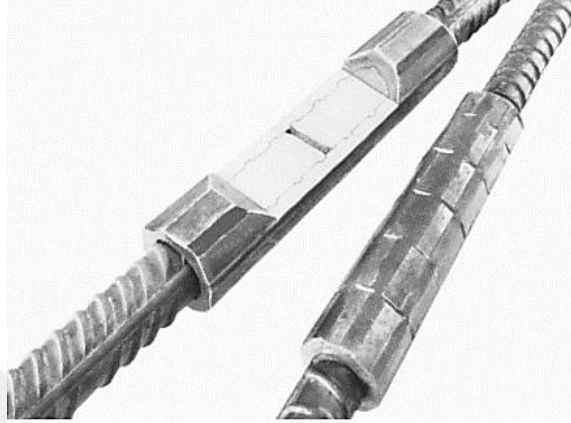
Kurulum esnasında manşon alt donatının üzerine yerleştirilir ve sabitlemek için alt mandal anahtar ile sıkılır. Kama manşon flanşlarının üzerine kaydırılır sonrasında üs donatı oturtulur. Manşonun ortalanması ile çubukların oturması ile kurulum kontrol edilir. Manşon uzunlukları 5,5 inç (140 mm) ve 12 inç (305 mm) arasında değişir. Donatılar arası mesafe en az 3 inç (76 mm) olmalıdır.



Şekil 3.22. Kamalı manşonlar [19]

3.3.2.4. Soğuk Pres Manşonlar (Cold-Swaged Steel Coupling Sleeve)

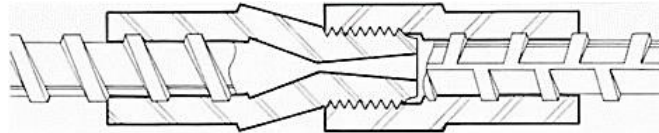
Bu manşonlar 3 numara (8 mm) ile 18 (57,33 mm) numaralı donatılar arasında kullanılabilen geniş bir skalaya sahiptir. Hidrolik pres (9-105 kg arasında değişir) makinası aracılığı ile manşon yerleştirilir. Donatılar herhangi bir yönden bağlanabilir, presin özel olarak donatıda konumlanması gerekli değildir.



Şekil 3.23. Soğuk presli manşonlar [19]

3.3.2.5. Soğuk pres dişli manşonlar (cold-swaged steel coupling sleeve with threaded ends)

Manşonlar pres makinası aracılığı ile donatıya bağlanır. Bağlama işlemi yerinde ve fabrikasyon olarak yapılabilir. Manşona açılan dişler sayesinde donatı kesit alanı azalmaz. Birbirine bağlanan donatıların ikisi birden döndürülerek birleştirilebilir (şekil 3.10). Bu tip manşonlar genellikle donatıları kalıba yerleştirmeden önce uygulanırlar.

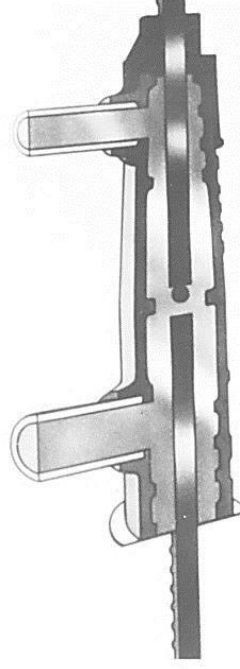


Şekil 3.24. Soğuk pres dişli manşonlar [19]

3.3.2.6. Grout Manşonlar (Grout-Filled Coupling Sleeves)

Bu manşon alçak basınçlı enjeksiyon pompası aracılığı ile dayanımı yüksek bir harç ilavesi ile uygulanır. Donatı uçlarına herhangi bir işlem yapılmasına gerek yoktur. Bu manşon türü epoksi kaplı donatılar için kullanılır. Grade 60 (S420) sınıfı donatıların akma

dayanımının en az %125'ini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Farklı çaptaki donatı bağlamak için de kullanılabilir. Manşon ilk donatının üzerine yerleştirildikten sonra grout harcı ile doldurulur ve ikinci donatı bağlanır. Prefabrik elemanlarda kullanılabilirler.



Şekil 3.25. Grout manşonlar [19]

3.3.2.7. *Nervürlü Donatı Manşonları (Coupler for Thread-Deformed Reinforcing Bars)*

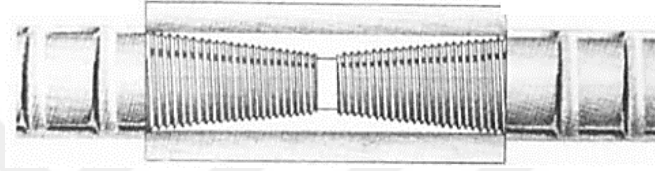
Bu manşonlar 6 numara (19,05 mm) ile 18 numara (57,33 mm) çaptaki donatılar için kullanılabilir. İki donatının da döndürülerek bağlandığı ve döndürülmeyerek bağlandığı şekilde 2 adet uygulama türü mevcuttur. Donatıların dönmediği uygulamalarda manşon donatıların ucuna takılır ve sıkıştırma somunu tork anahtarı ile sıkılır. Uygulamada en yaygın kullanılan manşondur.



Şekil 3.26. Nervürlü donatı manşonları [19]

3.3.2.8. *Konik Uçlu Manşonlar (Taper-Threaded Steel Coupler)*

Uygulamalarda en sık kullanılan manşon çeşididir. Donatılarda açılan dişler sayesinde birleşim sağlanır. Manşonun donatı dişleri ile eşleşmesi gerekmektedir. Manşonun, çapı daha küçük olan donatıya yerleştirilmesi durumunda, çapı daha büyük olan donatıyı bağlarken kuvvetin daha küçük donatı boyunca iletilmemesine dikkat edilmelidir. Başka bir deyişle bağlantının çekme gerilmesi değeri, daha küçük çaplı donatının çekmeden dolayı oluşacak göçme değerini karşılayacak mukavemette olmalıdır.



Şekil 3.27. *Konik uçlu manşonlar [19]*

3.3.2.9. *Kamalı Manşon (Steel Coupling Sleeve With Wedge)*

Aynı çaptaki donatıları bağlamak için kullanılır. Donatılar manşona yerleştirildikten sonra kama şeklinde pimler manşonun arka yüzeyinden geçirilir.



Şekil 3.28. *Kamalı manşon [23]*

3.3.3. **TS 500 Yönetmeliğinde Mekanik Birleşimler**

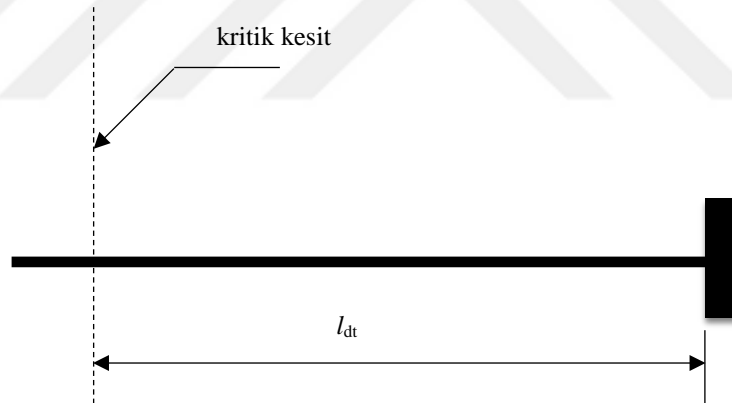
Ülkemizde kullanılan TS500 yönetmeliğinde mekanik kenetlenme için donatıların ucuna kaynaklanan veya vidalanan plakalarla da sağlanabilir ifadesi yer alır. Mekanik kenetlenme manşon adı verilen genellikle tesisat alanında kullanılan bağlantı elemanları ile de sağlanabilir. Fakat kullanılacak manşonun yeterliliğinin deneylerle kanıtlanması gereklidir. [10]

Özel izinlerle kullanılabilen bu kenetlenme yönteminin uygulanması için proje donatı hesap kuvveti, kırılma yükünün %70'ini geçmemelidir. [10]

Donatıların birbirine eklenirken manşonlu eklerin, hem çekme hem de basınç altında, manşonla bağlanan donatı çubuğu için standartlarda öngörülen minimum karakteristik akma dayanımının 1,25 katı dayanıma sahip olduğu deneylerle kanıtlanmalıdır. [10]

3.3.4. ACI (American Concrete Institute) 318-08 Yönetmeliğinde Mekanik Birleşimler

Burada kenetlenme kavramı, donatıdaki kuvvetin, mekanik bağlantı elemanının taşıma gücü ve donatının tutunması aracılığı ile betona aktarılması olarak tanımlanmıştır. Kenetlenme boyu ise mekanik bağlantı elemanının dış yüzeyi ile kritik kesiti arasındaki mesafedir. Mekanik bağlantılı birleşimlerde, kancalı birleşimlere oranla kenetlenme boyu daha kısadır.



Şekil 3.29. Mekanik bağlantılarda kenetlenme boyu [12]

Mekanik bağlantılı çekme donatılarında kenetlenme boyu l_{dt} (3.15) bağıntısı ile hesaplanır.

$$l_{dt} = \left[0,16 \frac{f_y \psi_e}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b \quad (3.15)$$

Burada, l_{dt} kenetlenme boyu (donatı çapının 8 katından ve 6 inç'ten -19,05 mm- daha küçük olmamalıdır), f_y donatının akma dayanımı (Grade 60 -S420- çeliğinden daha büyük olmamalıdır), d_b donatı çapı (11 numaradan -36 mm- daha büyük çaplı donatı

olmamalıdır), λ normal beton katsayısı, ψ_e donatı kaplama faktörü (epoksili donatılarda 1,2 diğer durumlarda 1 alınır), f_c beton karakteristik dayanımıdır.

Amerikan yönetmeliği ACI 318'e göre manşonların dayanımı kullanılan donatının akma dayanımının minimum 1,25 katı olmalıdır. Manşonlar uygulanan fiziksel kuvvete göre 2'ye ayrılır. Tip1 manşonlar, sismik yüklemeler altında inelastik deformasyonlar olmadığından kullanılır. Tip2 manşonlar, sismik manşonlar olarak nitelendirilmiştir ve sismik yüklemeler altında inelastik deformasyonlar göz önüne alındığında kullanılırlar. Çizelge (3.7)'de Tip1 ve 2 manşonları için performans gereklilikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Manşon Sınıfları [12]

	Donatı Sınıfı		
	A706	A615	
		Sınıf 40	Sınıf 60
Tip 1	1,25 $f_y > 550$ MPa (80 ksi)	1,25 f_y	1,25 f_y
Tip 2	1,25 f_y	420 MPa (60 ksi)	620 MPa (90 ksi)

Bu tabloda, f_y donatının akma dayanımını A706 düşük alaşımli kaynaklanabilir donatı sınıfını, A615 ise en çok kullanılan karbonlu çelik sınıfını ifade eder. Sınıf 40 ise normal koşullar altında minimum akma gerilmesi 40 kpsi olan donatı çeliğini, Sınıf 60 ise normal koşullar altında minimum akma gerilmesi 60 kpsi olan donatı çeliğini ifade eder.

3.3.5. TBDY (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği) 2019'da Mekanik Birleşimler

Ülkemizde kullanılan bu yönetmelikte mekanik birleşimler Bölüm 8 Ek 8-A'da verilmiştir. Donatı ekleme araçlarında kesme kontrolü yapılmalıdır. Donatı ile mekanik bağlantıların dayanım ve sünekliklerinin uyumluluğu gösterilmelidir. Farklı tipteki mekanik bağlantı elemanı için, toplam eleman adedinin %2'si kadar numune test edilecektir (numune sayısı 5 adetten az olamaz). Mekanik bağlantı elemanı manşon ile bağlanmış donatıdan oluşan numuneye çekme, basınç, yorulma, sıyrılma ve çevrimsel yüklemeler testleri uygulanmalıdır. Manşon dayanımı, donatı akma dayanımından büyük ya da eşit ise, çevrimsel yüklemeler testlerinin uygulanmasına gerek yoktur. Beklenen davranış şekli testler sonucunda kopmanın manşondan gözlenmesi durumunda deney başarısız,

donatıdan kopması gözlemlenmesi durumunda deney başarılı sayılacaktır. Çekme deneyinde; manşonlu numune, donatı karakteristik kopma dayanımının %100'üne, karakteristik akma dayanımının %135'ine ve belirlenen donatı akma dayanımının %120'sine ulaşmalıdır. Basınç deneyinde; manşonlu numune, donatı karakteristik akma dayanımının %125'ine ulaşmalıdır.

Çevrimsel yükleme testlerinde ise çizelge (3.8)'deki şartlar kontrol edilir.

Çizelge 3.8. Donatı mekanik bağlantılarında uygulanacak çevrimsel yükleme deneyleri [16]

Adım	Çekme	Basınç	Çevrim Sayısı
1	$0,95 f_{yk}$	$0,5 f_{yk}$	20
2	$2\varepsilon_y$	$0,5 f_{yk}$	4
3	$5\varepsilon_y$	$0,5 f_{yk}$	4
4	Kopmaya kadar çekme uygulanacak		

Burada f_{yk} donatının karakteristik akma dayanımı, ε_y gerçek akma gerilmesine karşı gelen akma birim uzamasıdır.

Çizelge 3.9. Farklı ülkelerin şartnamelerine göre çekme deneyinde mekanik bağlantı dayanım sınır değerleri

Ülke	İngiltere	Amerika		Almanya	Fransa
Yönetmelik	BS 8110	ACI 318		DIN 1045	NF A35-020
		Tip 1	Tip 2		
Mekanik bağlantı dayanım sınır değeri (MPa)	F_y belirlenen donatı akma dayanımının %108'i	F_y belirlenen donatı akma dayanımının %125'i	F_u donatı çekme dayanımının %100'ü	F_y donatı akma dayanımının %130'u	F_u donatı çekme dayanımının %95'i

4. MEKANİK BİRLEŞİM ARAÇLARININ TEST METOTLARI

Donatılarda mekanik birleşimlerin dayanım testleri için birçok standart ve kapsam mevcuttur. Çalışmanın bu bölümünde ISO 15835-1/2 ve ASTM A1034 standartları incelenmiştir.

4.1. ISO (International Organization for Standardization) 15835-1

ISO 15835-1, çelik donatıların birleştirilmesinde kullanılmak üzere, manşon olarak adlandırılan birleşim elemanlarına yönelik gereklilikleri belirtir. ISO 15835'in bu kısmı, ağırlıklı olarak statik yükler altında betonarme yapılarda mekanik ek yerleri için kullanılacak donatı manşonlarına yönelik gereklilikleri ve manşonların çevrimsel yükleme altında monotonik davranışlarına ilişkin yapılacak testlerin ilave gerekliliklerini belirtir. ISO 15835-1'in, betonarme tasarım standartlarına ve betonarme donatı çubukları için çeşitli standartlara ilişkin olarak uygulanması amaçlanmıştır. ISO 15835-1 ayrıca, manşonların uygunluğunun değerlendirilmesine yönelik yönergeler de içerir. Sadece basınca çalışan manşonlar bu standartın kapsamına alınmamıştır. Bu yönetmelikte uygulama için aşağıdaki yönetmeliklerden referanslar alınmıştır.

- ISO 6935-2, Betonarme Çelikleri- Bölüm 2: Nervürlü demirler
- ISO 9001, Kalite Yönetimi
- ISO 15630-1, Betonarme ve Öngermeli Beton Çelikleri- Test yöntemleri- Bölüm 1: Donatılar, Takviye Çelik Teller
- ISO 15835-2: 2009, Betonarme Çelikleri- Çubukların Mekanik Ek Yerleri İçin Manşonlar- Bölüm 2: Test yöntemleri
- ISO 16020, Betonarme ve Öngermeli Beton Çelikleri- Tanımlar

4.1.1. Tanımlar

Manşon Uzunluğu: Bir veya birden fazla, emniyet somunları da dahil olmak üzere tüm yük transfer parçalarını içeren manşonun gerçek uzunluğu

Mekanik Birleşim Uzunluğu: Manşon uzunluğu ile manşonun her iki ucundaki nominal çubuk çapının iki katının uzunluğunu toplamı olan uzunluk

Mekanik Birleşim: İki donatı demirinin birleşimini veya araya ilave edilen herhangi bir malzemenin birleşimini sağlayan manşon bağlantısının bütününe içeren tanım

Donatı Manşonu: Betonarme donatıları arasında aksel basınç ya da çekme kuvvetini iletmek amacı ile betonarme demirlerin arasına yerleştirilen mekanik birleşim elemanları

- Bağlantı manşonları, iki donatının uçlarına yerleştirilen mekanik bir bağlantıdır.
- Dişli manşonlar, donatı uçlarına açılan dişler aracılığı ile donatıyı birleştiren bağlantılardır.

Sıyırılma: Tanımlanan bir yükleme altında mekanik birleşimin kalıcı uzamasıdır.

Sıyırılma Ölçüm Aletleri: Çekme deneyleri için kullanılan ekstensometre ve mekanik birleşimi sabitlemek için oluşturulan düzeneklerin bütünü

Kalite Testi: Ürünün özelliklerinin istenilen gereksinimlere uygunluğunun ölçüldüğü testler

4.1.2. Test Koşulları

Manşonlar için teknik gereklilikler maddeler halinde tanımlanmıştır.

- Statik kuvvetler altında mukavemet ve süneklik ve statik kuvvetler altında sıyırılma kontrollerinin yapılması zorunlu iken;
- Elastik sınır altında monotonik çevrimsel yükleme altındaki davranışı ve elasto-plastik sınırlar altındaki monotonik çevrimsel yükleme altındaki davranışı ISO 15835-1 'de Ek C'de tanımlanmıştır.
- Bu özelliklerin test edilmesi ISO 15835-2'ye uygun olarak gerçekleştirilecektir.

Diğer gereksinimler ise;

- Tanımlama ve işaretleme
- Kurulum talimatları olarak kategorize edilmiştir.

Mekanik ek yerlerinin bağlanacağı donatılar için referans standartta ek gereksinimler bulunabilir. Bu durumda, alıcı ve tedarikçi herhangi bir ek teknik gereksinim üzerinde anlaşmalıdır.

Bir manşonda çelikten başka bir malzeme kullanılıyorsa, bu tür malzemelerin yangına dayanıklı yapılarıdaki kullanımının ve sağlıkla ilgili etkilerinin de değerlendirilmesi gereklidir.

4.1.3. Statik Kuvvetler Altında Dayanım ve Süreklilik

Mekanik ek bağlantıları çekme testlerinin sonuçları, mekanik ek parçasının uzunluğu dışında yetersiz olursa ve test sonuçları donatının ürün standardını karşılarsa, mekanik ek parçanın gerilme dayanımının veya sünekliğinin daha fazla doğrulanması

gerekmez. Mekanik birleşim bağlantılarının çekme dayanımı, donatının nominal karakteristik akma dayanımı ile donatının çekme/akma dayanımı oranı değerlerinin çarpımından $[R_{eH, spec} \times (R_m / R_{eH})_{spec}]$ az olmamalıdır. Donatı standartlarında belirtilen tek değer donatının nominal çekme dayanımı ($R_{m, spec}$) ise, mekanik bağlantının çekme dayanımı da bu değerden küçük olmamalıdır.

Mekanik bağlantının kullanımı, bağlantı donatılarının minimum sünekliklerinin korunması şartı ile sağlanmalıdır. Manşonun sünekliği testlere tabi değildir. Bağlantı çubuklarının sünekliğinin kontrolü aşağıdaki maddelerde verilmiştir.

1. ISO 15630-1'de tanımlanan, mekanik bağlantı uzunluğunun haricinde olan donatıdaki maksimum çekme kuvveti (F_{max}) altında gerçekleşen toplam uzama yüzdesi A_{gt} 'nin minimum değeri, ISO 6935-2'de tanımlanan $0,7A_{gt}$ değerinden küçük olmamalıdır.

Donatı çubukları için A_{gt} belirtilmemişse, test numunesinin kopmasından önce mekanik bağlantı uzunluğunun haricinde olan donatıdaki süneklik değeri minimum %3'e ulaşmalıdır.

A_{gt} değeri donatılar için karakteristik bir değerdir. Mekanik bağlantıların A_{gt} değerini elde etmek pratik olmadığı için donatıdaki minimum değer kullanılabilir.

A_{gt} değeri için A_5 ve A_{10} değerleri kullanılacaksa, bu değerler mekanik birleşim bölgelerinde göçmeye neden olabileceğinden dolayı manşon bölgelerinde kullanılamaz dolayısı ile A_5 ve A_{10} değerleri saptanamaz.

2. Test numuneleri, donatının minimum çekme dayanımından daha az olmayan karakteristik dayanımın %99'una sahip olacaklardır. Bu kriter sağlanmadığında araştırmayı genişletmek için başka örnekler de test edilebilir. Aşağıda test sonuçlarına göre %99 karakteristik mukavemet hesaplanması örneği gösterilmiştir. Karakteristik mukavemet değeri C_v (4.1) aracılığı ile verilmiştir.

$$c_v = x - k.s \quad (4.1)$$

Burada x ortalama değeri, s ise numunelerin tahmini standart sapmalarını ifade eder. k ise test edilen numunelerin sayısına bağlı olarak değişen bir katsayıdır. k değerleri çizelge (4.1)'den alınır.

Çizelge 4.1. *k* katsayısı değerleri [13]

Numune Adedi	<i>k</i> katsayısı
3	6,965
4	4,541
5	3,747
6	3,365
7	3,143
8	2,998
9	2,896
10	2,821
25	2,492
30	2,405

Manşonlar farklı boyut, mukavemet ve sünekliğe sahip çubukları bağlamak için kullanılıyorsa, koşullar daha küçük çaplı donatıya dayalı olarak kontrol edilmelidir.

4.1.4. Statik Yükler Altında Sıyrılma

Sıyrılma için uygulanan iki farklı test seçeneği aşağıda açıklanmıştır.

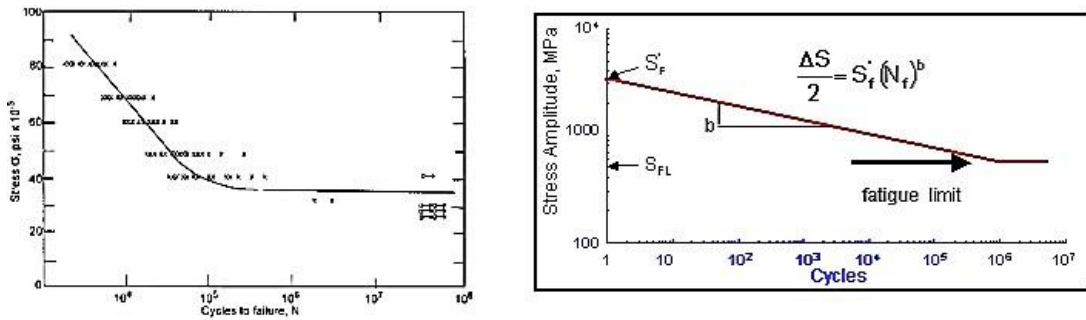
1. Mekanik bağlantı boyunca oluşan sıyrılma, en az $0,6 R_{eH,spec}$ 'e karşılık gelen bir kuvvet altında mekanik bağlantının ölçülen uzunluğudur. Burada $R_{eH,spec}$ değeri, donatının akma dayanımı ile aynı kuvvet altında birleştirilmemiş donatının uzunluğu arasındaki farktır.
2. Mekanik bağlantı boyunca oluşan sıyrılma, en az $0,6 R_{eH,spec}$ 'e karşılık gelen bir yükleme- boşaltma testinden sonra mekanik bağlantının ölçülen uzunluğu olarak bulunacaktır.

Testler sonucunda ölçülen sıyrılma değeri $0,1$ mm'den büyük olmamalıdır. Sıyrılma şartları betonarme yapılarda çatlak genişliğinin sınırlandırılması için önemli bir bulgudur. Bazı manşon tipleri için, örneğin 40 mm'den daha büyük çaplı donatılar için kullanılan 300 mm'den daha büyük uzunluktaki manşonlar, ülkelerin kendi yönetmeliklerinin belirtildiği takdirde $0,10$ mm'den daha büyük bir sıyrılma değeri ile kabul edilebilir.

4.1.5. Yüksek Çevrimsel Yorulma Testlerinin Özellikleri

F sınıfına dahil olan mekanik bağlantılar yorulma testleri altında, en az 2 milyon çevrim aralığında, monotonik çevrimsel testler için gerilme değeri sınırı olan $2\sigma_a$ (60 MPa) değerini karşılamalıdır. Testlerdeki maksimum yükleme değeri σ_{max} , $0,6ReH_{spec}$ olmalıdır. Başka bir deyişle, aksenal yükleme yorulma testinde maksimum gerilme değeri donatının nominal çekme dayanımının 0,6 katı olmalıdır. Maksimum gerilim, gerilim aralığı ya da çevrimsel testlerde yapılacak döngü sayıları için değerler çeşitli ülkelerin yönetmeliklerine göre farklılık gösterebilir. Tüm numuneler yorulma deneylerine yeterli mukavemet gösteriyorsa, test başarılıdır. Sadece bir numune başarısız olursa, başarısız olan bu numuneden üç adet daha üretilip aynı teste tabi tutulmalıdır. Bu üç adet numune yeterli mukavemeti gösteriyorsa, test başarılıdır. İki veya daha fazla numune yorulma deneyini geçemezse, test başarısız olur.

Farklı genliklere sahip yüksek çevrimsel yorulma testleri altında mekanik bağlantıların davranışı S (gerilme) – N (çevrimsel yükleme) diyagramları ile karakterize edilebilir. Bu diyagramın amacı genel kesit veya lokal kesitteki gerilmeleri yapının ömrü ile ilişkilendirmektir. Tarihte ilk olarak Wohler (1850) tarafından tren akslarının incelenmesi ile geliştirilmiştir. S-N diyagramı, malzemede -çatlaklarda bile-deformasyonun plastik bölgeye geçmediği varsayımı ile yapılır. Malzemenin ömrünü belirlerken maksimum gerilmeden ziyade uygulanan gerilme aralığı ve sıklığı göz önünde bulundurulur. Şekil (4.1)'de verilen S-N eğrisi logaritmik ve lineer skalada gösterilebilir. Bu diyagramda S gerilmeyi ifade ederken, N ise çevrimsel yükleme sayısını ifade eder. Mekanik bağlantı elemanının S-N diyagramı belirlenmek istenirse, ISO 15835-2: 2009'daki uygulanacak hükümlerden ileri bölümlerde bahsedilecektir.



Şekil 4.1. Lineer ve logaritmik oluşturulan S-N diyagramı örnekleri [26]

4.1.6. Düşük Çevrimsel Yorulma Testlerinin Özellikleri

S1 kategorisine dahil olan manşonlar orta ölçekli depremlerde ve S2 kategorisine dahil olan manşonlar ise şiddetli depremlerde kullanılır ve düşük çevrimsel yorulma testlerinde bu manşonlar teste tabi tutulur. Aşağıda S1 ve S2 kategorisine dahil olan manşonların karşılaması gereken test gereksinimleri verilmiştir.

S1 manşonlarında çekme gerilmesinin minimum değeri, donatının nominal çekme dayanımı olan $R_{m,spec}$ değerine veya donatının nominal karakteristik akma dayanımının, donatının çekme/akma dayanımı oranına bölünmesi ile elde edilen $[R_{eH, spec} \times (R_m/R_{eH})_{spec}]$ değerine eşit olmalıdır. 20. yükleme döngüsünden sonra ölçülen kalıcı uzama değeri $u_{20} \leq 0,3$ mm olmalıdır.

S2 manşonlarında çekme gerilmesinin minimum değeri, donatının nominal çekme dayanımı olan $R_{m,spec}$ değerine veya donatının nominal karakteristik akma dayanımının, donatının çekme/akma dayanımı oranına bölünmesi ile elde edilen edilen $[R_{eH, spec} \times (R_m/R_{eH})_{spec}]$ değerine eşit olmalıdır.

4. yükleme döngüsünden sonra ölçülen kalıcı uzama değeri $u_4 \leq 0,3$ mm olmalıdır.

8. yükleme döngüsünden sonra ölçülen kalıcı uzama değeri $u_8 \leq 0,6$ mm olmalıdır.

4.1.7. İşaretlenme ve izlenebilirlik ve kurulum talimatları

ISO 15835-1:2009'da her bir manşon, üretici kimliği, öngörülen nominal çubuk boyutu ve izlenebilirlik amaçları için bir okunabilir ve dayanıklı olarak işaretlenmelidir ifadesi belirtilmiştir.

Üretici firmalar anlaşılır yazılı bir kurulum talimatı vermelidir. Manşonların tarif edilen kurulum süreci şantiye koşullarında da elde edilebilir olmalıdır.

4.1.8. Uygunluk değerlendirmeleri

ISO 15835'in bu kısmında uygunluk, sistem sertifikasyonu ile doğrulanırsa, aşağıdaki koşullar uygulanacaktır;

- Manşon alıcılarının ISO 15835'in bu kısmındaki performans kriterlerinin karşılandığından emin olması için, manşon üreticisi ve belgelendirme yetkisine sahip bir kuruluş tarafından onaylanmış bir kalite sistemine sahip olacaktır.

- ISO 9001'in gereksinimlerini karşılayan ve ISO 15835'in bu kısmının gereksinimlerini karşılayan bir kalite sistemi kabul edilebilir kapsamdadır.

4.1.9. Yeterlilik testleri ve fabrika üretim kontrolü

Yeterlilik testlerine tabi tutulacak ürünlerin özelliklerini yansıtan rastgele numuneler alınacaktır. Testler ürünlerin tüm kesit alanına uygulanacaktır. Üreticinin, uygunluk beyan etmeyi planladığı ürünlerin tüm özellikleri için testler yapılmalıdır. Üretici tarafından yapılacak testler, sertifikasyon kuruluşunun gözetimi altında gerçekleştirilebilir. Bağımsız kontrol testleri de sertifikasyon kuruluşunun onayına bağlı olarak gerçekleştirilebilir.

Bu testlerde aşağıdaki kriterler incelenir;

- Statik yüklemeler altında mukavemet ve süneklik
- Statik yüklemeler altında sıyrılmalar
- Ürünlerin işaretlenmesi ve izlenebilirliği
- Kurulum talimatları
- Opsiyonel olarak düşük ve yüksek çevrimsel yorulma testleri de uygulanabilir.

İmalatçı fabrika, üretim kontrol sisteminin, ürünün uygunluğuna olan güven düzeyinin sağlandığından emin olmak için yeterli olduğunu göstermelidir. Fabrika üretim kontrol sistemi, üreticinin uygunluk beyan etmeyi planladığı ürünlerin tüm özelliklerini kapsamalıdır.

Yorulmaya dair özelliklerin üretici tarafından beyan edilmesinden sonra, ürün özelliklerinde bir değişikliğin kaydedildiği malzeme özelliklerinde, geometride veya üretim teknolojisinde bir değişiklik olduğu zaman üretilen malzemelerin kontrol sıklığı 3 yılda bir olmalıdır.

Tüm test numunelerinin sonuçları, her bir manşon tipi için uzun vadeli kalite seviyesi olarak değerlendirilmeli ve sunulmalıdır.

Fabrika üretim kontrolünün üçüncü bir şahıs ya da kuruluş tarafından gözetimi, üreticinin fabrika üretim kontrol sisteminin, ürünlerin gereksinimlere uygun olmasını sağlamaya devam ettiğini göstermek için gerçekleştirilmelidir. Fabrika üretim kontrolü, üretici tarafından sertifikasyon kuruluşunun gözetimi altında gerçekleştirilebilir.

4.1.10. Belgeleme

Her bir manşon tipi için imalatçı, manşona ait bir veri sayfası dosyası bulundurmalıdır. İmalatçı, manşonların uygunluğunu ve performansını gösteren çizelge (4.2)'ye göre bir dizi test sonucunu sürdürmelidir.

Kalite belgelendirme kuruluşu, üretici adı ve adresi, sertifikanın, uygun olduğu standart referans alınarak geçerli olduğu donatı türü, kalite belgelendirmesini yapan kuruluşun adı (logosu), uzunluk ve genişlik dahil olmak üzere onaylanmış manşonların tipler ve boyutları, kullanılan ekipmanlar ve araçlar, kullanım kılavuzu, manşona işlenecek işaretleme ve tanımlamalar, manşon kategorisi, ISO 15835-1:2009'a uygunluk beyanı ve sertifika numarası bilgilerini içerecek şekilde üreticiye bir belge verecektir.

Çizelge 4.2. Manşonların performans kontrolünde uygulanacak test esasları [13]

Aşama	Boyut	Mukavemet ve Dayanım	Sıyırılma	F sınıfı manşonları için yüksek çevrimsel elastik yorulma yüklemesi	S1 ve S2 sınıfı manşonlar için düşük çevrimsel elasto-plastik yüklemesi
Yeterlilik Testi ^a	Tüm manşon tipleri için en büyük, orta ve en küçük boyutlar	Seçilen her boyut ve tipte 3 adet numune	Seçilen her boyut ve tipte 3 adet numune	En büyük boyutta 3 adet numune Orta büyüklükte 3 adet En küçük boyutta 3 adet numune	En büyük boyutta 3 adet numune Orta büyüklükte 3 adet En küçük boyutta 3 adet numune
Üçüncü Şahıs Gözetimi ^b	Tüm manşon tipleri için tek boyut	3 adet numune	3 adet numune	3 adet numune ^e	yok
Fabrika Üretim Kontorlü ^c			yok	yok	yok

a Numunelerden biri yetersiz olursa, yüksek çevrimsel yorulma testi dışında bütün test serileri tekrarlanmalıdır.

b Numunelerden biri yetersiz olursa, test serileri altı numune örneği ile tekrarlanmalı ve hiçbir yetersizlik meydana gelmemelidir. Yeterlilik testi sırasında iki veya daha fazla numune yetersiz olursa, üretici tarafından sebebi tespit edilecek ve düzeltici önlemler alınacak, ardından altı numune test edilecektir.

Çizelge 4.2.(Devam) Manşonların performans kontrolinde uygulanacak test esasları [13]

c Numunenin yetersiz olması durumunda, üretici tarafından sebebi tespit edilecek ve düzeltici önlemler alınacak, ardından üç örnek numune test edilecektir.

d Üretimin ilk 2 yılında sürekli uygulanan testler başarılı sonuçlar verdiği takdirde, test frekansı 1000'de 1'e düşürülür.

e Testler her iki yılda bir yapılacaktır.

Performans testi için manşonun yük transfer mekanizması ve mukavemeti, nervür uzunluğu, tork etkisi, manşon / manşon dişleri / temas yüzeylerinin kirlenmesi etkisi ve donatı farklılığı etkisi parametreleri altında incelenmelidir.

4.1.11. ISO 15835-1'de Manşon Sınıflandırması

ISO 15835-1'de manşon tipleri, özellikleri ve test yöntemlerine atıfta bulunarak çizelge (4.3)'te hazırlanmıştır.

Manşon üreticisinin ya da tedarikçisinin, ürün teslimatında bir kontrol listesi olan veri sayfasına dahil edileceği konularda; birbirine eklenecek donatıların tipleri (sınıfları) ve boyutları (çapları), kullanılacak manşon kategorisi, S-N diyagramı (opsiyonel) ve kalite uygunluğu değerlendirilmesi yöntemi alıcıya bilgi olarak sunulmalıdır.

Çizelge 4.3. Manşon sınıfları, özellikleri ve test yöntemleri [13]

Kategori	Test Edilen Özellikler	Referans alınacak ISO 15835-1 Şartname Maddeleri	Referans Alınacak ISO 15835-2'de Test Şartname Maddeleri
B (klasik)	Statik kuvvetler altında mukavemet, süneklik ve sıyırılma	Statik Kuvvetler Altında Dayanım ve Süneklik	Statik Kuvvetler Altında Dayanım ve Süneklik
		Statik Yükler Altında Sıyırılma	Statik Yükler Altında Sıyırılma
			Yüksek Çevrimsel Yorulma Testlerinin Özellikleri

Çizelge 4.3. (Devam) Manşon sınıfları, özellikleri ve test yöntemleri [13]

F (yorulma)	Statik kuvvetler altında mukavemet, süneklik ve sıyrılma, yüksek çevrimsel yorulma davranışı	B sınıfı için geçerli olanlar ve Yüksek Çevrimsel Yorulma Testlerinin Özellikleri	B sınıfı için geçerli olanlar ve Düşük Çevrimsel Yorulma Testlerinin Özellikleri
S1 (orta şiddetli depremlerde)	Statik kuvvetler altında mukavemet, süneklik ve sıyrılma, orta ölçekli deprem altında düşük çevrimsel yorulma davranışı	B sınıfı için geçerli olanlar ve Düşük Çevrimsel Yorulma Testlerinin Altında S1 Özellikleri	B sınıfı için geçerli olanlar ve İşaretleme ve İzlenebilirlik Testleri
S2 (şiddetli depremlerde)	Statik kuvvetler altında mukavemet, süneklik ve sıyrılma, yüksek ölçekli deprem altında düşük çevrimsel yorulma davranışı	B sınıfı için geçerli olanlar ve Düşük Çevrimsel Yorulma Testlerinin Altında S2 Özellikleri	B sınıfı için geçerli olanlar ve İşaretleme ve İzlenebilirlik Testleri

a Eğer mekanik bağlantı manşonu hem F hem de S sınıflarına göre incelenirse, FS1, FS2, FS12 olarak sınıflandırılabilir. Örneğin FS12 kategorisine ait bir manşon, F manşonuna ek olarak hem S1 hem de S2 için uygunluk gösterdiğini simgeler.

4.2. ISO (International Organization for Standardization) 15835-2

ISO 15835'in bu kısmı, donatıların mekanik eklemeleri için kullanılan manşonlara uygulanan test yöntemlerini belirtir. ISO 15835-2, betonarme ve betonarme donatıları ile ilgili standartlarla uyumlu test yöntemlerini içerir.

Bu yönetmelik hazırlanırken aşağıdaki yönetmeliklerden referans alınmıştır:

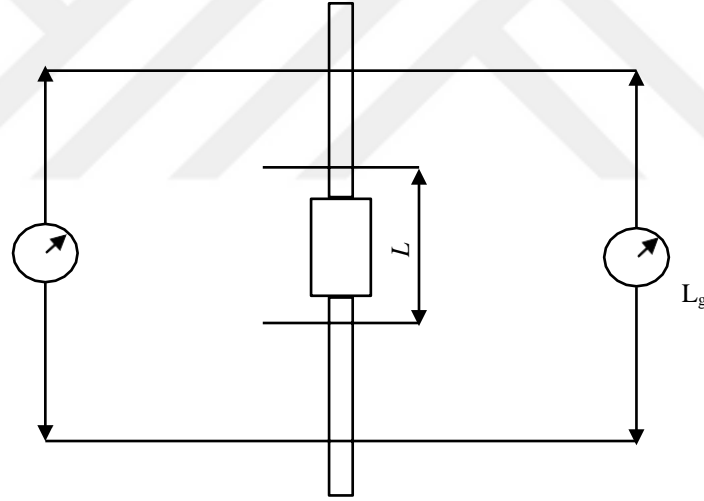
1. ISO7500-1 Metalik Malzemeler- Tek Eksenli Statik Deney Cihazlarının Doğrulanması- Bölüm 1: Basınç- Çekme Deney Cihazları / Kuvvet Ölçüm Sisteminin Kalibrasyonu ve Doğrulanması
2. ISO 9513 Metalik Malzemeler- Tek Eksenli Deneylerde Kullanılan Ekstensometrenin Kalibrasyonu
3. ISO 15630-1 Betonarme ve Öngermeli Beton Çelikleri- Test yöntemleri- Bölüm 1: Donatılar, Takviye Çelik Teller

4. ISO 15835-1:2009 Betonarme Donatılarda Kullanılan Çelik- Donatıların Mekanik Birleşimleri İçin Kullanılan Maşonlar- Bölüm 1: Koşullar

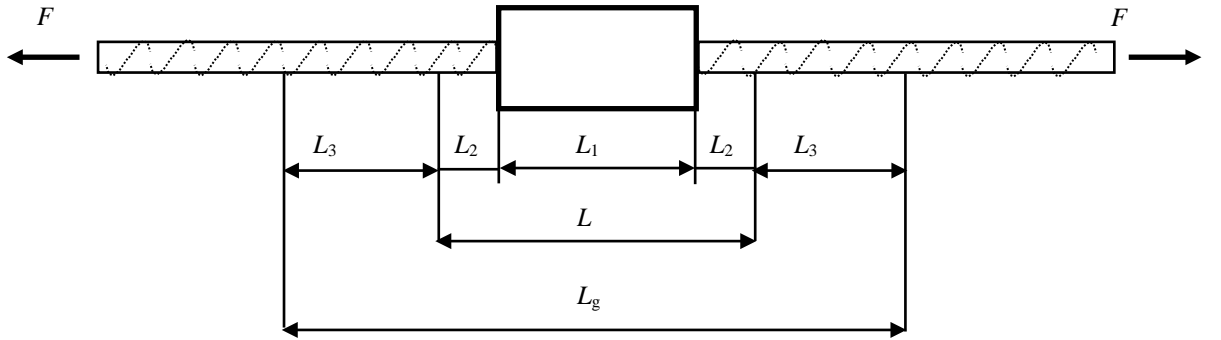
5. ISO 16020, Betonarme ve Öngermeli Beton Çelikleri- Tanımlar

4.2.1. Mekanik Birleşim Testleri

Yapılacak tüm deneyler, maşonlar üzerinde uygulanmalıdır. Deney mekanizmasının hazırlanması ileriki bölümlerde anlatılacaktır. ISO 15835'in bu kısmında yapılacak testler, çekme testi, sıyrılma testi, yüksek çevrimsel yorulma testi ve düşük çevrimsel yorulma testi olarak kategorize edilebilir. Mekanik birleşim yerlerinin performansı, birleştirilen donatıların nervür geometrisine bağlı olabilir. Test edilecek donatının nervür geometrisi test sonuçları ile tedarikçi firma tarafından kaydedilmelidir. Ölçüm kuralları ve uzamaların ölçülmesi geometrik olarak aşağıdaki şekil (4.2) ve şekil (4.3)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Ölçüm prensibi şematik [14]



Şekil 4.3. Mekanik birleşim yerlerinin uzamalarını ölçmek için kullanılacak uzunluklar [14]

Burada; F uygulanan kuvvet, L ISO 15835-1’de tanımlanan mekanik birleşim bağlantısının uzunluğu, L_1 manşon uzunluğu, L_2 donatının nominal çapı olan d değerinin 2 katı ($2d$), L_3 ya da L_g ölçüm aletinin toplam uzunluğudur ve ($L_1+ 8d$) ile (L_1+10d) arasında değişir.

4.2.2. Test Ekipmanlarının Hazırlanması

Test ekipmanları, manşon tedarikçisinden gelen, yazılı kurulum talimatlarına göre monte edilmeli ve hazırlanmalıdır. Manşon, test numunesinin ortasına yerleştirilmelidir. Çekme testi için kullanılan numunenin, A_{gt} 'nin rahatça belirlenebilmesi için kullanılan değer olan “test cihazının donatıyı kavradığı kısımlar arasındaki serbest uzunluğu” yeterli olmalıdır. Çekme testi için deney parçasının milimetrik olarak yeterli minimum serbest uzunluğu ($400 + L$) olabilir. Sıyrılma testi için hazırlanan numunenin serbest uzunluğu, çekme testi için hazırlanan numunenin uzunluğundan daha kısa olabilir. Sıyrılma testi için deney numunesinin serbest uzunluk değeri, ($250 + L$) mm’den az olmamalıdır. Burada L, ISO 15835-1’de tanımlanan manşon uzunluğudur. A_{gt} 'nin belirlenebilmesi için kullanılan ölçüm aleti, birleştirilecek her iki çubukta da manşonun dışına yerleştirilmelidir.

Yorulma deneyleri için kullanılan numunelerin uzunluğu, mekanik birleşimden yerinden daha uzun olan “ölçüm aletinin kavrama kısımları” arasında serbest bir uzunluk sağlamak için yeterli olmalıdır.

4.2.3. Sıyrılma Testi

Sıyrılma durumu genel olarak Şekil (4.1)’e göre ölçülmelidir. Manşon yük aktarma parçaları birden fazla kısımdan oluşuyorsa, her bir parça arasında ayrı olarak sıyrılma testi yapılmalıdır. Sıyrılma değeri olarak, yapılan tüm ölçümlerin en büyüğü ve birden fazla parçalı manşonlarda her bölüm için ölçülen değerlerin toplamı olarak alınmalıdır. Mekanik bağlantıdaki sıyrılma boyu ΔL_s değeri iki hesap yöntemi ile bulunabilir. Birinci hesap yöntemi (4.2) bağıntısı ile verilmiştir.

$$\Delta L_s = \Delta L_t - \Delta L_e \quad (4.2)$$

Burada ΔL_e , eklenmemiş donatının elastik uzama değeridir. ΔL_e değeri (4.3) bağıntısı ile verilmiştir.

$$\Delta L_e = \frac{\sigma}{E} \Delta L_g \quad (4.3)$$

Burada; σ gerilme değeri, E elastisite modülüdür. Gerilme değeri σ , (4.4) bağıntısı ile verilmiştir.

$$\sigma = \frac{4 F}{\pi d^2} \quad (4.4)$$

Burada; F uygulana kuvvet, d donatı çapıdır. Düşük alaşımlı ve düşük karbon oranlı çeliklerde elastisite modülü E değeri 2×10^5 MPa olarak alınmalıdır. Böylelikle bağlantı noktasının azalmış rijitliği manşonun rijitliği ile dengelenmiş olur.

Mekanik bağlantıdaki sıyırılma boyu ΔL_s değeri alternatif olarak ikinci bir hesap yöntemi ile (4.5) bağıntısı ile verilmiştir.

$$\Delta L_s = \Delta L_2 - \Delta L_1 \quad (4.5)$$

Burada L_{g1} ölçüm aletinin ilk yüklemenden sonraki uzunluğu, L_{g2} ölçüm aletinin ikinci yüklemenden sonraki uzunluğudur.

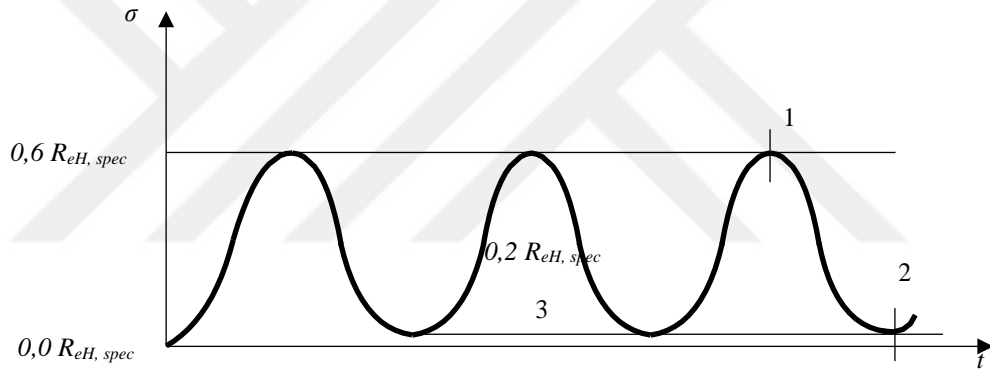
4.2.4. Çekme Testi

Çekme testi için kullanılacak deney ekipmanları ISO 15630-1 ile uyumlu olmalıdır. Sıyırılmayı belirlemek için kullanılan ekstensometre, ISO 9513 yönetmeliğinde geçen sınıf 2 veya üstü ekipmanlar ile uyumlu olmalıdır. Ekstensometre, en az iki kademeli (ortalama) olabilir, tercihen üç kademeli ekstensometrede kullanılabilir. Sıyırılma ölçü aleti yeterince sağlam bir şekilde sabitlenmelidir, böylece sıyırılma değeri 0,01 mm'yi aşmayan bir doğrulukla ölçülebilir. Bu değer hassasiyeti, periyodik olarak aynı ölçü uzunluğuna sahip bir kontrol çubuğu üzerinde test yapılarak kontrol edilmelidir. Ölçümün doğruluğu, ekstensometrenin (imalatçısının belirttiği gibi) doğruluğu ile sabitleme cihazları tarafından üretilebilecek hataların toplamı olarak hesaplanır.

Eğer yükleme altında sıyırılma ölçümü yapılacaksa, ölçüm hassasiyeti değeri, hesaplanan ve test sonucunda ölçülen elastik uzama arasındaki farktır. Boşaltılan yük sonrasında ölçüm yapılırsa, ölçüm hassasiyeti yük boşaltıldıktan sonra okunan değerdir.

4.2.5. Test Prosedürleri

Test numunesinin, eğilme momentine mümkün mertebede maruz kalmadan yükün sadece aksenal bir şekilde taşınmasını sağlamak amacıyla sabitlenmesi gerekmektedir. Sıyırılma ölçümü, test numunesi ön gerilmeye maruz kalmadan önce gerçekleştirilmelidir. Numunenin kenetlenmesi için küçük bir ön gerilme yapılması kaçınılmaz ise, ön gerilme değeri 4 MPa'dan fazla olmamak şartı ile ilgili sıyırılma değeri not alınmalı ve test raporuna kaydedilmelidir. Numunenin ön gerilmeye maruz kalması sıyırılma değerini azaltacaktır, bundan dolayı bir yapıda birbirine bağlanacak donatılarda ön gerilme yapılmamalıdır. Gerilim ölçüm aletinin donatıya kenetlenip çenelerinin kapatılması sonrasında ölçüm aleti sıfırlanmalıdır. Kalite testleri, mekanik ek yerlerinin karakteristiklerini saptamak için gerçekleştirilen testlerden oluşur. Kalite testi için yük döngüsü Şekil (4.4)'teki prensibe uygun olarak gerçekleştirilmelidir.



Şekil 4.4. Sıyırılma deneyi çevrimsel yüklemesi grafiği [14]

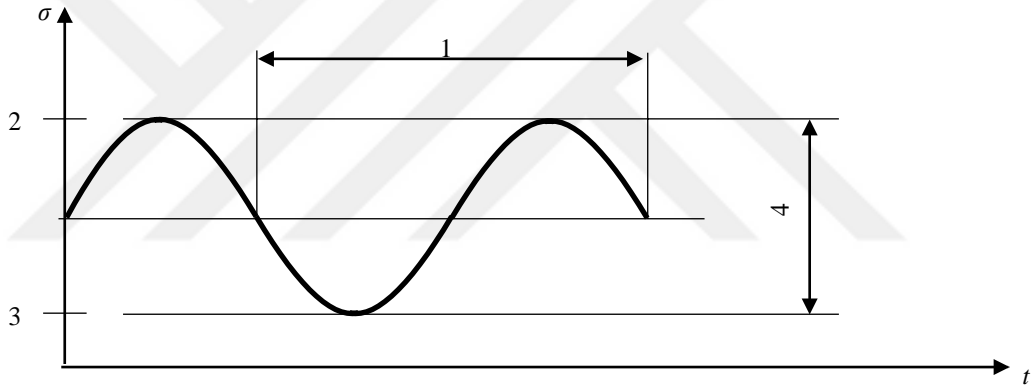
Burada σ gerilme, t zamandır. Grafikteki 1 ve 2 noktaları, o anlarda ölçülen gerilmeleri ifade eder. 3 noktası hedef değer olan $0,02 R_{eH,spec}$ değerini ifade eder. Testlerde, $0,6 R_{eH,spec}$ değerine ulaşmak için uygulanan gerilme kuvvetinin maksimum bu değerden $\% \pm 3$ oranında sapma payına izin verilmiştir. Tavsiye edilen maksimum yükleme hızı 500 MPa/dak olarak verilmiştir.

Testler için (4.2) bağıntısı kullanılıyorsa, eklenen çubuklardaki uzama miktarı, üçüncü yükleme döngüsüne ulaşıldığında ölçülmelidir. Testler için alternatif hesap yöntemi (4.5) bağıntısı kullanılıyorsa, sıyırılma miktarı, $[\Delta L_s = L_{g2} - L_{g1}]$ kullanılarak yüklemmeden önce ölçülen uzunluk hariç, boşaltma işleminden sonra ölçülen uzunluk olarak alınabilir.

Eğer kalite testlerinde, bir ile üç çevrimsel yüklemeler arasındaki fark %10'dan az ise, sadece bir adet çevrimsel yükleme ile testleri yapmak yeterlidir.

4.2.6. Yüksek Çevrimsel Yorulma Testleri

Yorulma, malzemeye tek seferde uygulandığında herhangi bir hasar meydana getirmeyecek seviyede olan yüklemelerin ancak tekrarlı şekilde uygulanması durumunda malzemede çatlak veya kırılma şeklinde hasar meydana gelmesi durumudur. Mekanik birleşimlerle bağlanan çubuklardaki yorulma performansı, bağlanmayan çubuklara oranla daha düşük olmalıdır. Bu testlerin asıl amacı, mekanik bağlantının sıyrılmasını gözlemlemektir. Eksenel yükleme yorulma testinde, test numunesi, elastik aralıktaki sabit frekansın sinüzoidal dalga formuna göre periyodik olarak değişen bir eksenel çekme kuvvetine maruz kalmaktadır, bu durum şekil (4.5)'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Yüksek Çevrimsel yorulma testi için çevrimsel yükleme diyagramı [14]

Burada; 1 bir adet çevrimsel yüklemenin süresi, 2 maksimum gerilme değeri, 3 minimum gerilme değeri, 4 monotonik çevrimsel testler için gerilme değeri sınırı olan $2\sigma_a$ aralığıdır.

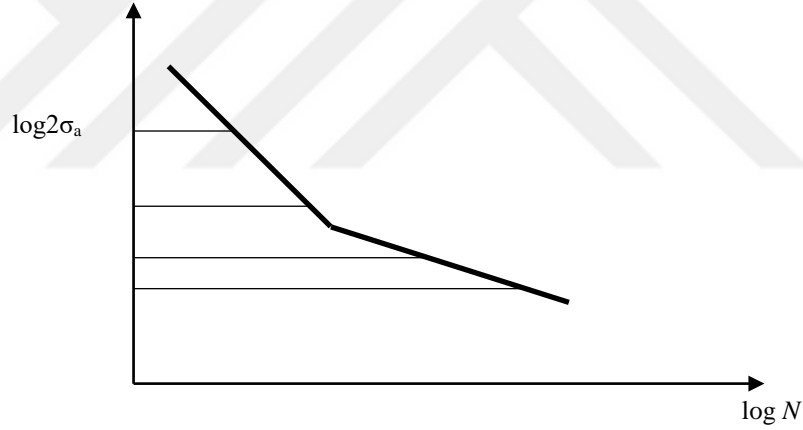
Yorulma testi yükleme altında gerçekleştirilmelidir. ISO 7500-1 şartnamesine göre yorulma test cihazı $\% \pm 1$ hassasiyetle kalibre edilmelidir.

Test numunesinin, eğilme momentine mümkün mertebede maruz kalmadan yükün sadece eksenel bir şekilde taşınmasını sağlamak amacıyla sabitlenmesi gerekmektedir. Test esnasında çevrimsel yüklemelerdeki sıklık sabit olmalıdır. Uygulanacak frekans 1 Hz ile 200 Hz arasında olmalıdır. Numunenin sıcaklığı test boyunca 40°C 'ı aşmamalıdır. Test esnasında laboratuvarın sıcaklığı ise 18°C ile 30°C aralığını aşmamalıdır.

Testler, numunenin kopması veya kopma olmaksızın belli bir sayıda döngüye ulaşması üzerine sona erdirilir. Eğer numune, mekanik birleşimin dışında bir yerden koparsa ve mekanik birleşim hala zarar görmemişse, numune ölçüm aletini kavrayacak kadar uzunluğa sahipse, test ölçümleri aynı numune üzerinden devam edilebilir.

Mekanik birleşim bağlantılarının S-N diyagramları, en az 12 adet yorulma testi yapılarak belirlenebilir. S (gerilme)- N (çevrimsel yükleme sayısı) diyagramı yardımı ile malzemenin yorulma ömrü ve birikimli hasarı belirlenebilir. S-N diyagramının belirlenmesi isteğe bağlıdır ve ISO 15835-1'de gerekli görülmemiştir.

Eğer aynı tipte bir mekanik bağlantı elemanı test edilecekse, küçük, orta ve büyük boy tipleri ayrı test edilmelidir. Testler dört gerilme aralığında yapılmalıdır. Her gerilme aralığında en az 3 numune teste tabi tutulmalıdır. Gerilme aralıkları aracılığı ile S-N diyagramı oluşturulur. S-N diyagramındaki değerler, %10'luk çeyreklerin alt sınırlarına dayanan bir regresyon analizi ile belirlenir. Şekil (4.6)'da S-N diyagramı örneği verilmiştir.



Şekil 4.6. Tipik S-N diyagramı [14]

Şekil (4.6)'da N aksenal yük fatik (yorulma) testinde belirtilen yükleme döngüsü sayısı ve $2\sigma_a$ yüksek çevrimsel yükleme testindeki gerilme üst sınırını ifade eder.

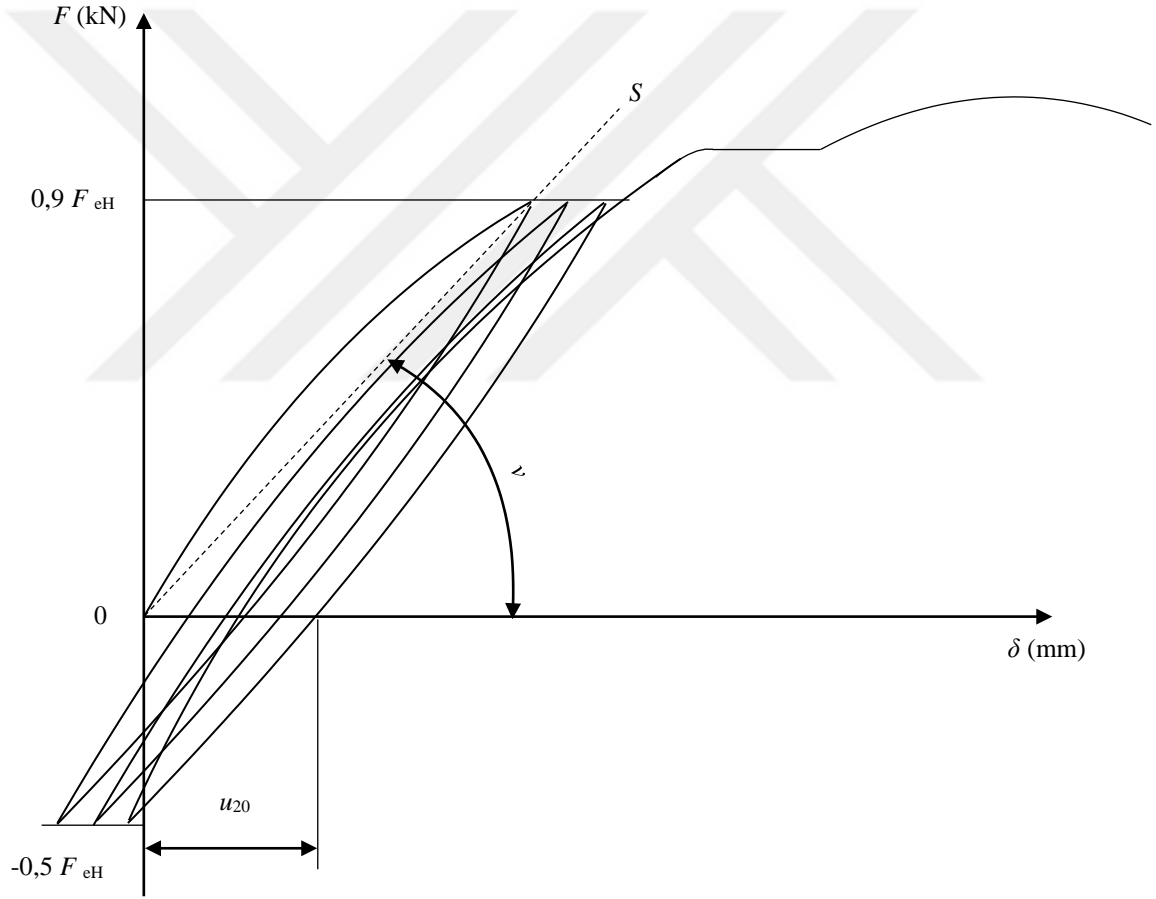
4.2.7. Düşük Çevrimsel Yorulma Testleri

Çevrimsel yükleme testleri yüksek gerilme etkisi ve yüksek şekil değiştirme etkisi olmak üzere iki ana parametre altında incelenirler.

Yüksek gerilme etkisi altında uygulanan testlerde mekanik bağlantılar sırası ile çekme ve basınç gerilmelerine maruz kalırlar. Bu testin amacı, orta ölçekli bir depreme

maruz kalan S1 kategorisinde bir mekanik bağlantı sisteminin elastik ters yüklemesini simüle etmektedir.

Teste başlamadan önce ölçüm aleti, mekanik bağlantıya monte edilmelidir. Yönetmelikte yükleme programı olarak ise, gerilimsiz numuneye başlangıçta $0,9R_{eH,spec}$ değerinde çekme gerilmesi verilmesi ve sonrasında $0,5R_{eH,spec}$ değerinde basınç sıkıştırması işleminin 20 kez tekrarlanması, daha sonrasında da numune kopana kadar çekme kuvvetine maruz kalması yöntemi verilmiştir. Şekil (4.7)'de mekanik bağlantıda çekme-basınç deney grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Mekanik bağlantıda yüksek gerilme etkisi altında çekme-basınç deneyi grafiği [14]

Burada; u_{20} 20 kez tekrarlanan çevrimsel yüklemeye maruz kalma sonrası, S rijitlik doğrusu, v notasyonu S doğrusunun tanjantı, F_{eH} donatıya etkiyen kuvvettir. F_{eH} değeri (4.6)'da verilmiştir.

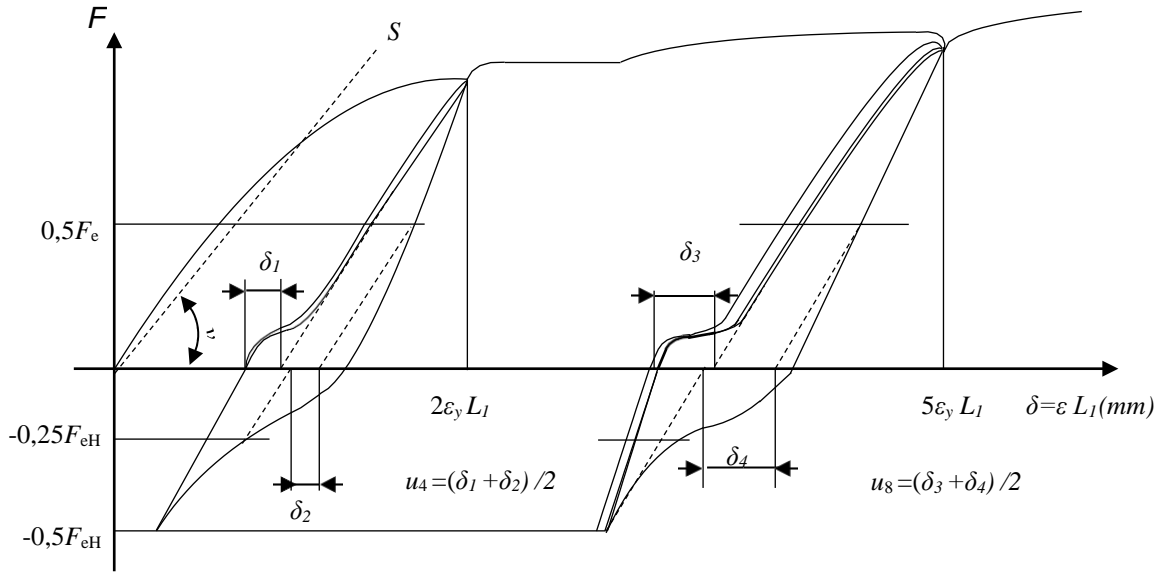
$$F_{eH} = A_s - R_{eHspec} \quad (4.6)$$

Burada; A_s donatı alanı, R_{eHspec} donatının nominal karakteristik akma dayanımıdır. S doğrusu (4.7)'de verilmiştir.

$$S = \frac{E_s A_s}{L_1} \quad (4.7)$$

Burada; E_s değeri elastisite modülü (2×10^5 MPa), A_s donatı alanı, s doğrusunun arctanına eşittir ($v = \arctan S$).

Yüksek şekil değiştirme etkisi altında uygulanan testlerde amaç yüksek ölçekli bir depreme maruz kalan S2 kategorisinde bir mekanik bağlantı sisteminin plastik ters yüklemesini simüle etmektir. Teste başlamadan önce ölçüm aleti, mekanik bağlantıya monte edilmelidir. Yönetmelikte yükleme programı ise; şekil değiştirmemiş halde olan numuneye nominal akma dayanımına (akma birim şekil değiştirmesinin 2 katına) gelinceye kadar gerilme yüklemesi verilmesi ve ardından $0,5 R_{eH,spec}$ değerinde basınç altında şekil değiştirmeye tabi tutulması ve daha sonrasında da akma birim şekil değiştirmesinin 5 katına gelinceye kadar gerilme yüklemesi verilmesi ve ardından $0,5 R_{eH,spec}$ değerinde basınç altında şekil değiştirmeye tabi tutulması işleminin 4 kez tekrarlanması olarak açıklanmıştır. Karakteristik akma birim şekil değiştirmesi bilinmeyen çubuklarda ise Σy % 0,2 sınırına eşit bir gerilme olarak alınabilir.



Şekil 4.8. Mekanik bağlantıda yüksek şekil değiştirmelerin altında çekme-basınç deneyi grafiği [14]

Şekil (4.8)'de L_1 manşon genişliği, u_4 4 kez tekrarlanan çevrimsel yüklemekten sonraki uzama, u_8 8 kez tekrarlanan çevrimsel yüklemekten sonraki uzama, ε_y nominal akma uzaması, δ_1 grafikte $0,5 F_{eH}$ noktasından x eksenine paralel bir doğru çizilmesi ve bu doğru ile kesişen S doğrusuna paralel doğrular (kesikli), v notasyonu S doğrusunun arctanjantı, F_{eH} donatıya etkiyen kuvvettir ($F_{eH} = ReH, spec \times As$).
S değeri rijitliği ifade eder ve (4.7) bağıntısı ile hesaplanır.

4.2.8. Testlerin Raporlanması

Test sonuçlarının bulunduğu raporda laboratuvar ismi, laboratuvar operatörünün adı, test numunelerini hazırlayanın kişisel bilgileri, donatının standardına göre sınıfı, donatının nervür geometrisi, donatının nominal geometrisi, manşonun üretici/tedarikçisinin adı (manşonun seri numarası, tipi, seri numarası okunabilir olmalıdır), sıyrılma testinde kullanılan kuvvet değerleri, elde edilen çekme mukavemeti değeri, manşonun çap ve uzunluk bilgileri, test edilen numunenin kurulum bilgileri (kullanılan tork değeri, sıcaklık), elde edilen sıyrılma değerleri, göçmenin yeri ve konumu (donatıda /manşonda /donatı manşon birleşim bölgelerinde), yorulma ve düşük çevrimsel test sonuçları, test raporunu hazırlayan kişinin ismi ve imzası bulunmalıdır.

4.3. ASTM A1034 (American Society for Testing and Materials)

American Society for Testing and Materials tarafından hazırlanan bu yönetmelik, donatılar için manşon test yöntemlerini kapsamaktadır. Bu yönetmelikteki test metotları her türden çelik ve manşon sınıfına uygulanabilir.

4.3.1. Tanımlar

Donatı Mekanik Bağlantısı: İki donatı ve bunları birbirlerine mekanik olarak bağlayan manşon düzeneğinin numunesidir.

Ekstensometre (Clip Gage): Test numunelerindeki küçük yer değiştirmeleri ölçmek için kullanılan elektrikli bir cihaz

Manşon: Eksenel basınç veya çekme ya da her ikisini de bir çubuktan diğerine transfer etmek amacıyla donatıları birleştirmek için kullanılan dişli bağlantı elemanı

Diferansiyel Uzama: Bağlantı elemanında ve bağlanmamış donatıda sıfır yükten belirlenen bir test yüküne kadar sırası ile ölçülen toplam uzamalar arasındaki fark

Sıyrılma: Birleşim yeri ölçüm uzunluğu boyunca ekstensometrede okunan değer farkı

4.3.2. Monotonik Çekme Deneyi

Bu test yöntemi artan çekme yüklemesi altında manşonun performansını belirlemek için kullanılır. Test düzeneğindeki numune göçme olana kadar çekilir. Deney düzeneği ASTM A370 yönetmeliğine göre kalibre edilir. Akma noktasına kadar dakikada 70 MPa ile 700 MPa arasında yükleme yapılır. Akma noktasına gelene kadar çekme deneyine devam edilir. Akmadan sonra deneye ara verilir. Daha sonra da kopma noktasına gelene kadar deneye devam edilir.

4.3.3. Monotonik Basınç Deneyi

Bu test, mekanik bağlantı elemanının artan basınç yüklemesi altındaki performansını belirlemek için kullanılır. Test düzeneğindeki numune göçme olana kadar basınç uygulanır. Uygulanan basınç kuvveti, donatının akma dayanımının %125'ini geçmemelidir. Deney düzeneği ASTM A370 yönetmeliğine göre kalibre edilir. Monotonik basınç testleri esnasında donatının burkulmasından kaçınılmalıdır.

4.3.4. Çevrimsel Yükleme Testleri

Bu testte numune basınç ve çekme çevrimsel yüklemelerine maruz kalır. Numune test düzeneğine yerleştirilir ve çekmeye maruz bırakılır, sonrasında ise belirlenen çevrim sayısı kadar basınca maruz bırakılır. Burada amaç deprem hareketini simüle etmektir.

4.3.5. Yüksek Çevrimsel Yorulma Testi

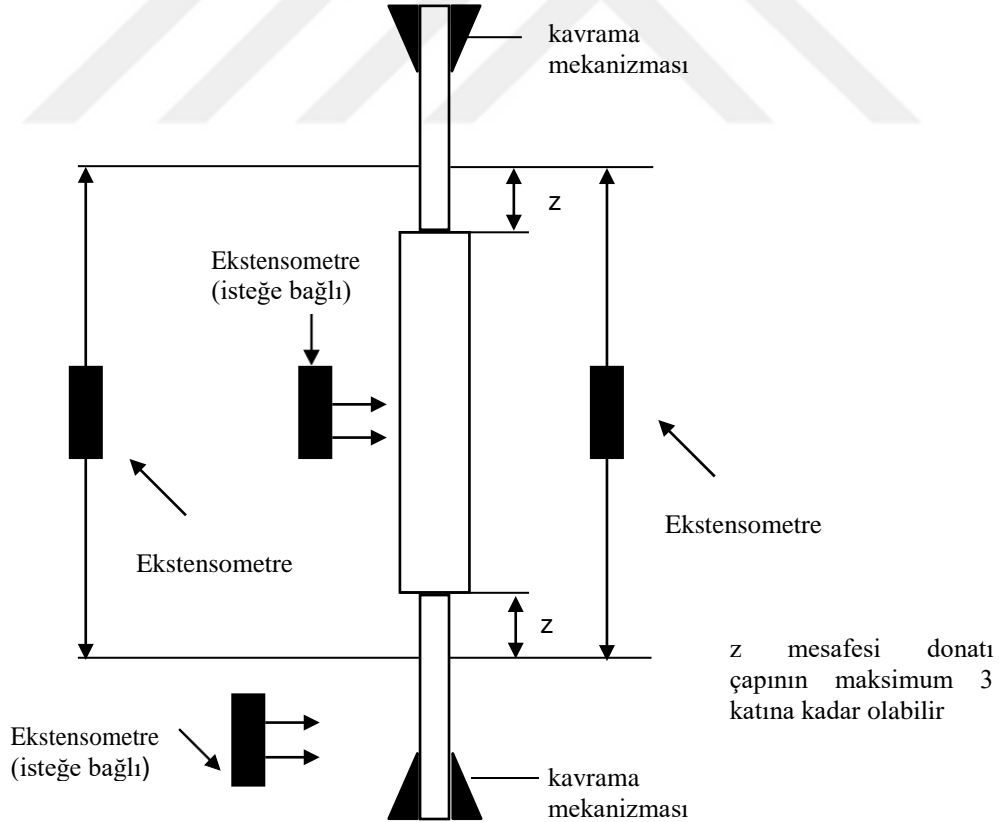
Bu testte donatının akma gerilmesini aşmamak şartı ile, sadece çekme veya çekmeden basınca çevrimsel yüklemeler yapılır. İstenilen çevrim sayısına ulaşıncaya kadar ya da numune akıncaya kadar bu test yapılır. Genellikle köprü, viyadük gibi sıklıkla elastik yük döngülerine maruz kalan yapılarda kullanılan manşonlar için kullanılır.

4.3.6. Sıyrılmaya Testi

Çekme yüklemesi altında manşonla bağlanan donatılarda oluşan sıyrılmayı (plastik hareket) ölçen test yöntemidir. Bu testler tek başına yapılabileceği gibi, iki ya da daha fazla kombine edilerek uygulanabilirler.

4.3.7. Test Ekipmanları

Test cihazları, bileşenlerinin akmasını önlemek için yeterli kapasiteye sahip olmalı ve test sırasında uygulanan çekme veya basınç yüklerinin veya her ikisinin test numunesinin eksenine paralel kalmasını sağlamalıdır. Ekipman, bireysel testler için belirtilen zaman periyotları içinde çevrimsel yükleri uygulayabilmelidir. Numuneler işaretlenebilirlik ve okunabilirlik açısından sorunsuz olmalıdır. Test numunesinin basınç yükleri altında burkulmasını önlemek için uygun araçlar kullanılmalıdır. Test numunesinin etrafında eşit aralıklarla sürekli olarak uzama ölçümü yapan en az iki ekstensometre, manşonun bulunduğu donatılara bağlanacak ve sonuçta ortaya çıkan toplam ölçüm uzunluğu manşonun uzunluğuna eşit olacaktır. İsteğe bağlı olarak ekstensometre deney düzeneğine eklenebilir. Şekil (4.9)'da test düzeneği şematik olarak gösterilmiştir. Numunedeki donatı kısımları eşit uzunlukta, temiz ve yüzeyleri hasarlı olmamalıdır. Hasarlı donatılar testlerde yanıltıcı sonuçlara sebep olabilmektedir. Donatının ve manşonun teknik özellikleri mutlaka not edilmelidir.



Şekil 4.9. Donatı manşonu şematik test düzeneği [15]

5. ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE) 318-11 YÖNETMELİĞİNE GÖRE MEKANİK BİRLEŞİM UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Bu bölümde betonarme kanca uygulamaları yerine mekanik bağlantı kullanımının bindirme boyu ve efektif ankraj derinliği üzerindeki etkisi sayısal örnekler ile incelenmiştir. Mekanik bağlantı elemanı olarak Lenton firmasının Terminator tipi manşonları kullanılmıştır.

5.1. Standart Tek Kanca Yerine Mekanik Birleşim Elemanı Uygulamaları

Bu senaryoda ASTM A615 A1034 (American Society for Testing and Materials) yönetmeliğine tanımlı Grade 60 (S420) ve Grade 80 (S550) sınıfına dahil 11 numaralı (36 mm) kancalı donatı yerine Lenton Terminator EL36D6 model manşon kullanılmıştır. Manşonun tasarım çekme dayanımı N_{ua} 124.800 lbf olarak verilmiştir. ACI 318-11'e göre Grade 60 (S420) sınıfı donatının kancalı donatı uygulamalarında kenetlenme boyu (2.12) bağıntısında yerine yazılırsa;

$$l_{dh} = \left[0,02 \frac{(60.000)(1)}{(1)\sqrt{4.000}} \right] (1,41) = 26,75 \text{ inç}$$

olarak hesaplanır.

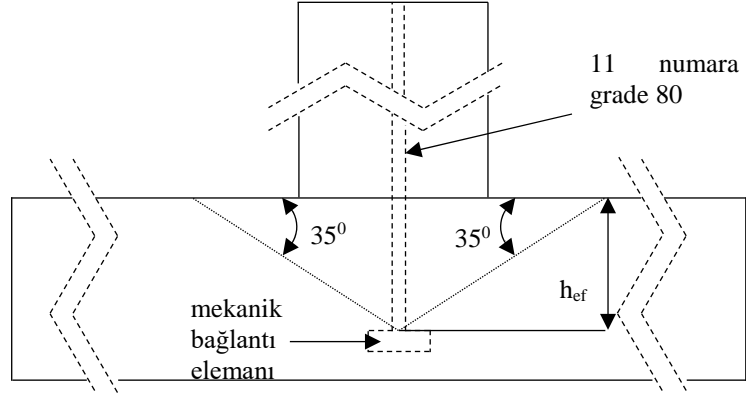
Mekanik bağlantı kullanıldığında kenetlenme boyu (2.13) bağıntısında verilmiştir.

$$l_{dt} = \left[0,16 \frac{(60.000)(1)}{(1)\sqrt{4.000}} \right] (1,41) = 21,4 \text{ inç}$$

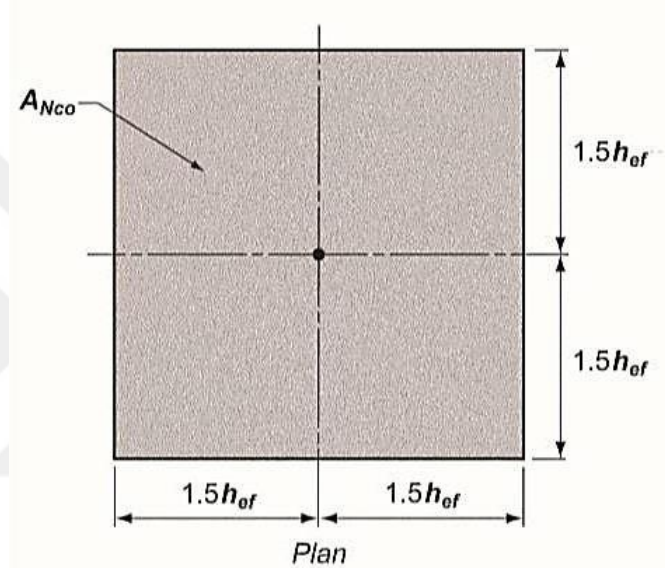
olarak hesaplanır. Grade 60 donatı sınıfı donatılarda mekanik bağlantılarda gereken kenetlenme boyu (l_{dt}), kancalı donatılardaki kenetlenme boyunu (l_{dh}) yaklaşık olarak %80 oranında karşılamıştır. ACI 318-11'de kopma dayanımı (5.1) bağıntısında verilmiştir.

$$N_{cb} = \left[\frac{A_{NC}}{A_{NC0}} \right] \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \quad (5.1)$$

Burada; N_{cb} çekmede beton kopması dayanımı, $\psi_{ed,N}$ çekmeye çalışan ankraj ya da ankraj grupları için kullanılan modifikasyon faktörü, $\psi_{c,N}$ ankrajın bulunduğu bölgede servis yükleri altında kırılma çatlak oluşumuna bağlı bir katsayı (kırılma çatlak yoksa 1,25 alınır), $\psi_{cp,N}$ betona sonradan yapılan ankraj uygulamaları için belirlenen bir katsayı (yerinde dökümde 1 alınır), A_{NC0} ankrajın merkezinden tahmini göçme yüzeyine olan uzaklıktaki alandır (şekil 5.2) , N_b bir ankrajın çatlama betondaki kopma dayanımıdır.



Şekil 5.1. Standart kanca uygulaması yerine mekanik bağlantı elemanı uygulaması [18]



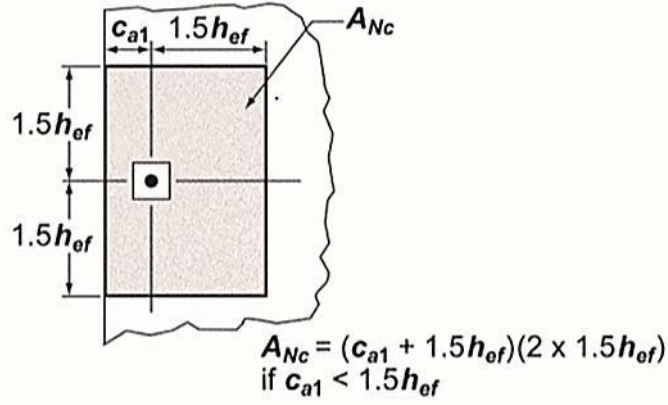
Şekil 5.2. Tek ankrajlı uygulamalarda beton göçme alanı A_{Nco} hesabı [12]

Göçme alanı (5.3) ve (5.4) bağıntılarında verilmiştir.

$$A_{NC} = n \cdot A_{NCO} \quad (5.3)$$

$$A_{NCO} = 9 \cdot (h_{ef})^2 \quad (5.4)$$

Burada n ankraj sayısı, h_{ef} efektif ankraj derinliği, A_{NC} grup halinde çalışan birden fazla ankrajların merkezinden göçme yüzeyine olan uzaklıktaki alandır.



Şekil 5.3. A_{Nc} alanı hesabı [12]

Efektif ankraj derinliği h_{ef} (5.5) bağıntısı ile verilmiştir.

$$h_{ef} = \left[\frac{N_{ua}}{\varphi \left[\frac{A_{Nc0}}{A_{Nc}} \right] \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} k_c \lambda_a \sqrt{f'_c}} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (5.5)$$

Burada N_{ua} bir ankraja etki eden tasarım çekme kuvveti, λ_a hafif beton için modifikasyon faktörü (yerinde yapılan ankrajlar için 1, epoksi ile sonradan yapılan ankrajlar için 0,8 alınır), k_c çekmede beton kopması dayanımı katsayısı (yerinde yapılan ankrajlar için 24, sonradan yapılan ankrajlar için 17 alınır, üst sınır 24'tür), $\psi_{ed,N}$ çekmeye çalışan ankraj ya da ankraj gruplarının kenar etkisi için kullanılan modifikasyon katsayısı, $\psi_{c,N}$ ankrajın bulunduğu bölgede servis yükleri altında kırılma çatlakları oluşumu ile ilgili katsayı, $\psi_{cp,N}$ sonradan yapılan ankrajlar için kullanılan bir katsayı ve

φ ankraj dayanım azaltma katsayısıdır. Değerler (5.5) bağıntısında yerine yazıldığında

$$h_{ef} = \left[\frac{124.800}{0,701,0(1,25)(1,0) (24)(1,0)\sqrt{4.000}} \right]^{\frac{2}{3}} = 20,7 \text{ inç}$$

Efektif ankraj derinliği değeri, $11 \leq h_{ef} \leq 25$ olması durumunda, klasik yöntemin aksine ACI 318-11'de alternatif çözümler verilmiştir. Bu bağıntı (5.6)'da verilmiştir. k_c değeri 16 alınması koşulu ile diğer bütün değişkenlerde aynı değerler kullanılır.

$$h_{ef} = \left[\frac{N_{ua}}{C} \right]^{\frac{3}{5}} \quad (5.6)$$

$$\varphi \left[\frac{1}{A_{NCO}} \right] \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} 16 \lambda_a \sqrt{f'_c}$$



Değerler sırası ile yerine yazıldığında efektif ankraj derinliği h_{ef}

$$h_{ef} = \left[\frac{124.800}{0,701,0(1,25)(1,0)(16)(1,0)\sqrt{4.000}} \right]^{\frac{3}{5}} = 19,5 \text{ inç}$$

olarak hesaplanır.

Ankrajın çekilme gerilmesi N_{pn} (5.7) bağıntısında verilmiştir. N_{pn} değeri, ankrajın betondan tamamen çıkması için gereken gerilmeden farklı olarak, ankrajı çekerken betonda oluşan ilk çatlakta gözlemlenen gerilme değeridir.

$$N_{pn} = \psi_{c,p} \cdot N_p \quad (5.7)$$

$$N_p = 8 \cdot A_{brg} \cdot f'_c \quad (5.8)$$

Burada N_p tek bir ankrajdaki çekilme gerilmesi değeri, A_{brg} kullanılan mekanik bağlantı elemanının taşıma alanı ve $\psi_{c,p}$ ankrajın bulunduğu bölgede servis yükleri altında kırılma çatlak oluşuma bağlı (kırılma çatlak oluşuyorsa 1, oluşmuyorsa 1,4 alınır) bir katsayıdır. (5.7) ve (5.8) bağıntılarında değerler yerine yazıldığında ankraj çekme gerilmesi;

$$N_p = 8 \cdot (6,74) \cdot (4.000) \cdot (1,4) = 301.952 \text{ lb}$$

olarak hesaplanır. Yük azaltma katsayısı göz önünde bulundurulduğunda bile ankraj çekme gerilmesi değeri, tasarım çekme kuvveti değerinden daha büyük olmaktadır.

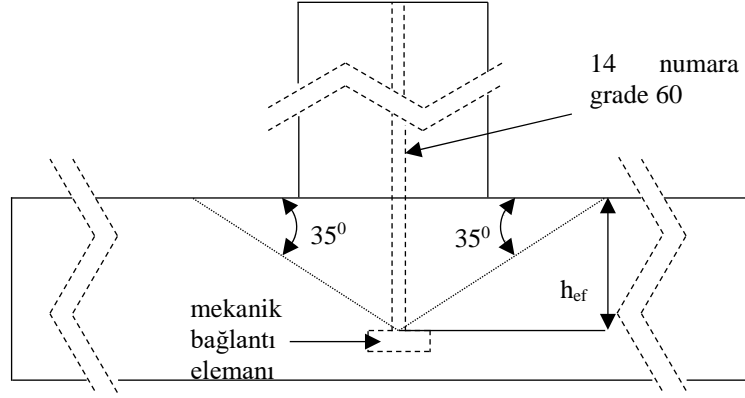
$$\phi N_{pn} \geq N_{ua} \quad (5.9)$$

$$(0,7)(301.952) \text{ lbf} \geq (124.800) \text{ lbf}$$

$$211.366 \text{ lbf} \geq (124.800) \text{ lbf}$$

ACI 318-11'e göre yanal yüzey gerilmesinin efektif ankraj derinliğinin kritik kenar mesafesinin 2,5 katından büyük olduğu ($h_{ef} > 2,5c_{a1}$) durumlarda göz önünde bulundurulmalıdır. Bu örnekte N_{sb} değerinin hesaplanmasına gerek kalmamıştır.

İkinci bir senaryoda ASTM A615 yönetmeliğine tanımlı Grade 60 (S420) sınıfına dahil 14 numaralı (45 mm) kancalı donatı yerine Lenton Terminator EL431D6 model manşon kullanılmıştır. Manşonun tasarım çekme dayanımı N_{ua} 135.000 lbf olarak verilmiştir.



Şekil 5.4. Standart kanca uygulaması yerine manşon uygulaması [18]

Burada efektif ankraj derinliği h_{ef} (5.5) bağıntısında değerler yerine konulduğunda;

$$h_{ef} = \left[\frac{135.000}{0,701,0(1,25)(1,0) (24)(1,0)\sqrt{4.000}} \right]^{\frac{2}{3}} = 21,8 \text{ inç}$$

olarak hesaplanır. Efektif ankraj derinliği değeri, $11 \leq h_{ef} \leq 25$ olmasından dolayı (5.6) bağıntısı ile alternatif efektif ankraj derinliği hesaplanır.

$$h_{ef} = \left[\frac{135.000}{0,701,0(1,25)(1,0) (16)(1,0)\sqrt{4.00}} \right]^{\frac{3}{5}} = 20,4 \text{ inç}$$

Çekilme gerilmesi N_{pn} değeri (5.7) ve (5.8) bağıntıları kullanılarak hesaplanır.

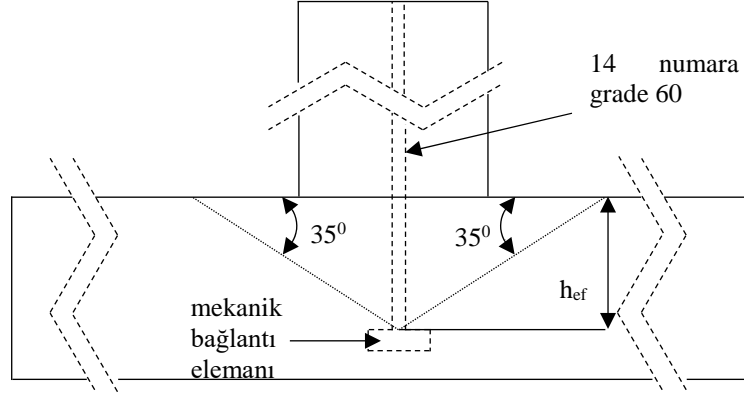
$$N_p = 8. (10.316). (4.000). (1,4) = 462.157 \text{ lb}$$

Yük azaltma katsayısı göz önünde bulundurulduğunda bile ankraj çekme gerilmesi değeri, tasarım çekme kuvveti değerinden daha büyük olmaktadır. (5.9) bağıntısı ile kontrol edilir.

$$(0,7)(462.157)lbf \geq (135.000)lbf \quad (323.510)lbf \geq (135.000)lbf$$

Yanal yüzey gerilimi efektif ankraj derinliğinin kritik kenar mesafesinin 2,5 katından büyük olduğu ($h_{ef} > 2,5 c_{a1}$) durumlarda göz önünde bulundurulmalıdır. Bu örnekte N_{sb} değerinin hesaplanmasına gerek kalmamıştır.

Üçüncü bir senaryoda ASTM A615 yönetmeliğine tanımlı Grade 60 sınıfına dahil 18 numaralı (57,3 mm) kancalı donatı yerine Lenton Terminator EL57TD6 model manşon kullanılmıştır. Manşonun tasarım çekme dayanımı N_{ua} 240.000 lbf olarak verilmiştir.



Şekil 5.5. Standart kanca uygulaması yerine manşon uygulaması [18]

Burada efektif ankraj derinliği h_{ef} (5.5) bağıntısında değerler yerine konulduğunda;

$$h_{ef} = \left[\frac{240.000}{0,701,0(1,25)(1,0) (24)(1,0)\sqrt{4.000}} \right]^{\frac{2}{3}} = 32 \text{ inç}$$

Efektif ankraj derinliği değeri, $11 \leq h_{ef} \leq 25$ olmasından dolayı (5.6) bağıntısı ile alternatif efektif ankraj derinliği hesaplanır.

$$h_{ef} = \left[\frac{240.000}{0,701,0(1,25)(1,0) (16)(1,0)\sqrt{4.000}} \right]^{\frac{3}{5}} = 28,8 \text{ inç}$$

N_{pn} değeri (5.7) ve (5.8) bağıntıları kullanılarak hesaplanır.

$$N_p = 8. (16.669). (4.000). (1,4) = 746.771 \text{ lbf}$$

Yük azaltma katsayısı göz önünde bulundurulur ve (5.9) bağıntısı ile N_{pn} kontrol edilir.

$$(0,7)(746.771) \text{ lbf} \geq (240.000) \text{ lbf}$$

$$(522.740) \text{ lbf} \geq (135.000) \text{ lbf}$$

5.2. Standart Kanca Grupları Yerine Mekanik Birleşim Elemanı Uygulamaları

Bu senaryoda ASTM A615 yönetmeliğine tanımlı Grade 80 sınıfına dahil 11 numaralı (36 mm) kancalı donatı grubu yerine Lenton Terminator EL36D6 manşon kullanılmıştır. Ankraj yerine kullanılan mekanik bağlantı grubunun tasarım çekme dayanımı N_{ua} 249.600 lbf olarak verilmiştir (her bir mekanik bağlantı için N_{ua} 62.400 lbf) Tek bir ankrajın kopma dayanımı N_b (5.10) bağıntısı ile verilmiştir.

$$N_b = k_c \lambda_a \sqrt{f' h_{ef}^{1.5}} \quad (5.10)$$

Efektif ankraj derinliği değeri, $11 \leq h_{ef} \leq 25$ olması durumunda, k_c değeri 16 alınması koşulu ile diğer bütün değişkenlerde aynı değerler ile (5.11) bağıntısı kullanılır.

$$N_b = 16 \lambda_a \sqrt{f' h_{ef}^{1.5}} \quad (5.11)$$

$$N_b = 16 \cdot (1,0) \cdot \sqrt{4.000 (20^{1.5})} = 149.119 \text{ lbf} \quad (5.12)$$

Burada f'_c beton dayanımı, λ_a hafif beton için modifikasyon faktörü, h_{ef} efektif ankraj derinliğidir. Değerler (5.1) bağıntısında yerine yazıldığında;

$$N_{cb} = 1,0(1,25)(1,0)(149.119) \text{ lbf} \quad (5.13)$$

$$N_{cb} = 186.399 \text{ lbf} \quad (5.14)$$

olarak hesaplanır. Yük azaltma katsayısı göz önünde bulundurularak kopma dayanımı kontrolü (5.9) bağıntısına göre yapılır.

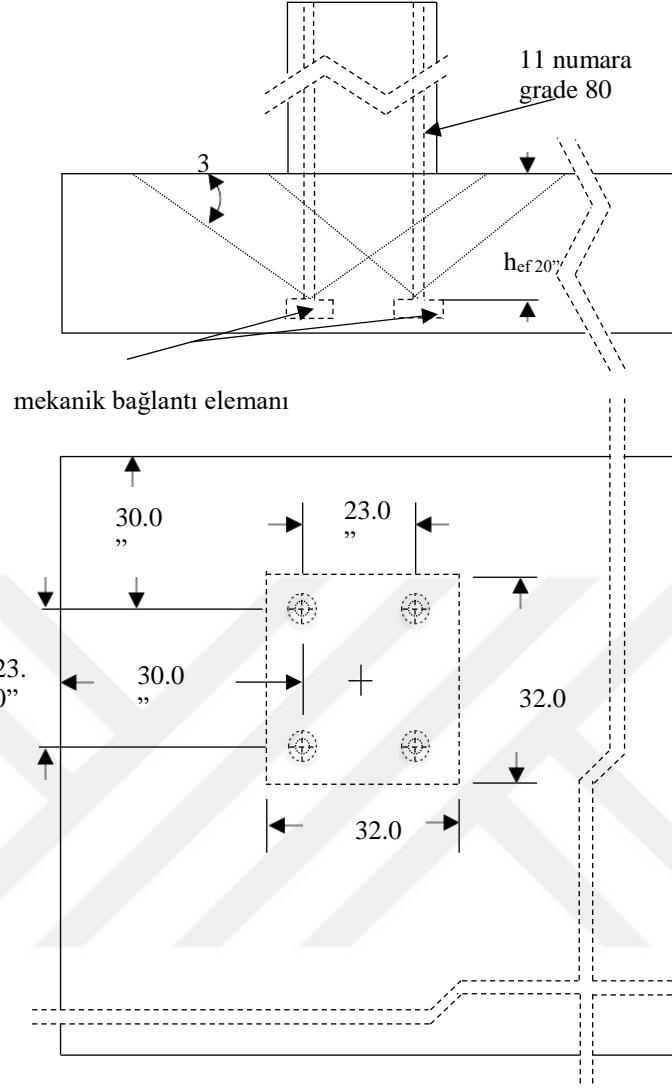
$$(0,7)(186.339) \text{ lbf} \geq (62.400) \text{ lbf}$$

$$(130.479) \text{ lbf} \geq (62.400) \text{ lbf}$$

Grup halinde çalışan ankrajlar için kopma dayanımı N_{cgb} Denklem (5.12) bağıntısı ile hesaplanır.

$$N_{cgb} = \left[\frac{A_{NC'}}{A_{NC0}} \right] \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \quad (5.12)$$

Burada (5.3) bağıntısında farklı olarak, $A_{NC'}$ grup ankrajlarda beton göçme alanı, A_{NC0} grup ankrajlarda beton hesap göçme alanıdır.



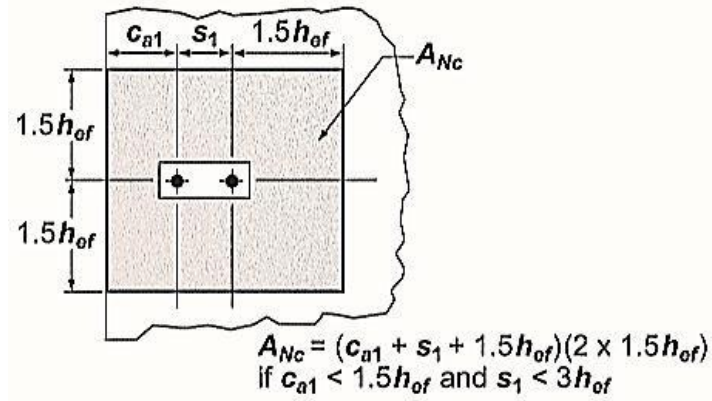
Şekil 5.6. Standart grup kanca uygulaması yerine manşon uygulaması [18]

Grup ankrajlarda beton göçme alanı şekil (5.7) 'de verilmiştir. Bu senaryoda c_{a1} (30") ve s_1 (23") değerleri $1,5 h_{ef}$ ($1,5 \times 20 = 30$ ") değerinden küçük olduğu için A_{NC} beton göçme alanı (5.13) bağıntısı ile hesaplanır.

$$A'_{NC} = (c_{a1} + s_1 + 1,5 h_{ef})^2 \quad (5.13)$$

Burada s_1 ankrajların merkezleri arasındaki mesafe ve c_{a1} ankraj merkezi ile serbest kenar arasındaki mesafedir. Değerler (5.13) bağıntısında yerine yazıldığında,

$$A'_N = [30 + 23 + 1,5(20)]^2 = 6.889 \text{ in}^2$$



Şekil 5.7. İkili grup ankraj uygulamalarında göçme alanı hesabı [12]

Hesap göçme alanı A_{nco} (5.4) bağıntısı yardımı ile hesaplanır.

$$A_{NCO} = 9. (20)^2 = 3.600 \text{ in}^2$$

Bulunan değerler (5.12) bağıntısına yazıldığında ankrajlı gruplarda kopma dayanımı N_{cgb}

$$N_{cgb} = \left[\frac{6.889}{3.600} \right] (1,0)(1,0)(1,25)(1,0)(149.119) = 356.767 \text{ lbf}$$

Grup halinde çalışan ankrajların çekme kuvveti altında beton kopma dayanım ile dayanım azaltma katsayısının çarpımı, tasarım çekme dayanımından büyük ya da eşit olmalıdır. (5.9) bağıntısına göre kontrol yapıldığında;

$$(0,7)(356.767) \text{ lbf} \geq (249.600) \text{ lbf} \quad (249.737) \text{ lbf} \geq (249.600) \text{ lbf}$$

Çekilme gerilmesi N_{pn} değeri (5.7) ve (5.8) bağıntıları kullanılarak hesaplanır.

$$N_{pn} = 8. (6.735). (4.000). (1,4) = 301.728 \text{ lbf}$$

Kopma dayanımında olduğu gibi çekilme gerilmesinde de dayanım kontrolü (5.9) bağıntısına göre hesaplanır.

$$(0,7)(301.728) \text{ lbf} \geq (62.400) \text{ lbf} \quad (211.210) \text{ lbf} \geq (62.400) \text{ lbf}$$

Çizelge 5.1. *Kancalı donatılarda kenetlenme boyu*

Kancalı Donatılarda Kenetlenme Boyu l_{dh} (ACI 318-11)									
Donatı Çapı		Beton Basınç Dayanımı (psi) / (kN)							
		3.000 /20,7		4.000 /27,6		5.000 /34,5		6.000 /41,4	
ASTM	mm	l_{dh}	l_{dh} (cm)	l_{dh}	l_{dh} (cm)	l_{dh}	l_{dh} (cm)	l_{dh}	l_{dh} (cm)
		(inç)	(inç)	(inç)	(inç)	(inç)	(inç)	(inç)	(inç)
#4	12	11,0	27,9	9,5	24,1	8,5	21,6	7,7	19,6
#5	16	15,3	38,9	13,3	33,8	10,6	26,9	9,7	24,6
#6	20	16,4	41,7	14,2	36,1	12,7	32,3	11,6	29,5
#7	22	19,2	48,8	16,6	42,2	14,8	37,6	13,6	34,5
#8	25	21,9	55,6	19,0	48,3	17,0	43,2	15,5	39,4
#9	28	24,7	62,7	21,4	54,3	19,1	48,5	17,5	44,4
#10	32	27,8	70,6	24,1	61,2	21,6	54,9	19,7	50
#11	36	30,9	78,4	26,8	68,1	23,9	60,7	21,8	55,4

Çizelge 5.2. *Kanca yerine mekanik bağlantı kullanılan donatılarda kenetlenme boyu*

Kanca Yerine Mekanik Bağlantı Kullanılan Donatılarda Kenetlenme Boyu l_{dh} (ACI 318-11)									
Donatı Çapı		Beton Basınç Dayanımı (psi) / (kN)							
		3.000 /20,7		4.000 /27,6		5.000 /34,5		6.000 /41,4	
ASTM	mm	l_{dh}	l_{dh} (cm)	l_{dh} (inç)	l_{dh} (cm)	l_{dh}	l_{dh} (cm)	l_{dh} (inç)	l_{dh} (cm)
		(inç)	(inç)	(inç)	(inç)	(inç)	(inç)	(inç)	(inç)
#4	12	8,8	22,4	7,6	19,3	6,8	17,3	6,2	15,8
#5	16	11,0	27,9	9,5	24,1	8,5	21,6	7,7	19,6
#6	20	13,1	33,3	11,4	28,9	10,2	25,9	9,3	23,6
#7	22	15,3	38,9	13,3	33,8	11,9	30,2	10,8	27,4
#8	25	17,5	44,5	15,2	38,6	13,6	34,5	12,4	31,5
#9	28	19,8	50,3	17,1	43,4	15,3	38,9	14,0	35,5
#10	32	22,3	56,6	19,3	49	17,2	43,7	15,7	39,9
#11	36	24,7	62,7	21,4	54,4	21,4	54,3	17,5	44,4

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇ

Betonarme yapılarda donatı sürekliliğinin sağlanması için bindirmeli, kaynaklı ve mekanik birleşimler kullanılmaktadır. Bindirmeli birleşimler farklı ülkelerin yönetmeliklerinde farklı şekillerde formüle edilmiş ve açıklanmıştır. Beton örtüsü, donatı çapı, betonda donatının konumu ve yoğunluğu gibi faktörler bindirme ve kenetlenme boyunu etkilemektedir. Bindirmeli birleşimlerden sonra en yaygın kullanılan manşon adı verilen mekanik birleşimlerdir. Kancalı donatı yerine kullanılan mekanik bağlantı elemanının bindirme boyunu ve efektif ankraj derinliğini gözle görülür ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Malzeme miktarı azaldığından dolayı yapı maliyeti de önemli ölçüde etkilenecektir. Mekanik birleşimler kullanıldığında kenetlenme ve bindirme boyu farklı ülkelerin yönetmeliklerinde (ACI 318-08, Eurocode 2-2004) detaylı olarak açıklanmış ve geniş yer kaplamışlardır. Mekanik birleşimlerin uygulamada verimli olarak kullanılabilmesi için test metodlarının ve prosedürlerinin de detaylıca yönetmeliklerde verilmesi gereklidir. ISO 15835-1 ve 2 ve ASTM A1034 yönetmelikleri mekanik birleşim araçları ve test prosedürleri hakkında dünya çapında yaygın olarak kullanılan yönetmeliklerdir. Ülkemizde ise mekanik bağlantı elemanları TBDY 18 Bölüm 8 EK 8-A'da verilmiştir.

6.2. ÖNERİLER

Global olarak yaygın kullanılan yönetmeliklere bakıldığında mekanik bağlantı elemanlarına ve test prosedürlerine geniş yer ayrıldığı saptanmıştır. Ülkemizde kullanılan TBDY 18 yönetmeliğinde Bölüm 8 EK-8A'da;

- Donatı ekleme araçları ile ilgili kesitte sağlanan dayanım ve süneklik kapasitesine bağlanan eleman/elemanların dayanım ve süneklikleri ile uyumlu olduğunun nasıl gösterileceğine dair bir açıklama, test ya da yöntem belirtilmelidir. (Ek 8A-1)
- Eklerde kesme kuvveti kontrolünün nasıl yapılacağına dair bir açıklama ve yöntem belirtilmelidir. (Ek 8A-2)
- Mekanik bağlantılarda kullanılan yüksek dayanımlı bulonlara ardgerme uygulanması durumunda deprem etkisinde elastik kaldıklarının nasıl gösterileceğine dair bir açıklama ve yöntem belirtilmesi gereklidir. (Ek 8A-4)

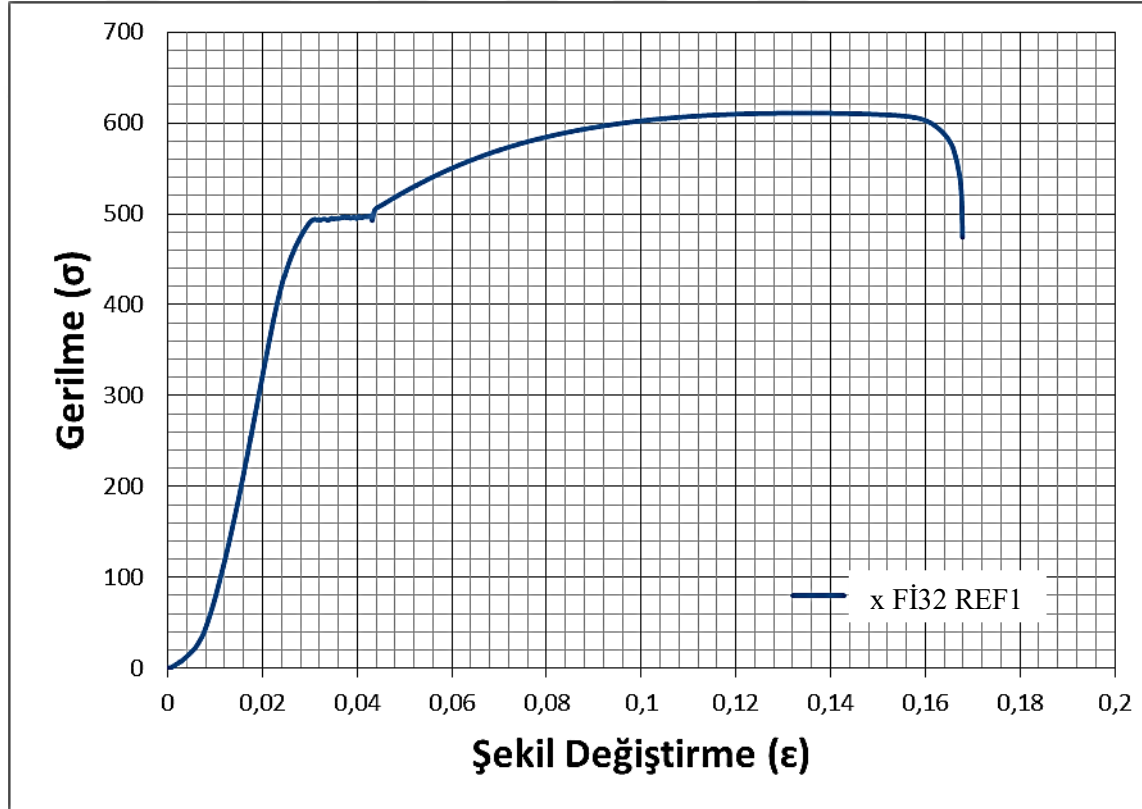
- Yönetmelikte iki adet donatı ile aralarına yerleştirilmiş ekleme aracından oluşan numuneye çekme, basınç, sıyırılma, yorulma ve çevrimsel yükleme deneyleri uygulanması istenmiştir. Fakat bu testlerde sıyırılma testlerinin nasıl yapılacağı ve hangi sınırlarda kalması gerektiği belirtilmesi gereklidir. (Ek 8A-6)
- Yeterli sayıdaki çekme deneyi belirlenmiş donatı akma dayanımı, ekleme aracı üreticisinin beyan ettiği akma dayanımından küçük ve eşitse çevrimsel yükleme deneyinin uygulanmasının gerek olmadığı yönetmelikte verilmiştir. Yeterli sayıda ifadesi belirsizdir. Ek 8A-6 maddesinde tüm testlerin uygulanması gerekliliği belirtilmişken bu madde ile sadece çekme testinin uygulanmasının yeterli olacağı söylenmiştir. (Ek 8A-8)
- Yönetmelikte farklı tipteki her donatı ekleme aracı için, toplam kullanım adedinin %2'sinin deneye tabi tutulacağı ve bu sayının 5 adetten az olmayacağı belirtilmiştir. Burada %2 değeri TBDY 2007'de verilen kaynaklı birleşimler için gereken test numunesi miktarıdır ve uygulanabilirliği çok zordur. Bu sebeple “her çap ve tipten birleşim elemanı üzerinde 1 set (3 adet deney numunesi-1 parti) deney yapılması önerilir.
- Birleşim elemanlarının şantiyeye nakli, depolanması ve ilgili testlere tabi tutulması parti kapsamında gerçekleştirilmelidir. Bir parti uluslararası standartlarda belirtildiği (ISO 15835-1) gibi her 1000 adet mekanik birleşim için (aynı üretim koduna sahip, aynı çaplardaki birleşimler için üretilmiş, üretim süreçlerinde değişkenlik olmayan) ürünü temsil etmelidir.

KAYNAKÇA

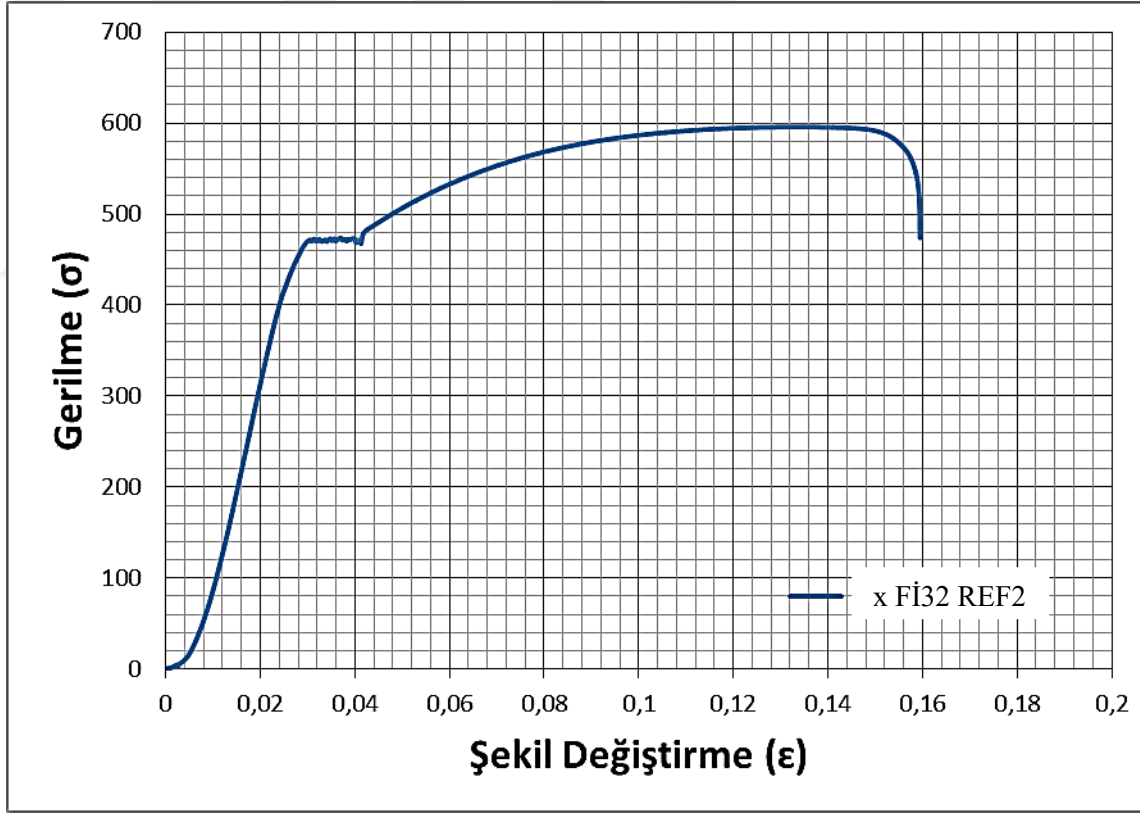
- [1] Adachi T., Khanh N., Konishi D., Sanada Y. (2011). Experimental Study on Intensive Shear Reinforcement for R/C Beams with Mechanical Couplers. Fib Symposium Prague, 547-550.
- [2] Bai A., Ingham J. and Hunt R. (2003). Assessing the seismic performance of reinforcement coupler systems, Pacific Conference on Earthquake Engineering, paper number 035.
- [3] Bureau of Indian Standards (2010). Reinforcement Coupler for Mechanical Splices of Bars of Concrete Reinforcement, Concrete Reinforcement Sectional Committee.
- [4] Erico (2016). Mechanical vs. Lap Splices in Reinforced Concrete Construction.
- [5] Fallon J. (2005). Testing of Reinforcing Bar Couplers. Concrete. Apr 2005; 39, 4; ABI/INFORM Complete.
- [6] Hurd M.K. (1988). Mechanical vs. Lap Splicing.
- [7] Grey C.E., Hager K.P., Rowell S.P. Woodson S.C. (2009). High Strain-Rate Testing of Mechanical Couplers. Engineering Research and Development Center, US Army Corps of Engineers.
- [8] McCabe S.L. (2011). The Performance of Mechanical Splices. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Kansas, USA.
- [9] Sim, J. (2008). Valuation of Mechanical Performance of Newly Developed Up-Set Coupler. The 3rd ACF International Conference ACF/VCA.
- [10] TS500 (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [11] Eurocode-2 (2004). EN 1992-1-1: 2004 (E) Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings.
- [12] ACI 318-11. (2011). Building Code Requirements for Structural Concrete. ACI, Farmington Hills
- [13] ISO 15835-1 (2009). Steels for the Reinforcement of Concrete – Reinforcement Couplers for Mechanical Splices of Bars – Part 1: Requirements.
- [14] ISO 15835-1 (2009). Steels for the Reinforcement of Concrete – Reinforcement Couplers for Mechanical Splices of Bars – Part 1: Test Methods.

- [15] ASTM A1034-05 (2007). Standard Test Methods for Testing Mechanical Splices for Steel Reinforcing Bars, West Conshohocken-PA.
- [16] TBDY (2019). Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar
- [17] Topçu A. (2018). Betonarme 2 Ders Notları, Osmangazi Üniversitesi. http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Betonarme2.htm. (18.02.2018)
- [18] Erico (2018). nVent Lenton Terminator for Rebar Anchorage. <http://www.erico.com/catalog/literature/CP7E-WWEN.pdf>
- [19] ACI Committee 439.3R (1991). Mechanical Connections of Reinforcing Bars, ACI Structural Journal, American Concrete Institute, Detroit-MI.
- [20] **http-1:** <http://www.walcoom.com/products/architecturalmesh/construction-materials/steel-reinforcing-bar.html>
- [21] TS 708 (2010). Çelik- Betonarme İçin – Donatı Çeliği. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [22] **http-2:** <http://www.crsi.org/index.cfm/steel/lap>
- [23] **http-3:** <http://www.crsi.org/index.cfm/steel/splices>
- [24] BAR-US (2014). Mechanical Rebar Solutions. http://www.volcantec.com/images/kataloglar/barus_brochure_eng2014.pdf
- [25] Erico (2018). nVent Lenton Mechanical Rebar Splicing Systems. <http://www.erico.com/catalog/literature/RSB-WWEN.pdf>
- [26] **http-4:** <https://www.serdarkorkut.com/2018/01/27/sn-wohler-egrisi-nedir/>

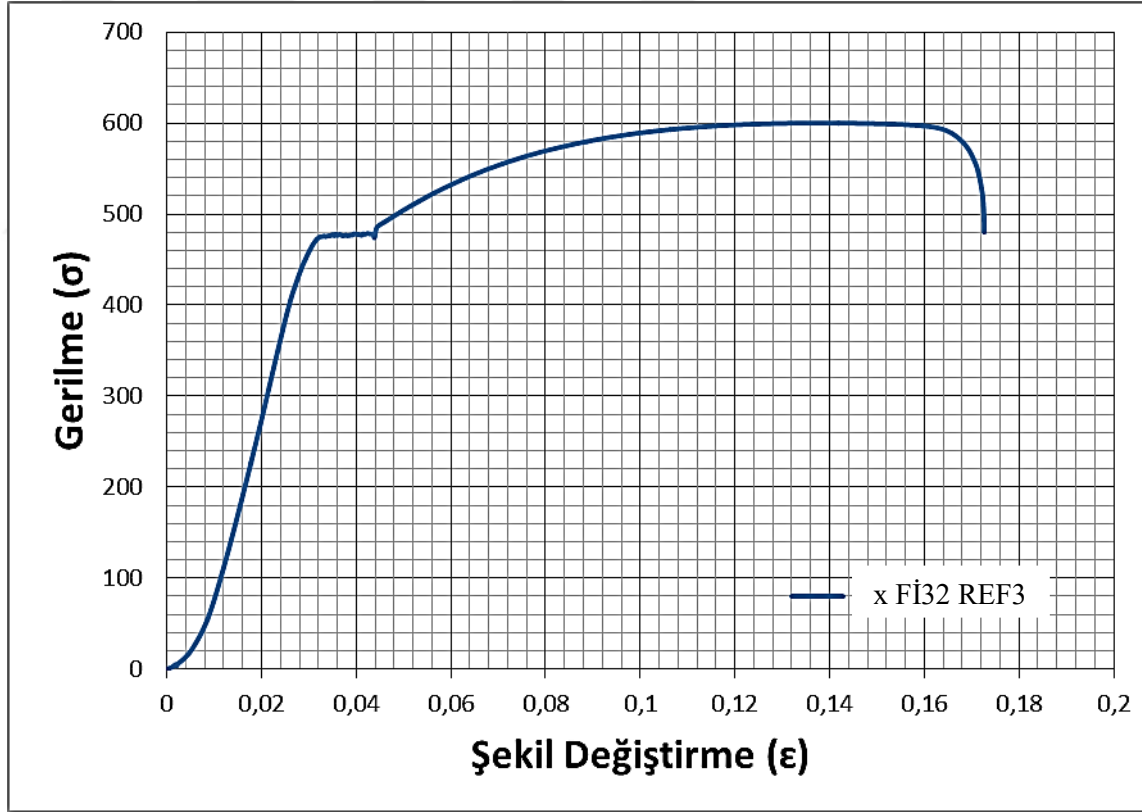
EK A: Monotonik Çekme Deneyi Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği ve Deney Sonrası Kopma Görüntüsü Teknik Rapor



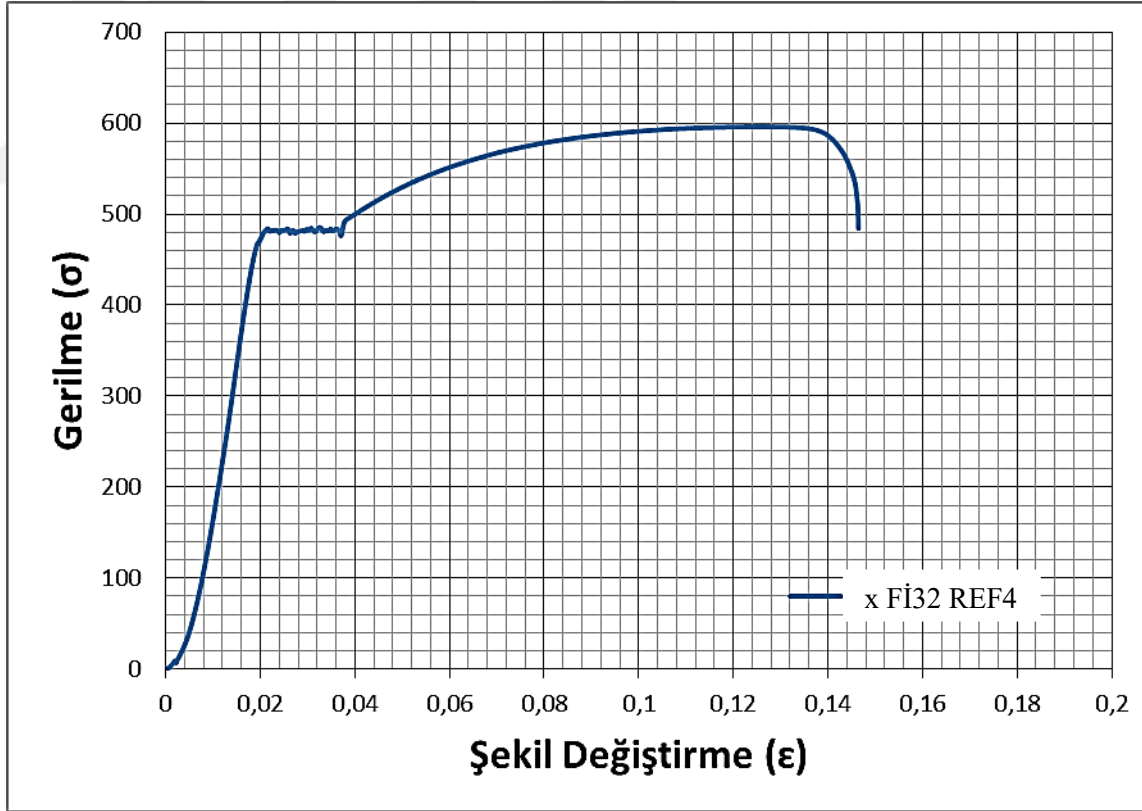
Şekil A.1. x firmasına ait Ø32 referans numunesi-1 monotonik çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



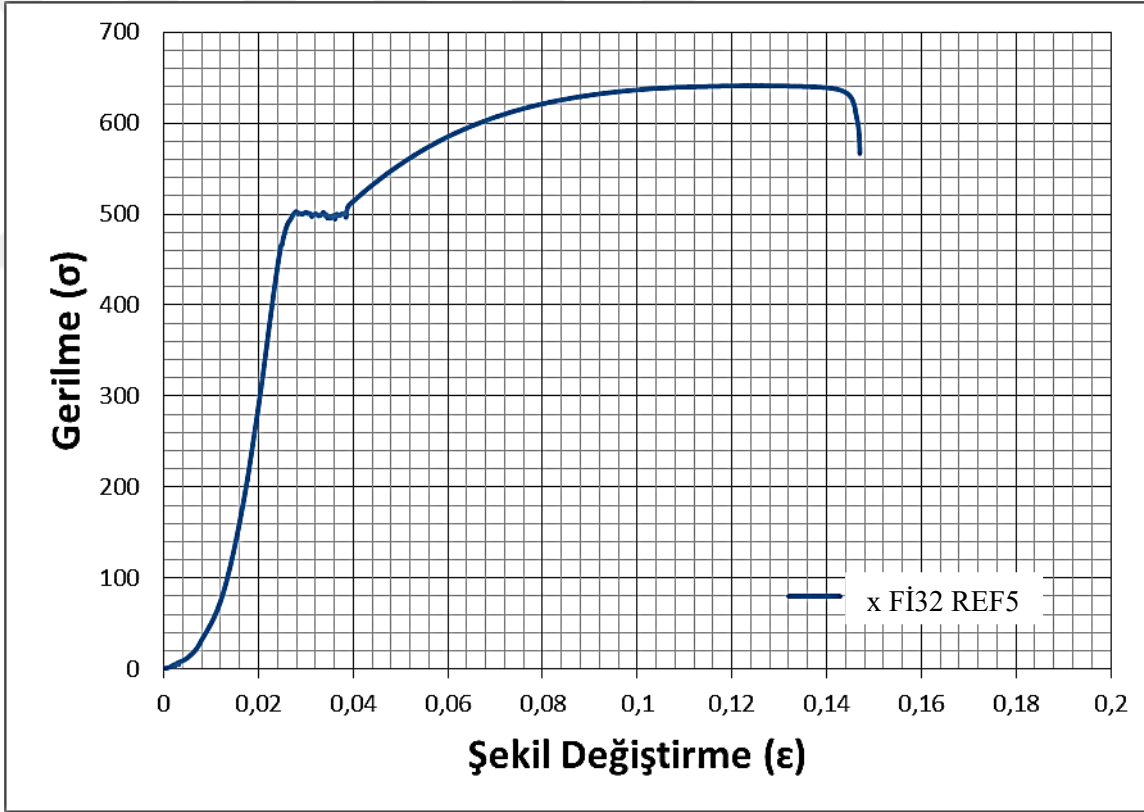
Şekil A.2. x firmasına ait Ø32 referans numunesi-2 monotonik çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



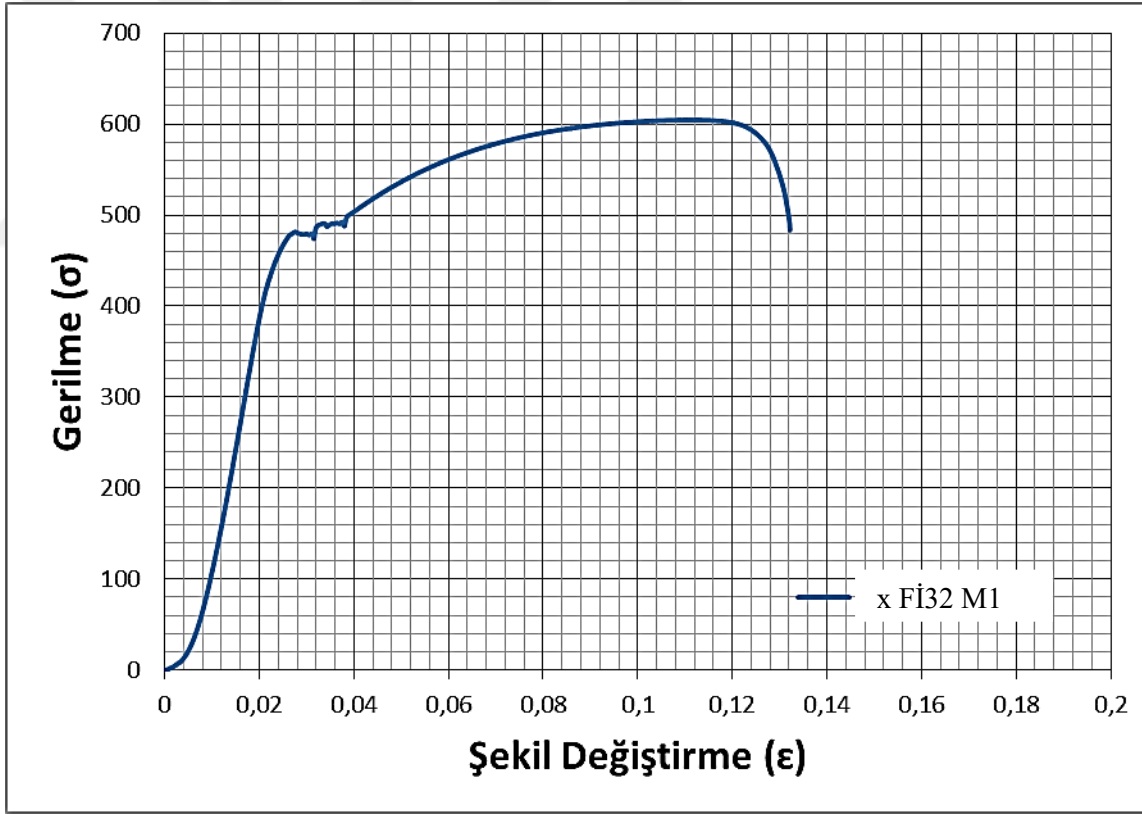
Şekil A.3. x firmasına ait Ø32 referans numunesi-3 monotonic çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



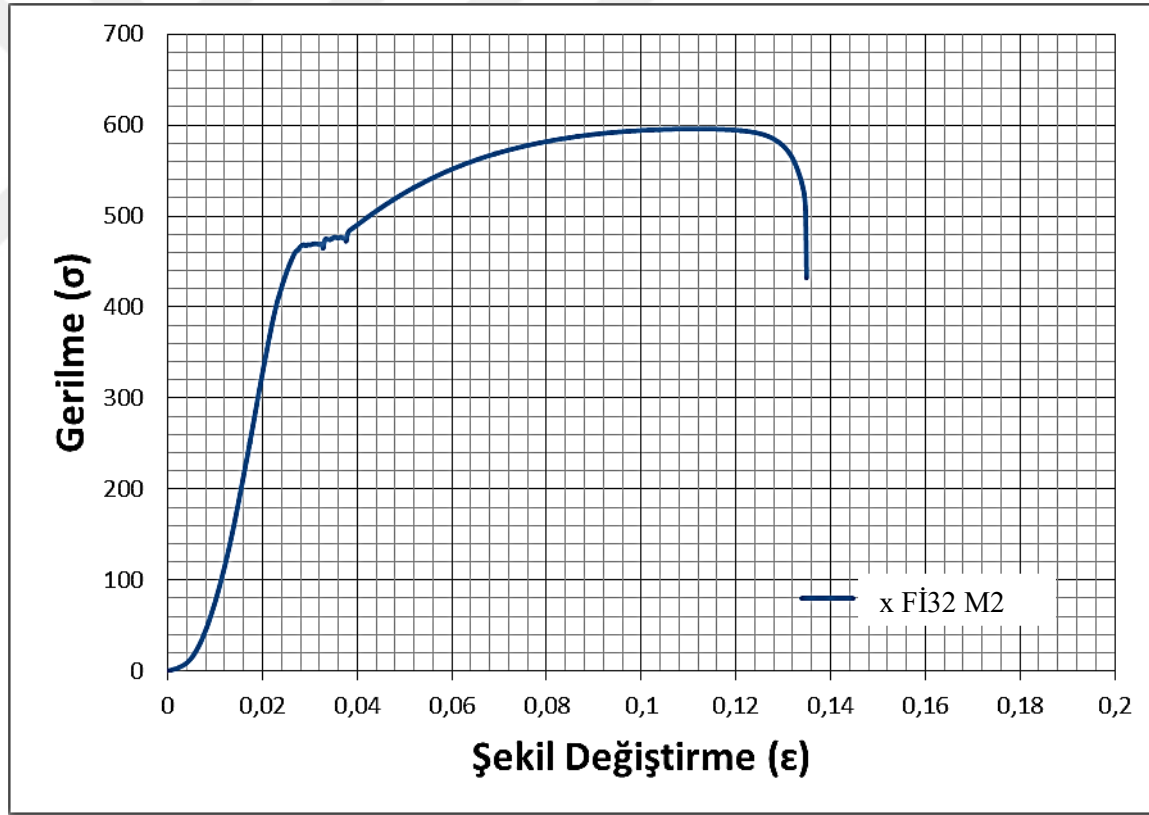
Şekil A.4. x firmasına ait Ø26 referans numunesi-4 monotonik çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



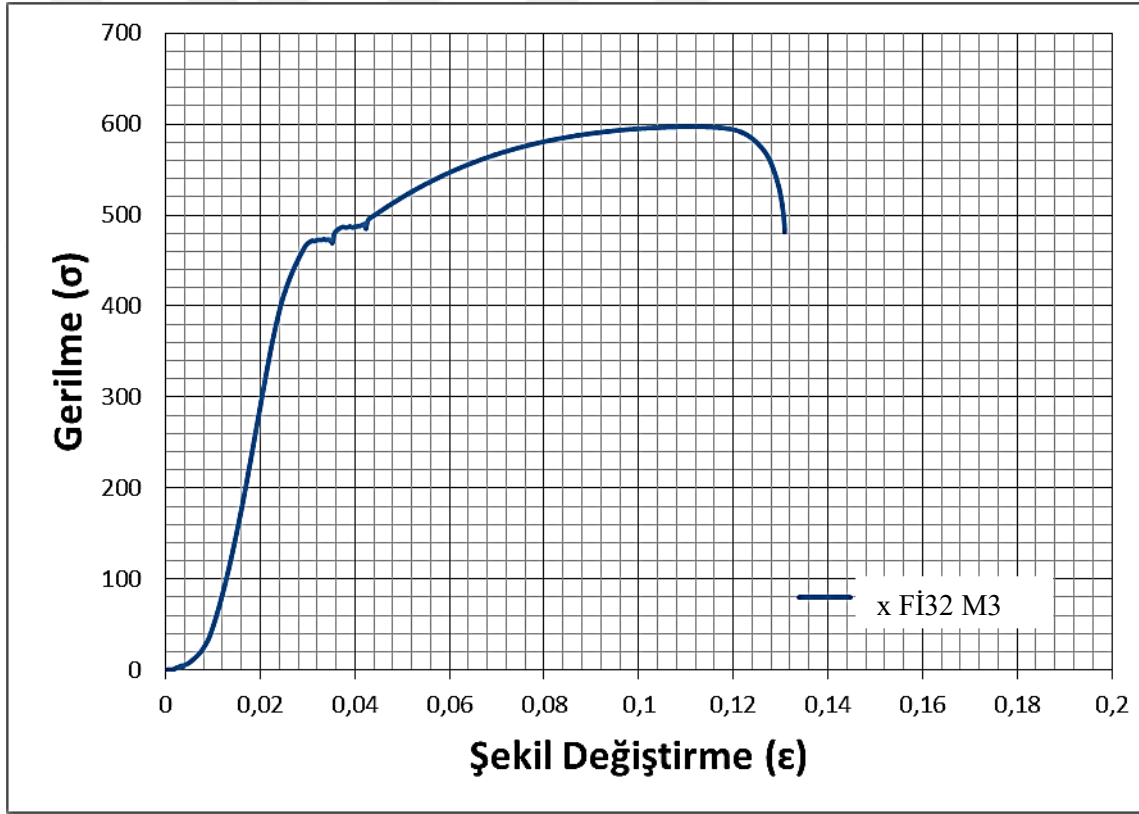
Şekil A.5. x firmasına ait Ø26 referans numunesi-5 monotonic çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



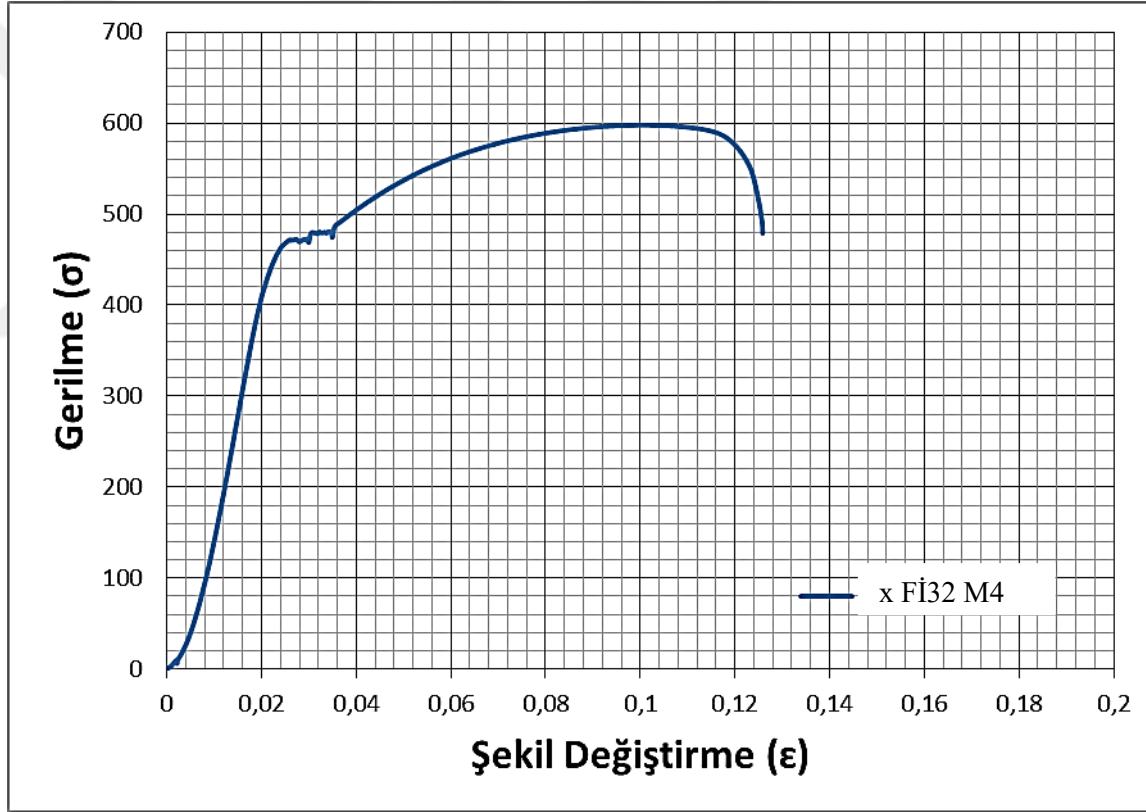
Şekil A.6. x firmasına ait Ø32 MANŞONLU_1 numunesi monotonic çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



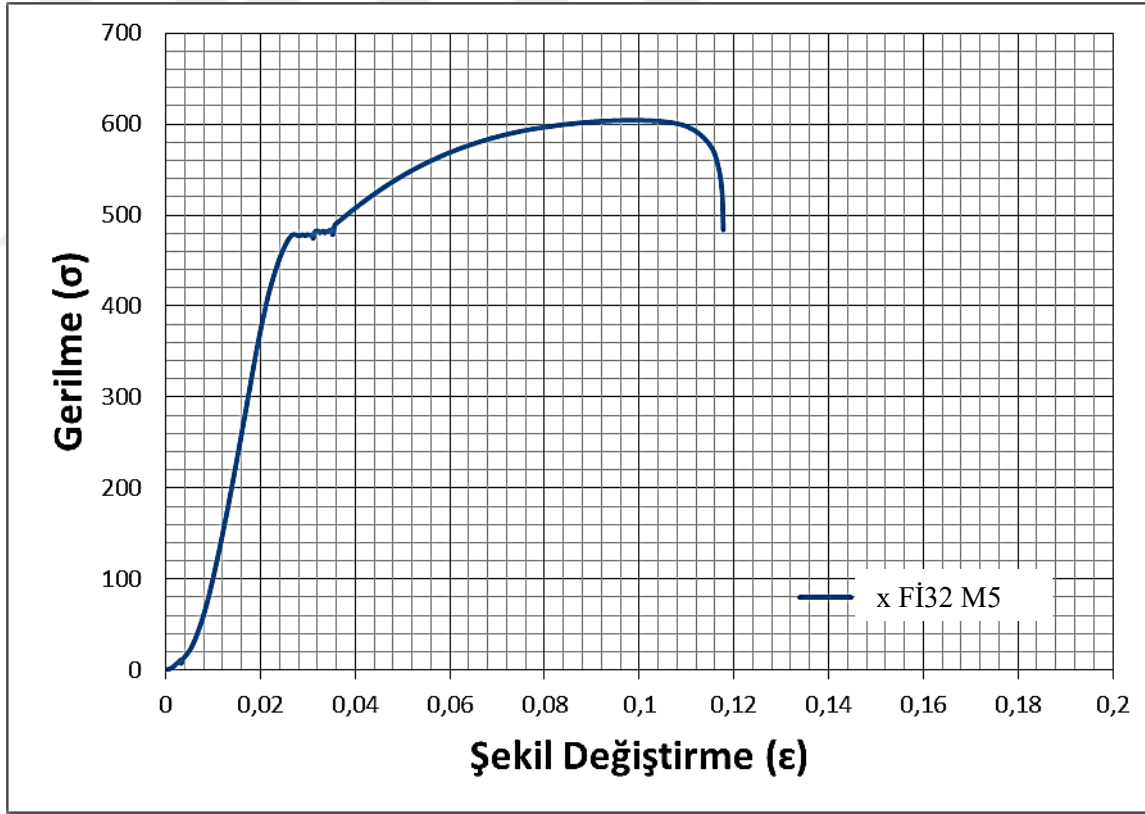
Şekil A.7. x firmasına ait Ø32 MANŞONLU_2 monotonik çekme numunesi deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



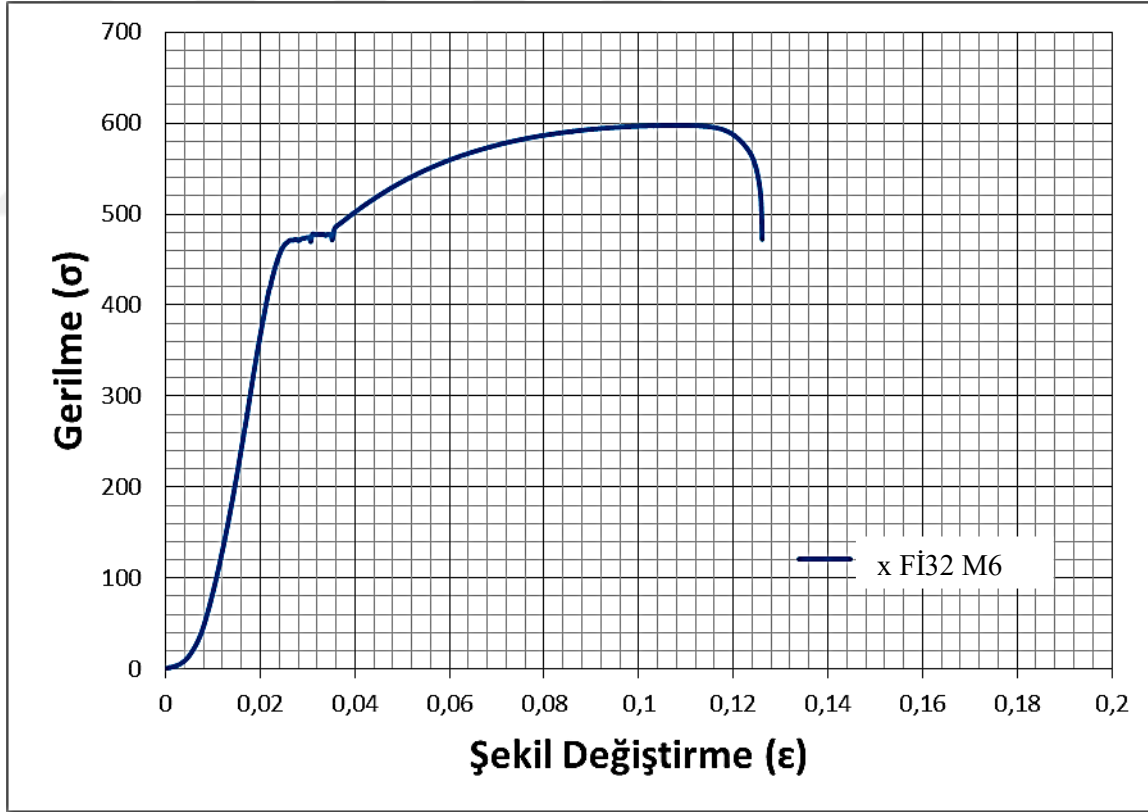
Şekil A.8. x firmasına ait Ø32 MANŞONLU_3 monotonic çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



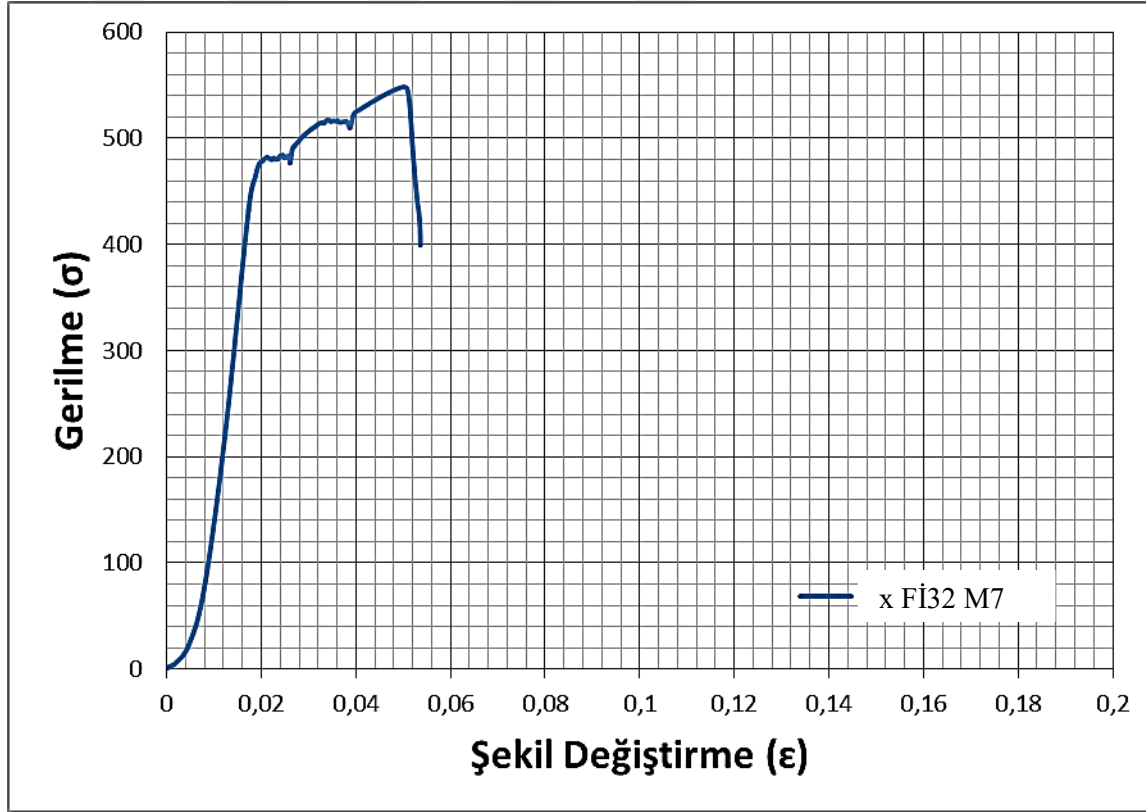
Şekil A.9. x firmasına ait Ø32 MANŞONLU_4 monotonic çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



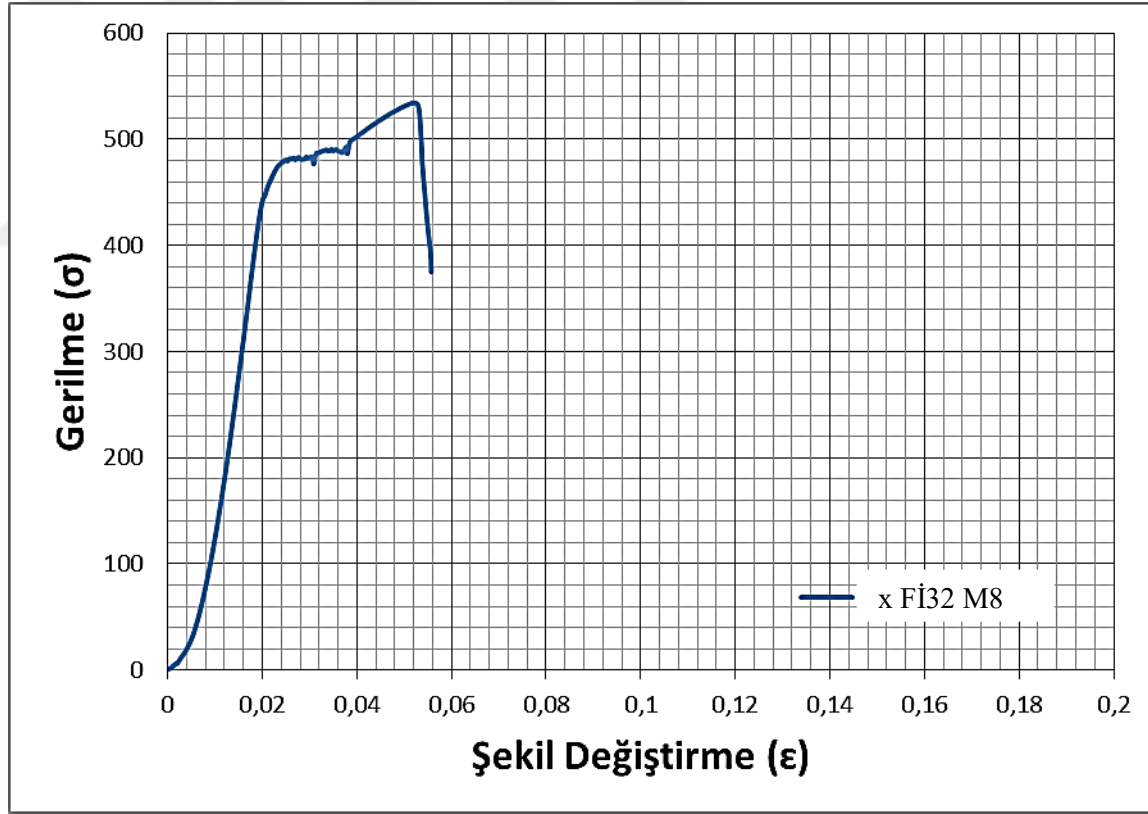
Şekil A.10. x firmasına ait Ø32 MANŞONLU_5 monotonik çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



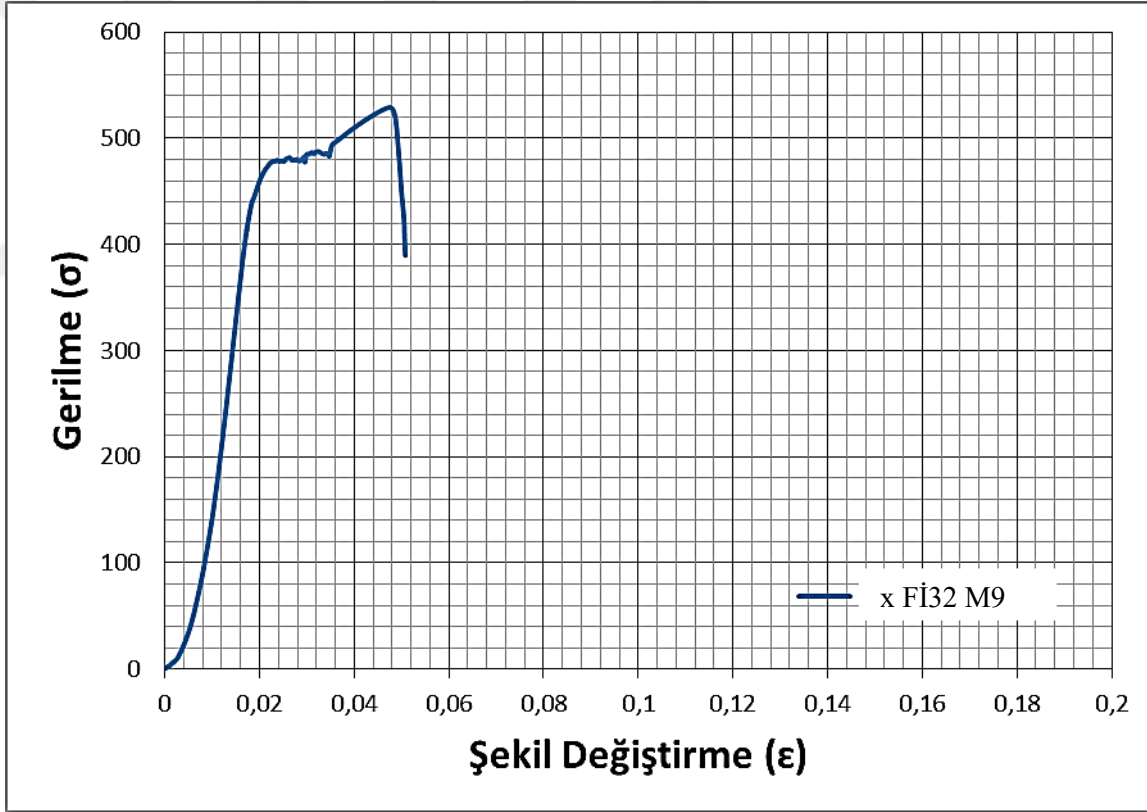
Şekil A.11. x firmasına ait Ø32 MANŞONLU_6 numunesi monotonik çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



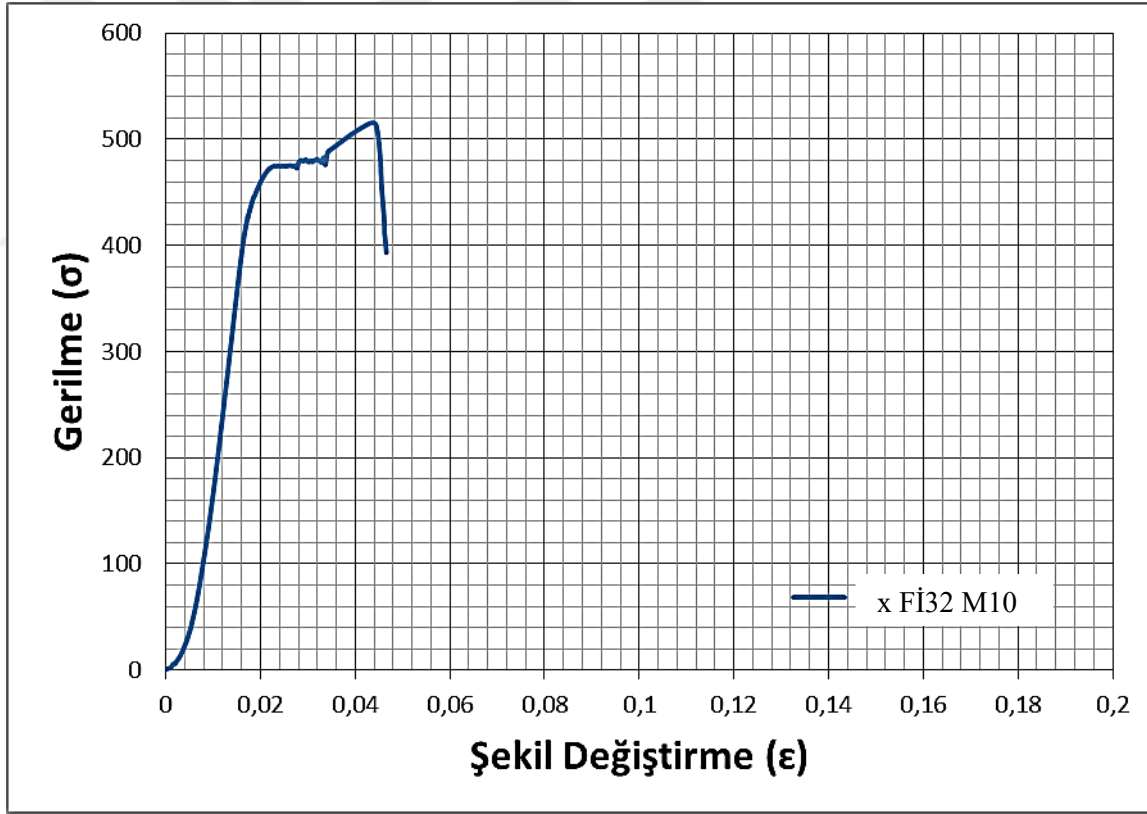
Şekil A.12. x firmasına ait Ø26 MANŞONLU_7 monotonic çekme numunesi deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



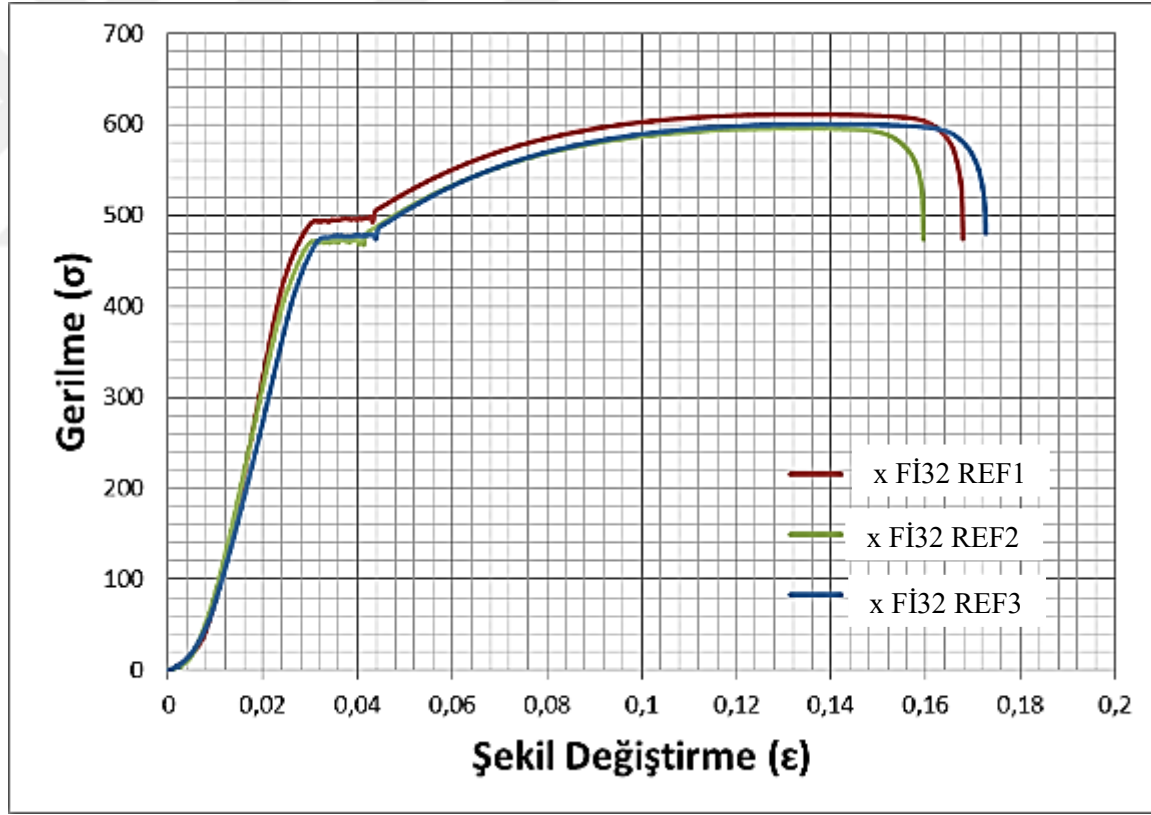
Şekil A.13. x firmasına ait Ø26 MANŞONLU_8 monotonik çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



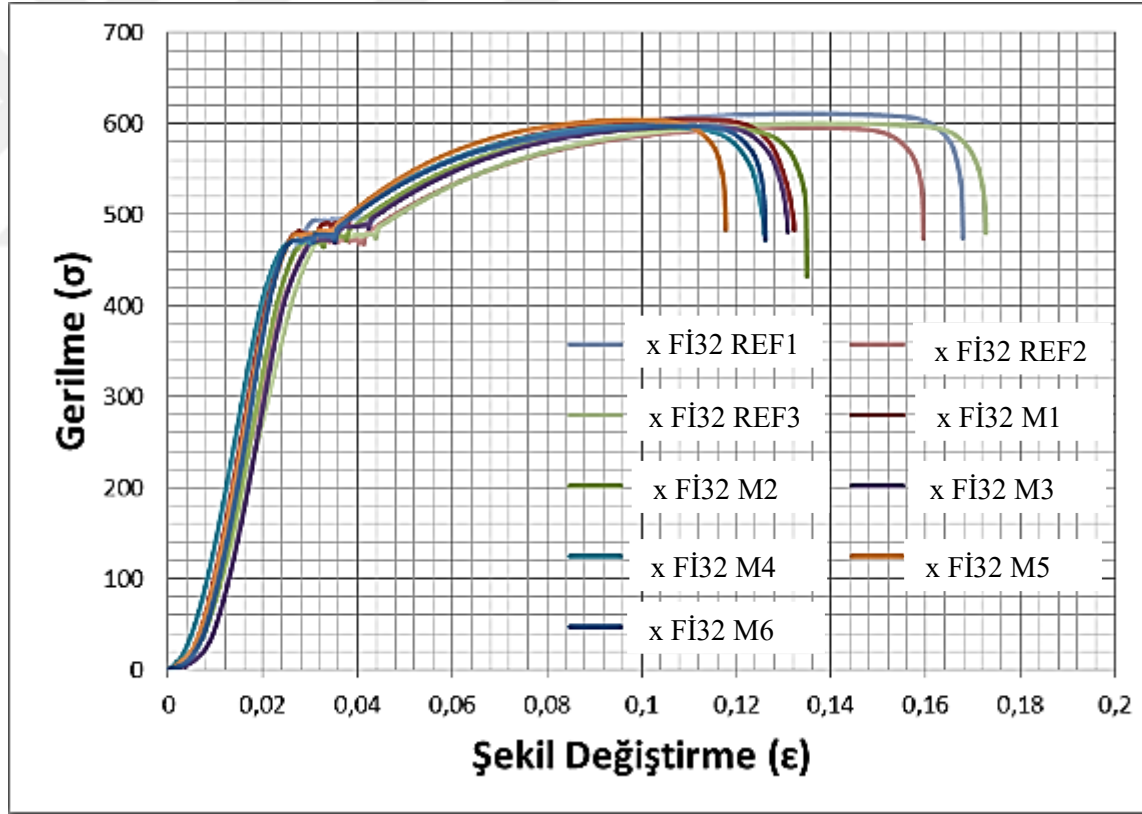
Şekil A.14. x firmasına ait Ø26 MANŞONLU_9 monotonik çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



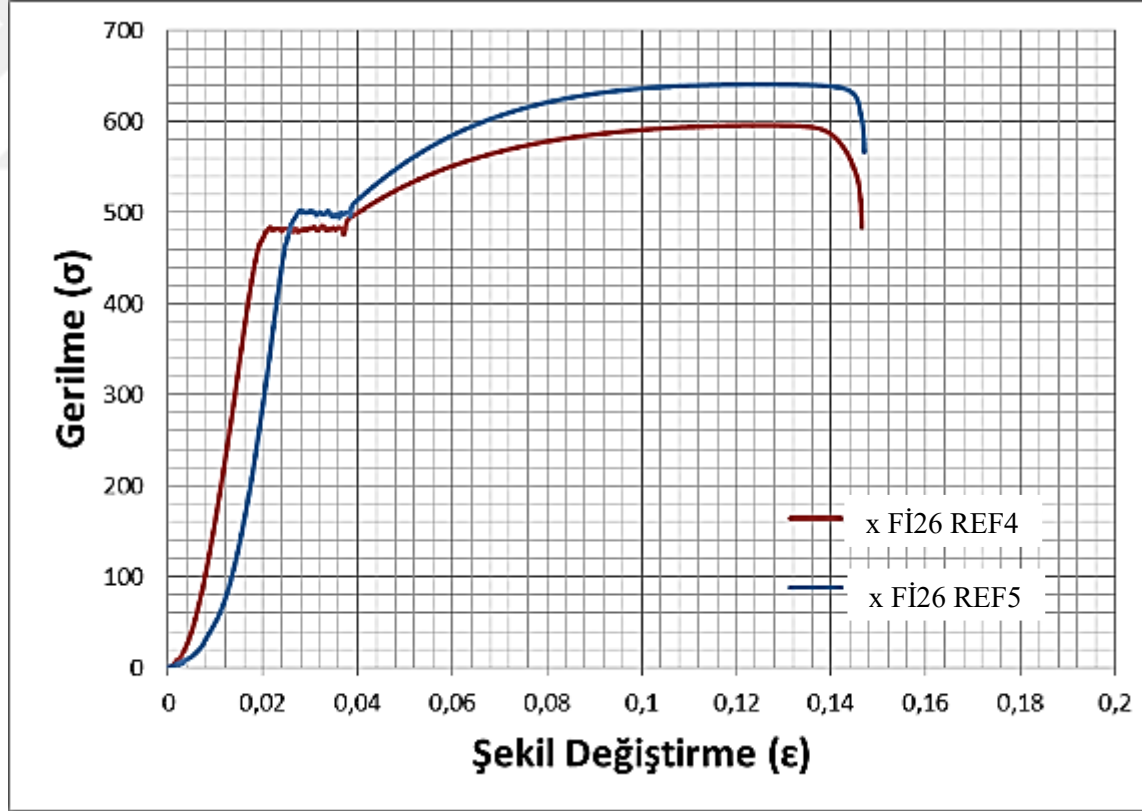
Şekil A.15. x firmasına ait Ø26 MANŞONLU_10 monotonic çekme deneyi gerilme-şekil değiştirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



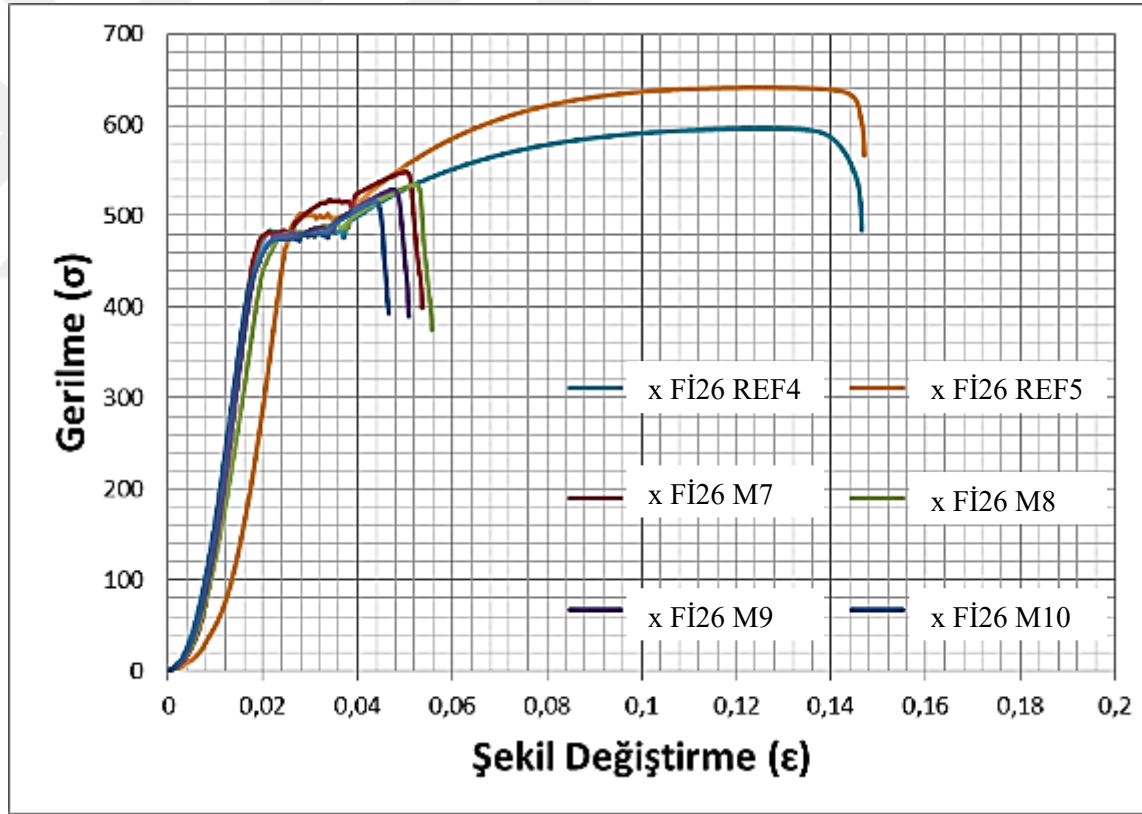
Şekil A.16. x firmasına ait Ø32 REFERANS numuneleri monotonik çekme deneyi gerilme-şekil değişirme karşılaştırma grafiği



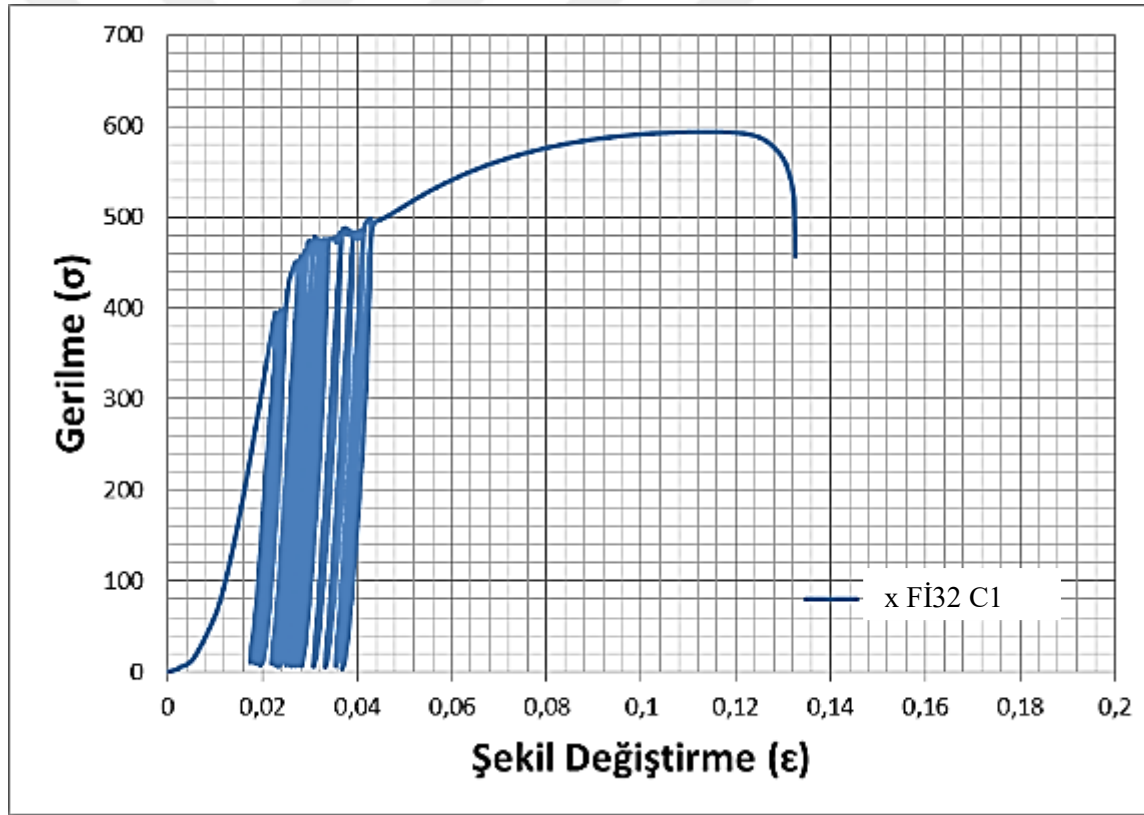
Şekil A.17. x firmasına ait Ø32 MANŞONLU ve REFERANS NUMUNELERİ monotonik çekme deneyi gerilme-şekil değişirme karşılaştırma grafiği



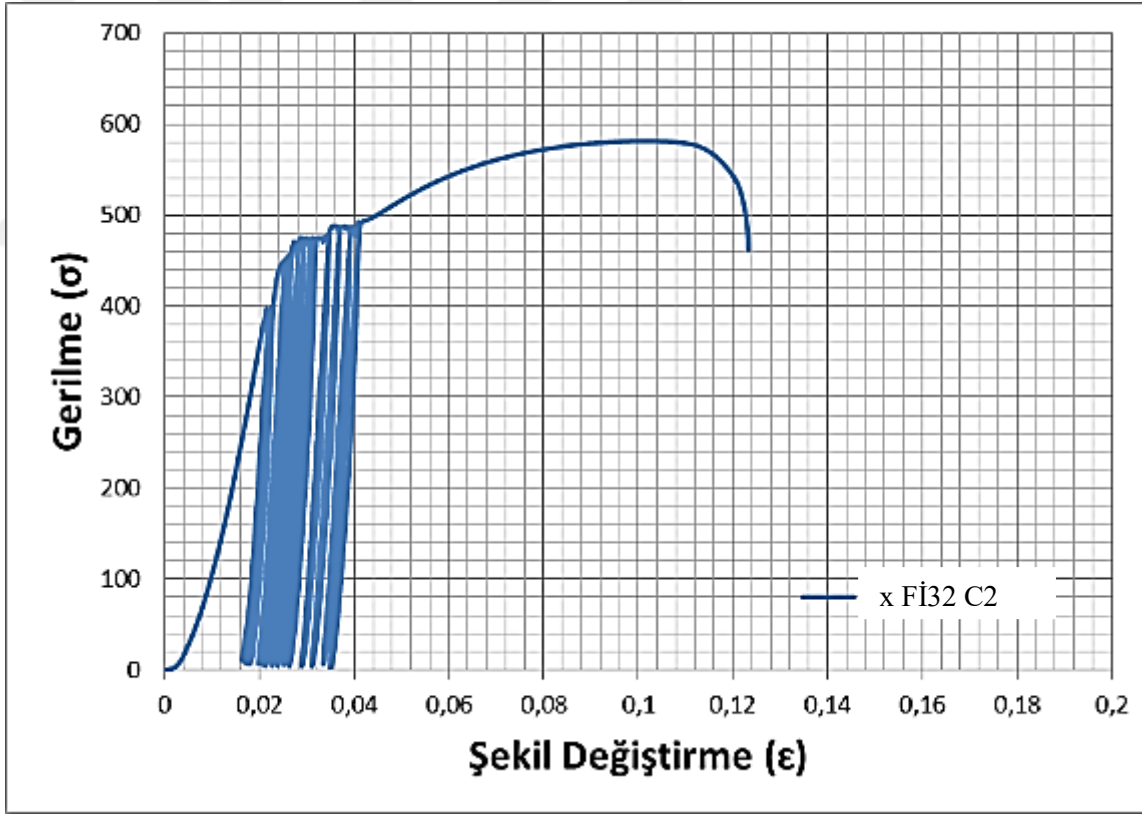
Şekil A.18. x firmasına ait Ø26 REFERANS numuneleri monotonic çekme deneyi gerilme-şekil değişirme karşılaştırma grafiği



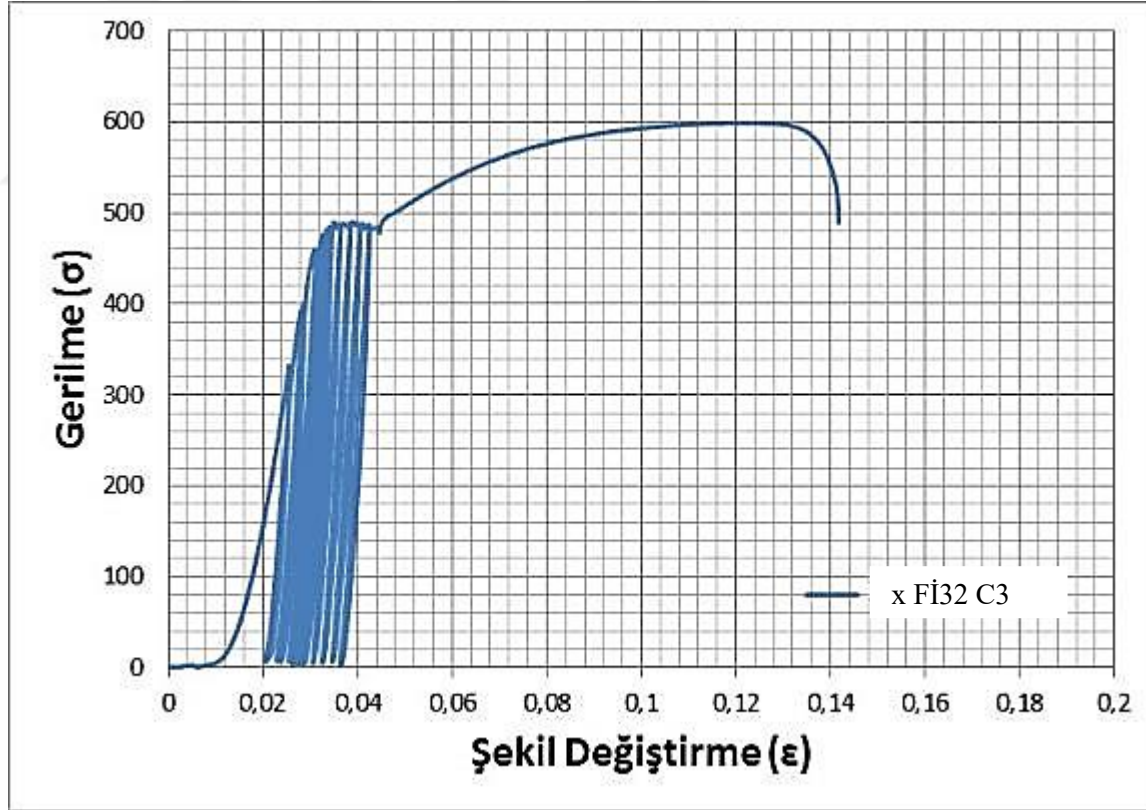
Şekil A.19. x firmasına ait Ø26 MANŞONLU ve REFERANS NUMUNELERİ monotonik çekme deneyi gerilme-şekil değiştirme karşılaştırma grafiği



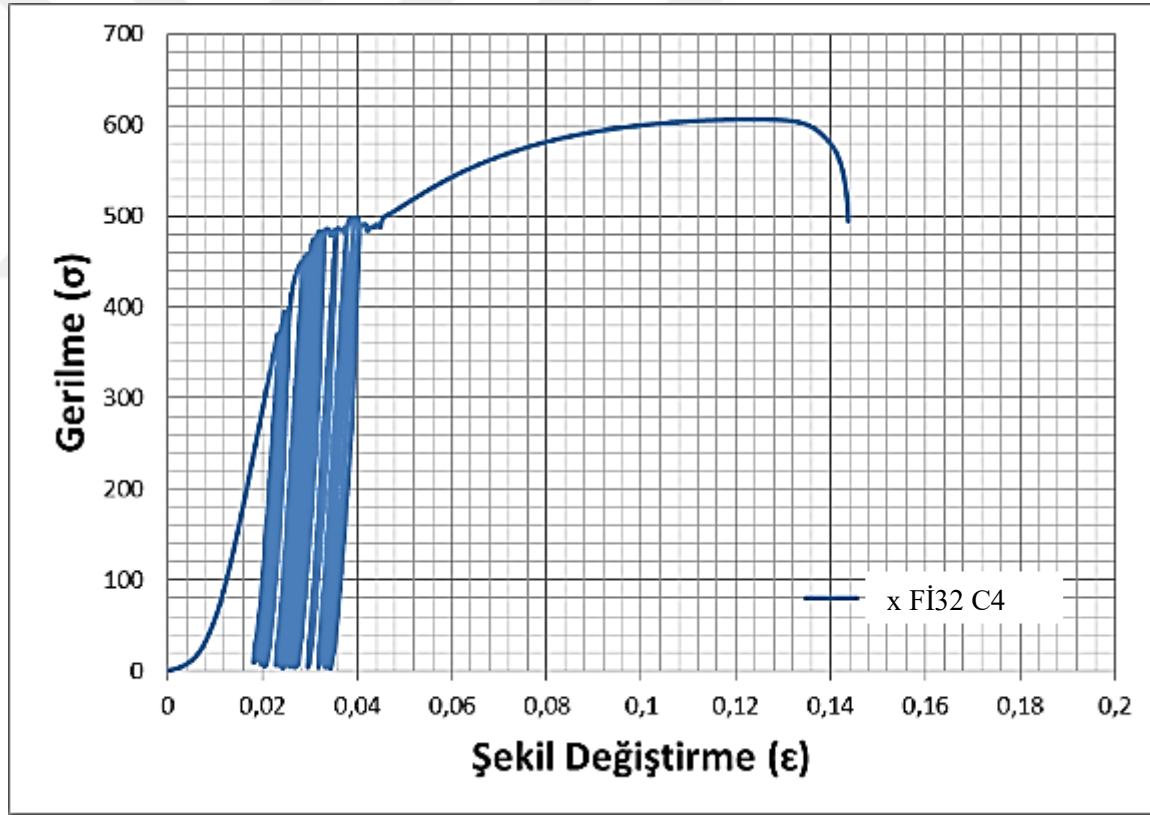
Şekil A.20. x firmasına ait Ø32 MANŞONLU_C1 kademeli çevrimsel çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



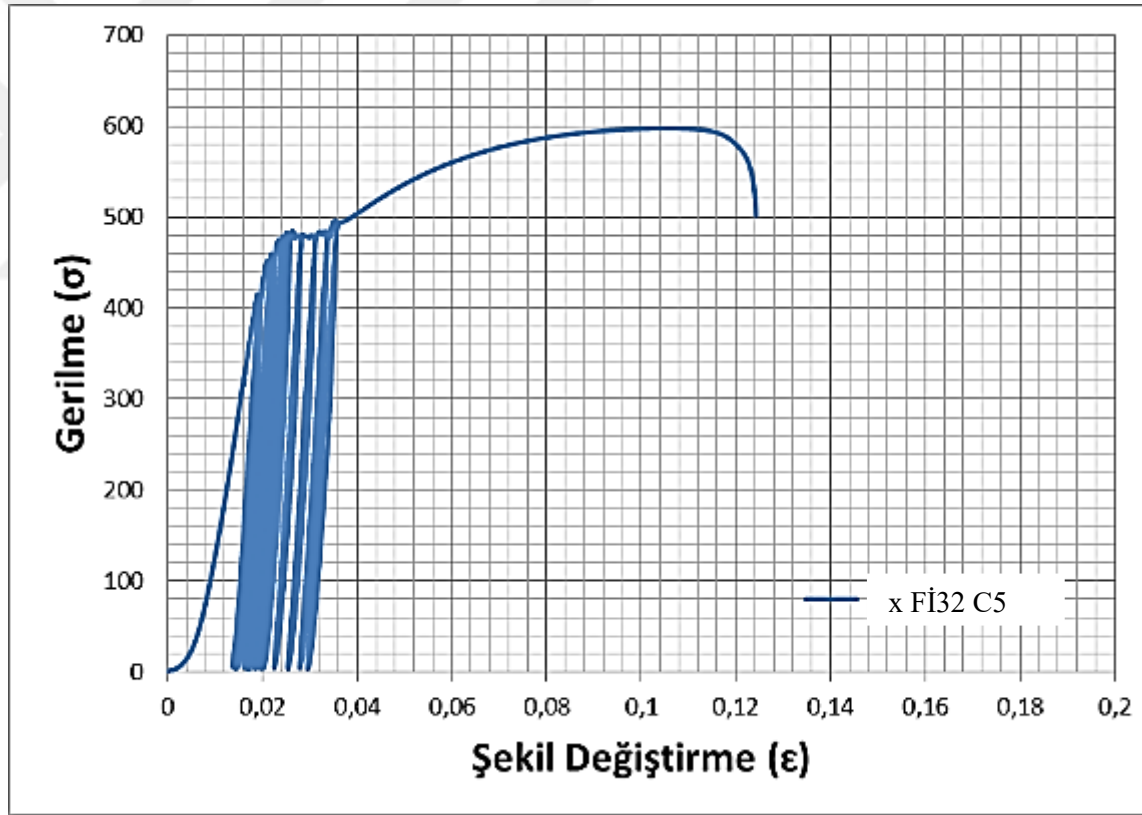
Şekil A.21. x firmasına ait Ø32 MANŞONLU_C2 kademeli çevrimsel çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



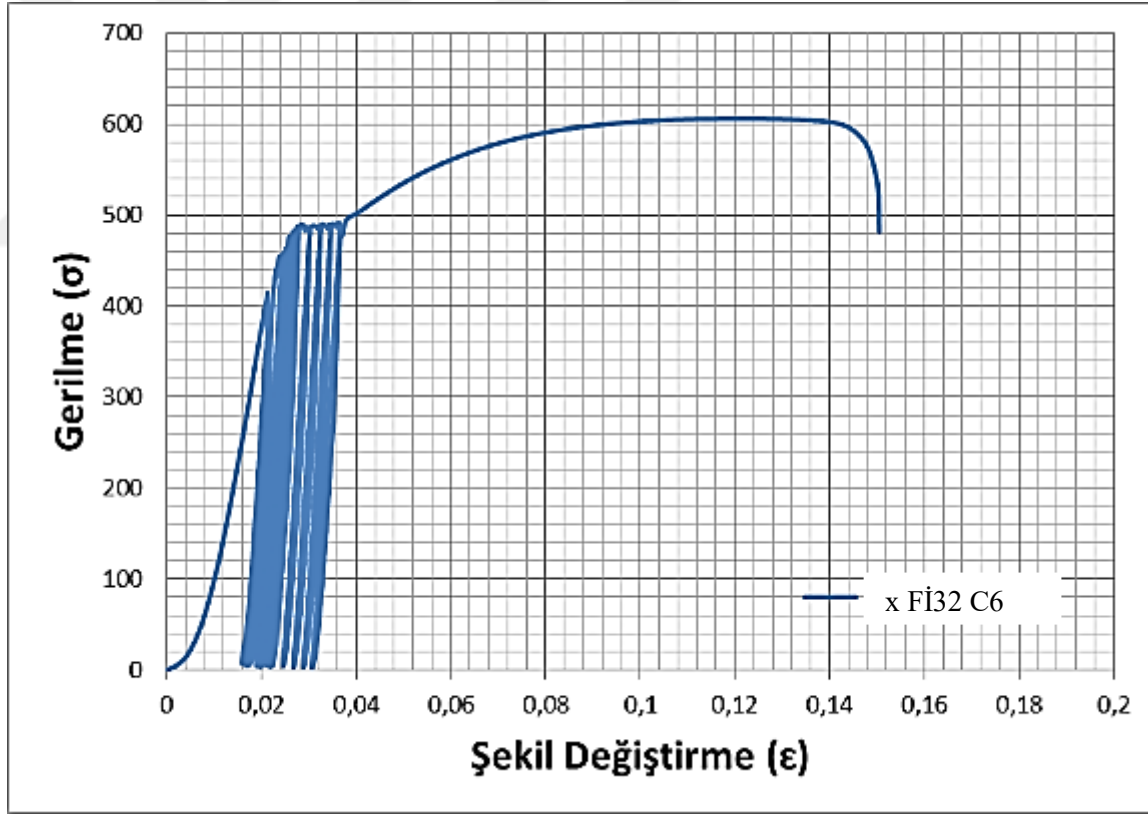
Şekil A.22. x firmasına ait Ø32 MANŞONLU_ C3 kademeli çevrimsel çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



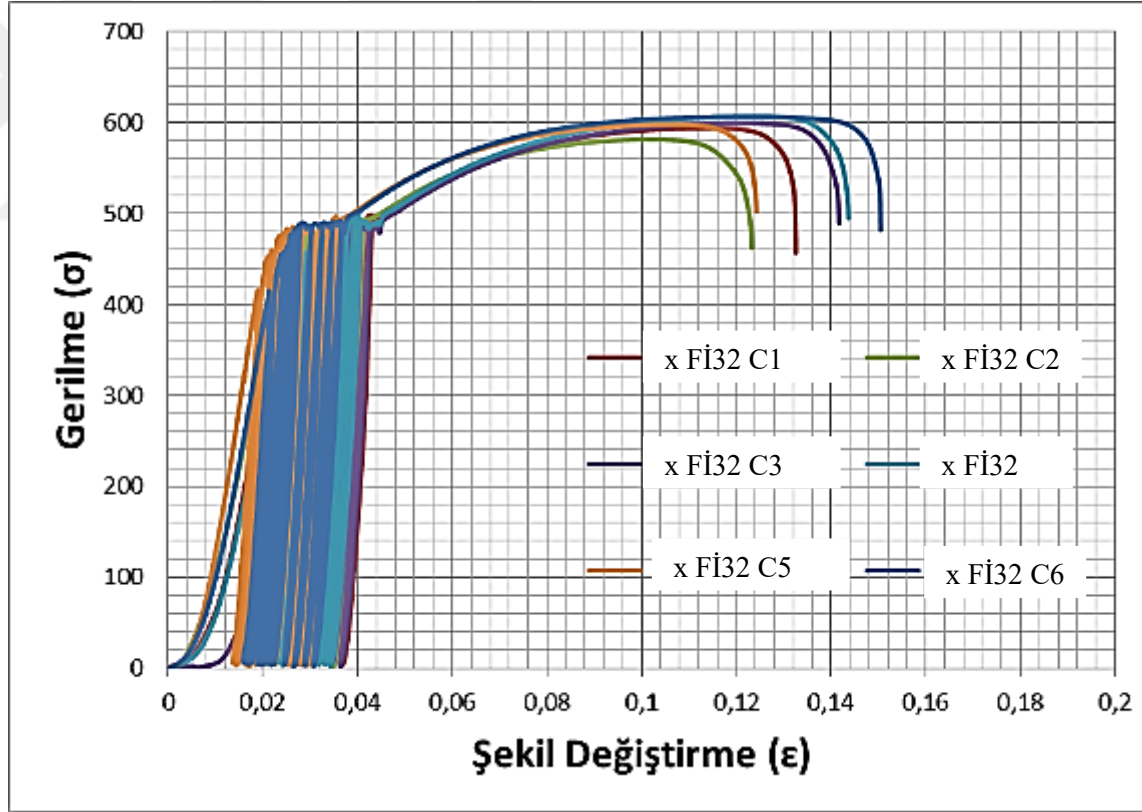
Şekil A.23. x firmasına ait Ø32 MANŞONLU_ C4 kademeli çevrimsel çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



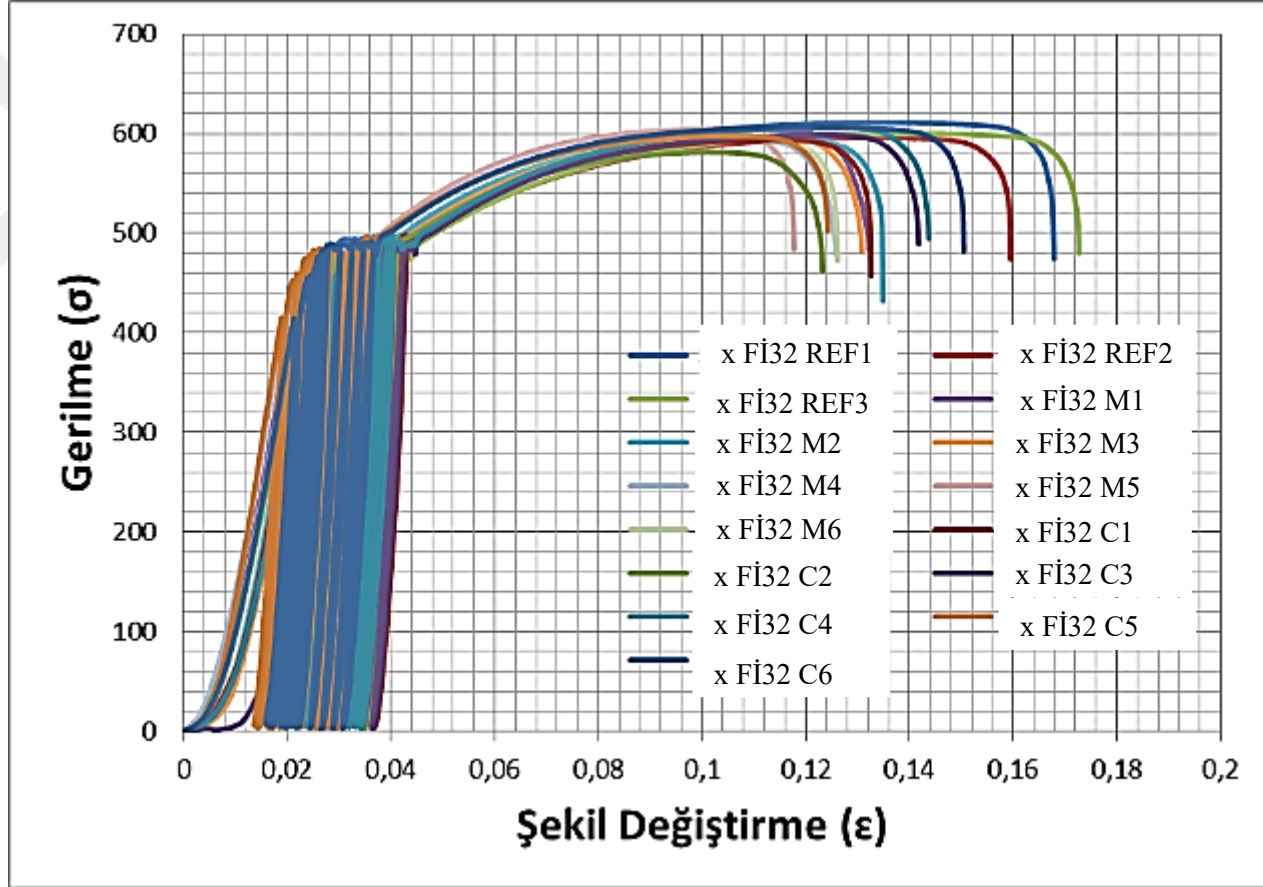
Şekil A.24. x firmasına ait Ø32 MANŞONLU_ C5 kademeli çevrimsel çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



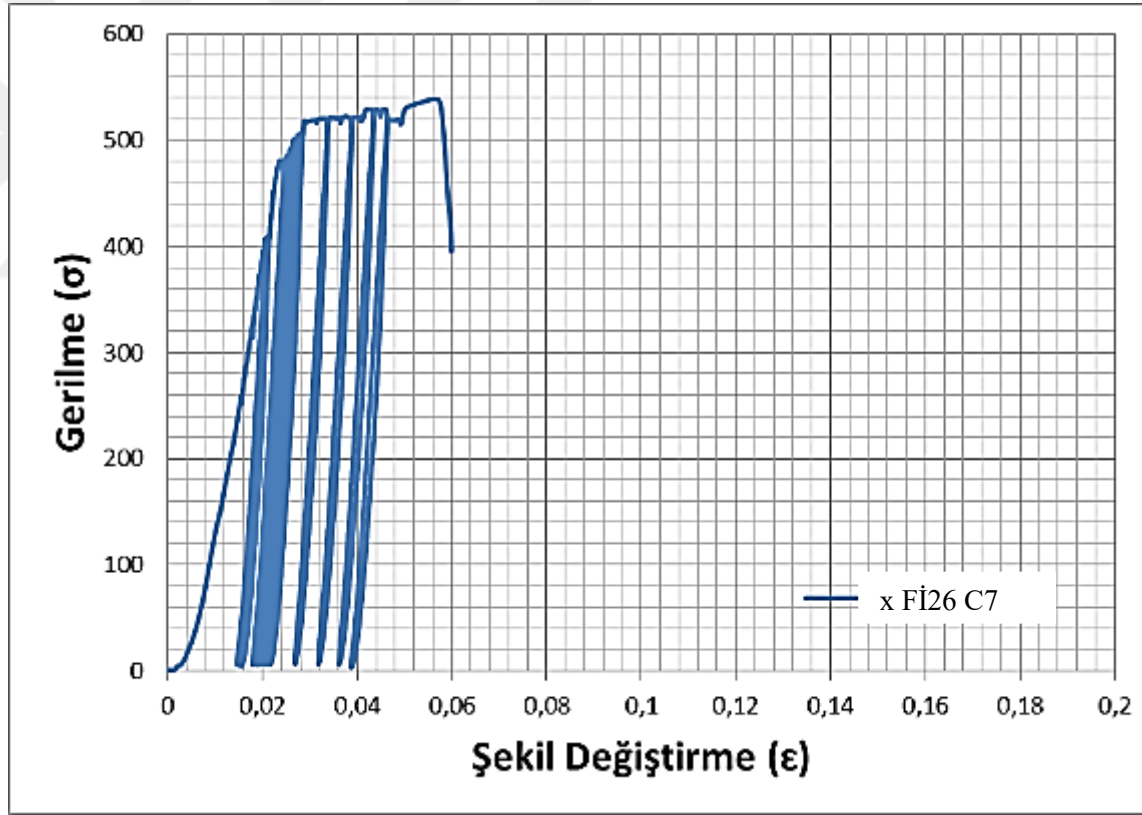
Şekil A.25. x firmasına ait Ø32 MANŞONLU_C6 kademeli çevrimsel çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



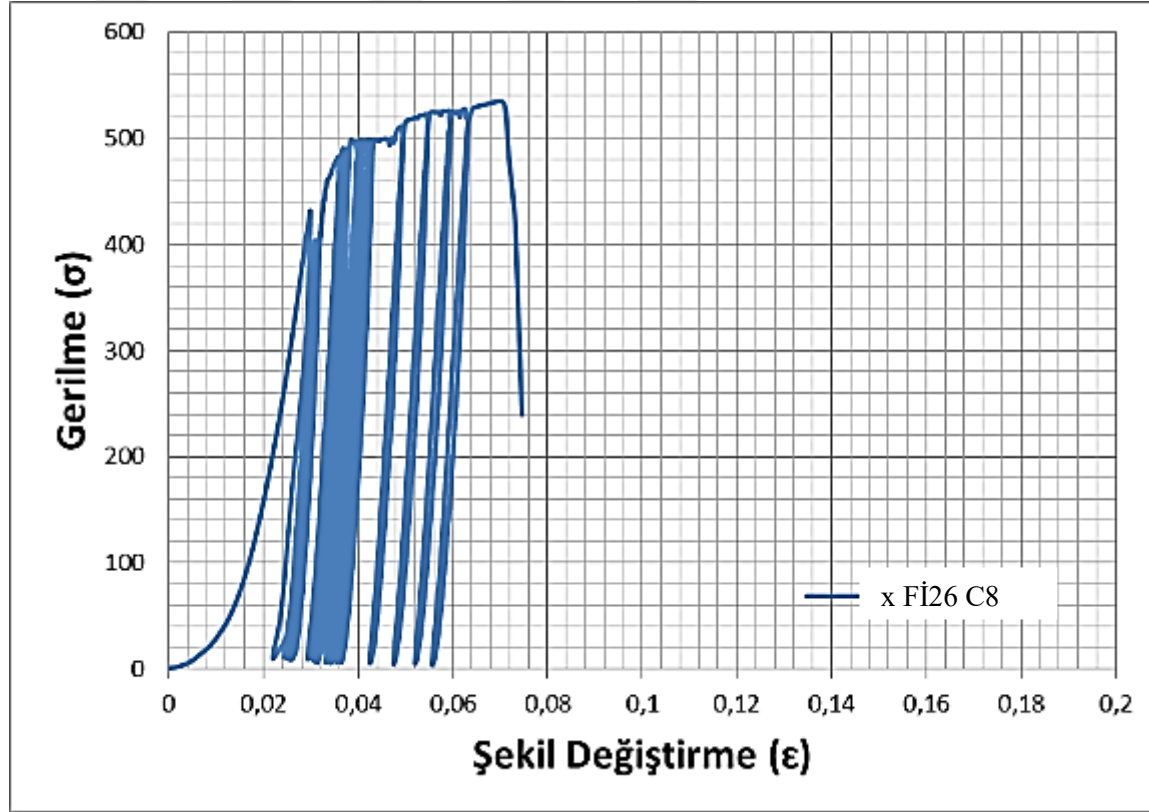
Şekil A.26. x firmasına ait Ø32 MANŞONLU numuneleri kademeli çevrimsel çekme deneyi gerilme-şekil değişirme karşılaştırma grafiği



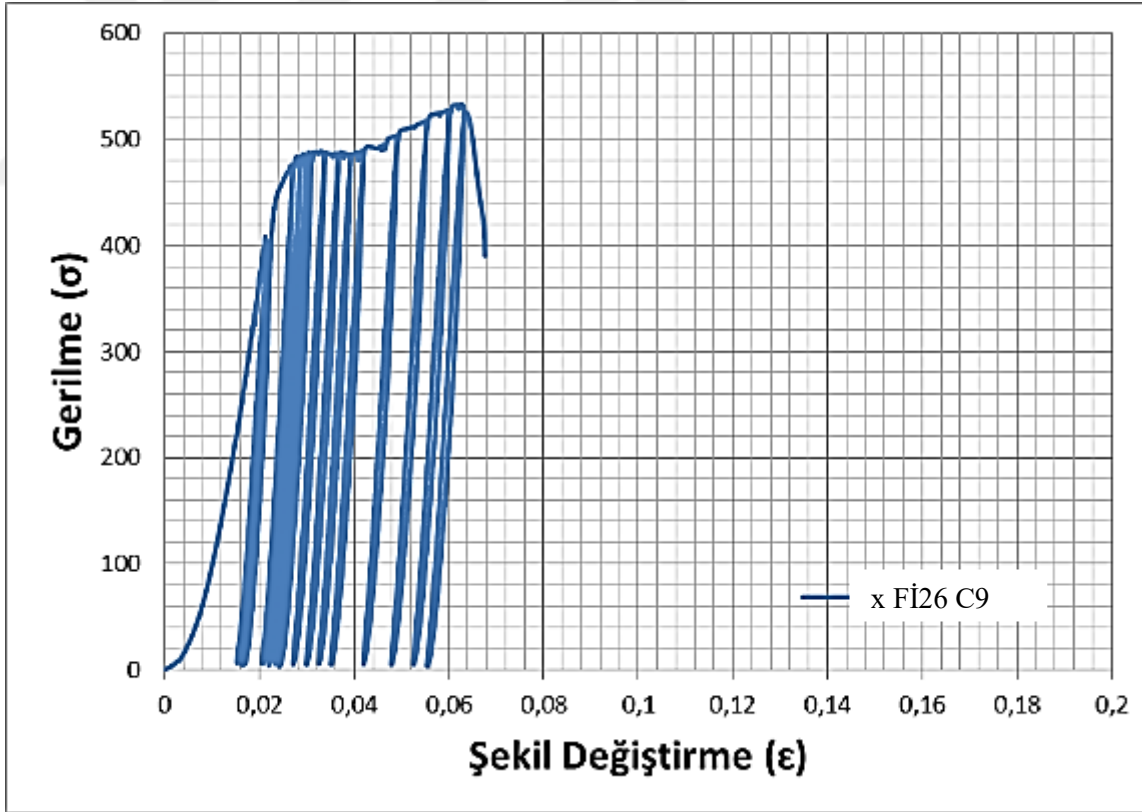
Şekil A.27. x firmasına ait Ø32 TÛM NUMUNELER çekme deneyi gerilme-şekil değiştirme karşılaştırma grafiği



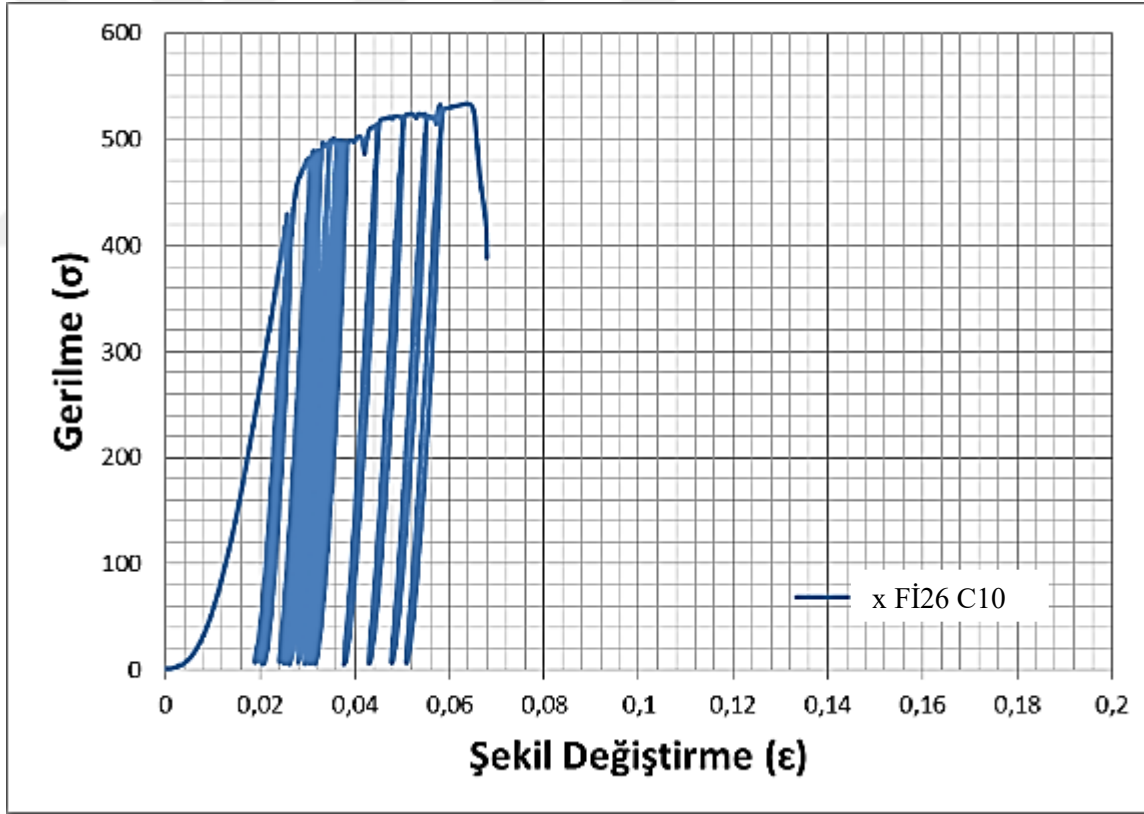
Şekil A.28. x firmasına ait $\varnothing 26$ MANŞONLU_C7 kademeli çevrimsel çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



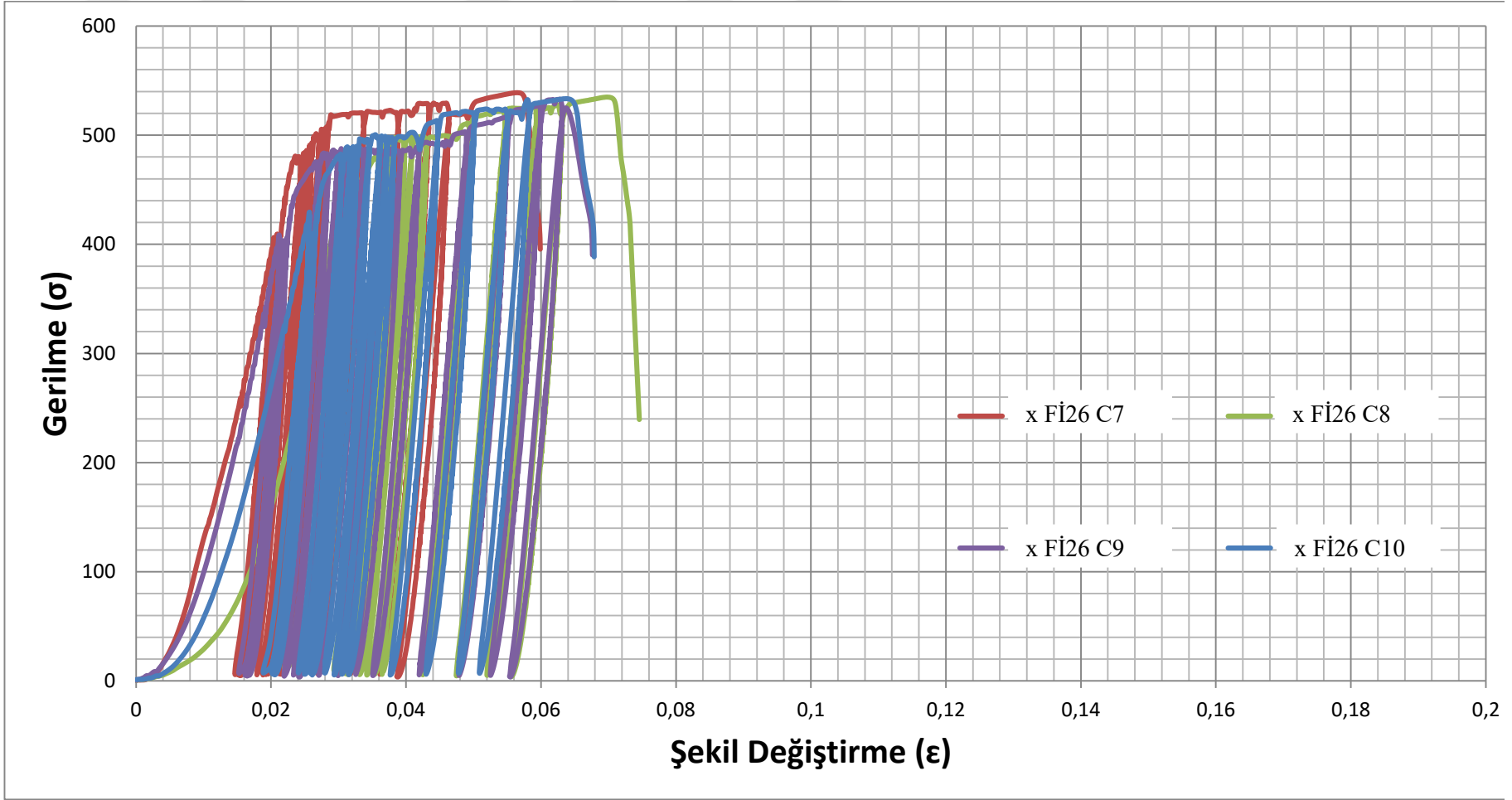
Şekil A.29. x firmasına ait Ø26 MANŞONLU_C8 kademeli çevrimsel çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



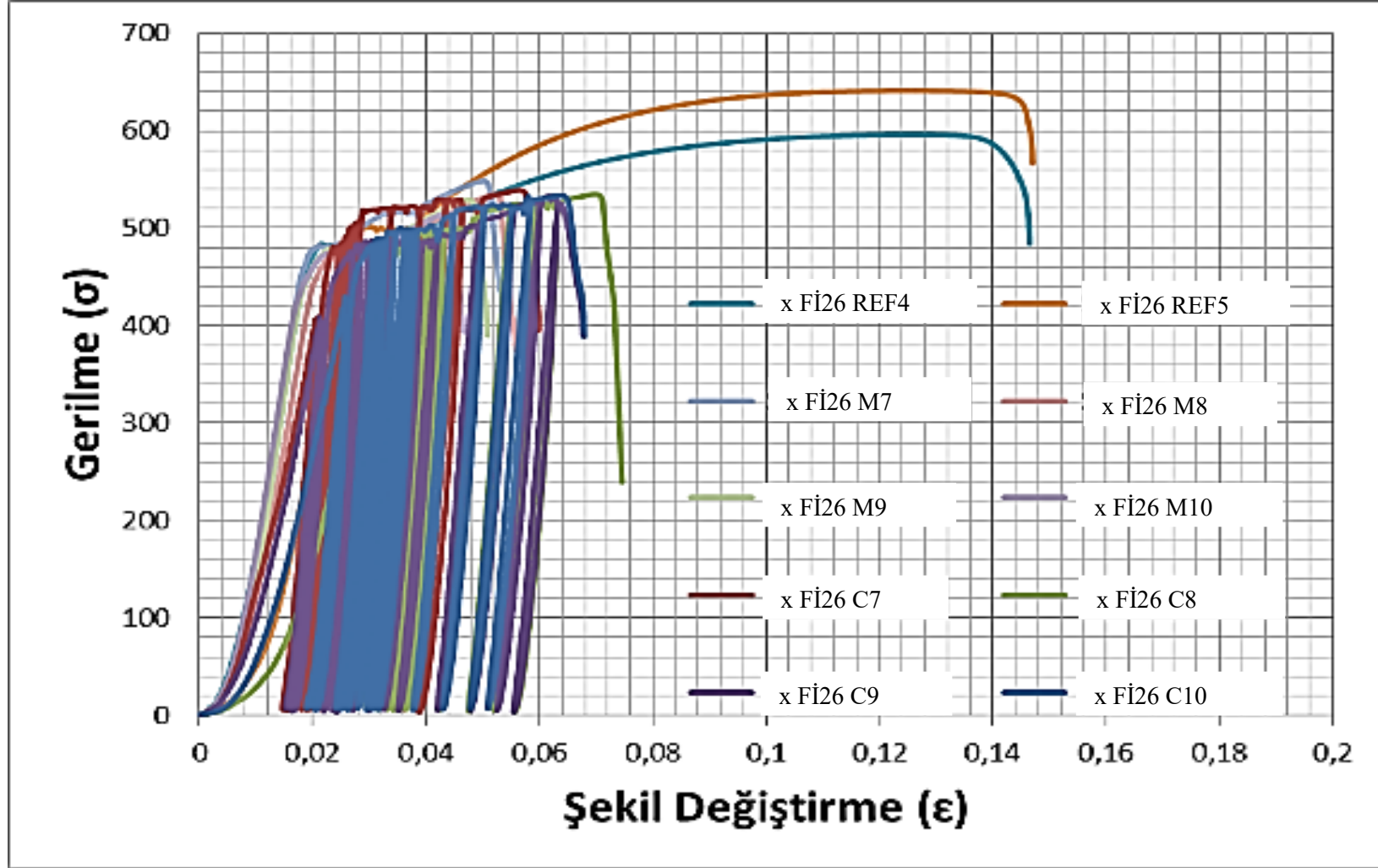
Şekil A.30. x firmasına ait Ø32 MANŞONLU_C9 kademeli çevrimsel çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



Şekil A.31. x firmasına Ait Ø32 MANŞONLU_C10 kademeli çevrimsel çekme deneyi gerilme-şekil değişirme grafiği ve deney sonrası kopma görüntüsü



Şekil A.32. x firmasına ait Ø26 MANŞONLU numuneleri kademeli çevrimsel çekme deneyi gerilme-şekil değişirme karşılaştırma grafiği



Şekil A.33. x firmasına ait Ø26 TUM NUMUNELER çekme deneyi gerilme-şekil değişirme karşılaştırma grafiği

Tablo A.1. Monotonik çekme deneyi sonuçları

TEST TÜRÜ	AKMA GERİLMESİ		ÇEKME GERİLMESİ		$\epsilon_U(\%)$	R_m / R_y	SIYRILMA $\leq 1\text{mm}$	Süneklik $\geq 70\% \epsilon_U$	ŞARTNAME UYGUNLUK			
	YÜK(kN)	$\sigma_y(\text{MPa})$	YÜK(kN)	$\sigma_U(\text{MPa})$					$1.25 f_y$	4%	test	
Monotonik Çekme Deneyi	Ø32_REF_1	397	488	490	611	16.8	1.25	-	11.8	E	E	BAŞARILI
	Ø32_REF_2	378	471	479	596	16.0	1.27	-	11.2	E	E	BAŞARILI
	Ø32_REF_3	380	476	481	600	17.2	1.26	-	12.0	E	E	BAŞARILI
	Ø26_REF_4	254	471	316	596	14.6	1.25	-	10.2	E	E	BAŞARILI
	Ø26_REF_5	264	499	340	641	14.7	1.28	-	10.3	E	E	BAŞARILI
	Ø32_M1	380	474	486	604	13.2	1.27	0.03	E	E	E	BAŞARILI
	Ø32_M2	378	470	479	596	13.4	1.27	0.03	E	E	E	BAŞARILI
	Ø32_M3	378	470	479	597	13.0	1.27	0.02	E	E	E	BAŞARILI
	Ø32_M4	378	470	479	597	12.6	1.27	0.03	E	E	E	BAŞARILI
	Ø32_M5	381	477	485	603	11.8	1.26	0.02	E	E	E	BAŞARILI
	Ø32_M6	379	472	479	597	12.6	1.26	0.03	E	E	E	BAŞARILI
	Ø26_M7	251	480	MANŞON SIYRILMASI					H	H	H	BAŞARISI Z
	Ø26_M8	250	475	MANŞON SIYRILMASI					H	H	H	BAŞARISI Z
	Ø26_M9	251	480	MANŞON SIYRILMASI					H	H	H	BAŞARISI Z
Ø26_M10	252	482	MANŞON SIYRILMASI					H	H	H	BAŞARISI Z	

Tablo A.2. Kademeli çevrimsel çekme deneyi sonuçları

TEST TÜRÜ	AKMA GERİLMESİ		ÇEKME GERİLMESİ		$\epsilon_U(\%)$	R_m / R_y	SIYRILMA $\leq 1\text{mm}$	Süneklik $\geq 70\% \epsilon_U$	ŞARTNAME UYGUNLUK			
	YÜK(kN)	$\sigma_y(\text{MPa})$	YÜK(kN)	$\sigma_U(\text{MPa})$					$1.25 f_y$	4%	test	
Kademeli Çevrimsel Çekme Deneyi	Ø32_C1	367	462	477	592	13.2	1.28	0.03	E	E	E	BAŞARILI
	Ø32_C2	373	464	467	580	12.3	1.25	0.03	E	E	E	BAŞARILI
	Ø32_C3	386	479	482	598	14.2	1.25	0.04	E	E	E	BAŞARILI
	Ø32_C4	384	476	482	606	14.4	1.27	0.04	E	E	E	BAŞARILI
	Ø32_C5	383	470	479	592	12.4	1.26	0.04	E	E	E	BAŞARILI
	Ø32_C6	391	480	487	606	15.0	1.26	0.03	E	E	E	BAŞARILI
	Ø26_C7	274	516	MANŞON SIYRILMASI					H	H	H	BAŞARISI Z
	Ø26_C8	261	494	MANŞON SIYRILMASI					H	H	H	BAŞARISI Z
	Ø26_C9	256	479	MANŞON SIYRILMASI					H	H	H	BAŞARISI Z
	Ø26_C10	260	491	MANŞON SIYRILMASI					H	H	H	BAŞARISI Z

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Damla Berfin ÇIKMAZ CEYLAN

Yabancı Dili : İngilizce

Doğum Yeri ve Yılı : Ankara – 1992

E-posta : dberfincikmaz@gmail.com

Eğitim ve Mesleki Geçmişi

- Ceylanlar Metal, Cephe Tasarım Mühendisi, 2019
- 2016-2019 Yüksek Lisans, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Anabilim Dalı
- 2010-2015 Lisans, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- 2016-2017 Kontrol Mühendisi, Turna Yapı Denetim Ltd. Şti.
- 2015-2016 İnşaat Mühendisi, Birçelik Yapı Makine Ltd. Şti.

Mesleki Kuruluş Üyelikleri

- 2015 İnşaat Mühendisleri Odası, Eskişehir

