



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

**BETON DAYANIMI VE KENETLENME BOYUNUN BETON-
DONATI ADERANSINA ETKİSİNİN MAFSALLI KİRİŞ DENEYİ
İLE İNCELENMESİ**

TALHA ARSLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. MEHMET EMİN ARSLAN**

DÜZCE, 2017

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON DAYANIMI VE KENETLENME BOYUNUN BETON-DONATI
ADERANSINA ETKİSİNİN MAFSALLI KİRİŞ DENEYİ İLE İNCELENMESİ**

Talha ARSLAN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin ARSLAN
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin ARSLAN
Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Muhammet Zeki ÖZYURT
Sakarya Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Necati MERT
Sakarya Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 07/04/2017

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

07 Nisan 2017

Talha ARSLAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin ARSLAN'a , yüksek lisans eğitimim boyunca bana desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU'na, Yrd. Doç. Dr. Muhammet Zeki ÖZYURT'a ve Yrd. Doç. Dr. Necati MERT'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili Eşim Aysun ARSLAN'a, kardeşim Mimar Kübra ARSLAN'a, yeğenim Mimar Orkun ARSLAN'a ve aile dostumuz Ferit DOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

07 Nisan 2017

Talha ARSLAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ	VII
ÇİZELGE LİSTESİ	IX
SİMGELER	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1 ADERANS TÜRLERİ	1
1.2 ADERANSI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	5
1.2.1 Beton Ve Beton Bileşiminin Aderansa Etkisi	5
1.2.2 Donatının Yüzeyinin Aderans Dayanıma Etkisi	6
1.2.3 Yüzey Geometrisinin Aderans Dayanımı Etkisi	7
1.2.4 Donatı Kesit Alanının Aderans Dayanımına Etkisi.....	9
1.2.5 Kenetlenme Boyu ile Aderans Dayanımı Arasındaki İlişki	9
1.2.6 Aderans Dayanımı Etkileyen Diğer Faktörler	10
1.3 BETON-DONATI ADERANSINI BELİRMEDE KULLANILAN	
DENEYLER	11
1.3.1 Çekip-Çıkarma (Pull-out) Deneyi	11
1.3.2 Kiriş Deneyleri	14
1.4.2.1 Bureau of Standards Deneyi	14
1.4.2.2 Teksas Çıkmalı Kiriş Deneyi	14
1.4.2.3 Mafsallı Kiriş Deneyi.....	15
1.4 BETON-DONATI ADERANSI KONUSUNDA DAHA ÖNCE YAPILMIŞ	
BAZI ÇALIŞMALAR	17
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	20
2.1 BETONLARIN ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER VE	
KARIŞIM ORANLARI.....	20
2.1.1 Betonların Üretimi, Bakımı ve Deney Esnasındaki Durumu	21
2.1.2 Üretilen Betonların Bazı Mekanik Özellikleri	22
2.1.3 Kalıpların Özellikleri.....	22

2.1.4 Donatıların Özellikleri.....	23
2.1.5 Mafsallı Kirişlerin Üretimi, Deney Düzeneginin Hazırlanması ve Deneyin Yapılışı	23
2.1.6 Deney Serileri ve Numunelerin Kodlanması	26
3. BULGULAR	28
3.1 BİRİNCİ SERİ DENEYLERDEN ELDE EDİLEN BULGULAR.....	28
3.1.1 Φ 10-C300-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	29
3.1.2 Φ 12-C300-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	30
3.1.3 Φ 14-C300-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	31
3.1.4 Φ 10-C300-150 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	32
3.1.5 Φ 12-C300-150 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	33
3.1.6 Φ 14-C300-150 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	34
3.1.7 Φ 10-C300-200 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	35
3.1.8 Φ 12-C300-200 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	36
3.1.9 Φ 14-C300-200 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	37
3.2 İKİNCİ SERİ DENEYLERDEN ELDE EDİLEN BULGULAR.....	38
3.2.1 Φ 10-C250-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	38
3.2.2 Φ 12-C250-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	38
3.2.3 Φ 14-C250-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	39
3.2.4 Φ 10-C400-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	40
3.2.5 Φ 12-C400-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	41
3.2.6 Φ 14-C400-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	42
3.2.7 Φ 10-C500-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	43
3.2.8 Φ 12-C500-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	44
3.2.9 Φ 14-C500-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları	45
4. TARTIŞMA	47
4.1 KENETLENME BOYUNUN ADERANS DAVRANIŞINA ETKİSİ	48
4.2 BETON DAYANIMININ ADERANS DAVRANIŞINA ETKİSİ	52
4.3 DONATI ÇAPININ ADERANS DAVRANIŞINA ETKİSİ.....	57
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Merkezi çekme etkisindeki donatıdaki çekme ve aderans gerilmesi dağılımı. 2	2
Şekil 1.2. Çekip-çıkarma deneyinde deney başlangıç ve sonundaki gerilme dağılımı..... 3	3
Şekil 1.3. Eğilme kuvveti etkisi altında betonarme kirişte moment ve iç kuvvetler. 4	4
Şekil 1.4. Korozyona uğramış kiriş donatıları. 6	6
Şekil 1.5. Nervürlü ve düz yüzeye sahip donatı ile beton arasındaki aderans. 7	7
Şekil 1.6. Çekme kuvveti etkisinde nervürlü donatılı betonarme elemanda donatı ve betonda oluşan iç kuvvetler. 8	8
Şekil 1.7. Çekme etkisindeki nervürlü donatılı elemanda kayma kırılması. 9	9
Şekil 1.8. Beton içerisindeki çubuğun çekilmesiyle betonda oluşan çatlamlar. 10	10
Şekil 1.9. Merkezi çekip-çıkarma deney düzeneği şeması. 12	12
Şekil 1.10. Geliştirilmiş bazı merkezi çekip-çıkarma deney düzenekleri..... 13	13
Şekil 1.11. Dışmerkez çekip-çıkarma deney düzeneği..... 13	13
Şekil 1.12. Bureau of standarts deney düzeneğinin şematik gösterimi. 14	14
Şekil 1.13. Texas çıkmalı kiriş deney düzeneği..... 15	15
Şekil 1.14. Mafsallı kiriş deney düzeneği..... 15	15
Şekil 2.1. Beton üretiminde kullanılan agregaların tane dağılım grafiği..... 21	21
Şekil 2.2. Mafsallı kirişlerin üretiminde kullanılan modüler çelik kalıplar..... 22	22
Şekil 2.3. Mafsallı kiriş deney numunelerine ilişkin boyutlar ve deney düzeneği. 23	23
Şekil 2.4. Mafsallı kirişlerin üretiminde kullanılan donatı detayı. 24	24
Şekil 2.5. Mafsallı kiriş deney numunelerine kür uygulaması. 25	25
Şekil 2.6. Mafsallı kiriş deneyinde bir görünüm. 26	26
Şekil 2.7. Veri toplama ünitesi..... 26	26
Şekil 2.8. Deney numuneleri kodlama şeması..... 27	27
Şekil 3.1. $\Phi 10$ -C300-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi..... 29	29
Şekil 3.2. $\Phi 12$ -C300-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi..... 30	30
Şekil 3.3. $\Phi 14$ -C300-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi..... 31	31
Şekil 3.4. $\Phi 10$ -C300-150 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi..... 32	32
Şekil 3.5. Donatının koştuğu kiriş numunesi. 32	32
Şekil 3.6. $\Phi 12$ -C300-150 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi..... 33	33
Şekil 3.7. $\Phi 14$ -C300-150 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi..... 34	34
Şekil 3.8. $\Phi 10$ -C300-200 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi..... 35	35

Şekil 3.9. Donatının koptuğu görülen kiriş numunesi.	35
Şekil 3.10. Φ 12-C300-200 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.	36
Şekil 3.11. Φ 14-C300-200 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.	37
Şekil 3.12. Φ 10-C250-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.	38
Şekil 3.13. Φ 12-C250-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.	39
Şekil 3.14. Φ 14-C250-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.	39
Şekil 3.15. Φ 10-C400-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.	40
Şekil 3.16. Φ 12-C400-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.	41
Şekil 3.17. Φ 14-C400-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.	42
Şekil 3.18. Φ 10-C500-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.	43
Şekil 3.19. Φ 12-C500-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.	44
Şekil 3.20. Φ 14-C500-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.	45
Şekil 4.1. Φ 10-C300-(100mm-150mm-200mm) numunelerinin çekme gerimesi-sıyrılma eğrileri.	48
Şekil 4.2. Φ 12-C300-(100mm-150mm-200mm) numunelerinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.	49
Şekil 4.3. Φ 14-C300-(100mm-150mm-200mm) numunelerinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.	50
Şekil 4.4. Birinci seri deneyler sonucu maksimum gerilmeler.	51
Şekil 4.5. Φ 10-(C250-C300-C400-C500)-100mm numunelerinin çekme gerimesi-sıyrılma eğrileri.	53
Şekil 4.6. Φ 12-(C250-C300-C400-C500)-100mm numunelerinin çekme gerimesi-sıyrılma eğrileri.	54
Şekil 4.7. Φ 14-(C250-C300-C400-C500)-100mm numunelerinin çekme gerimesi-sıyrılma eğrileri.	55
Şekil 4.8. Φ 10-(C250-C300-C400-C500)-100mm numunelerinin çekme gerimesi-sıyrılma eğrileri.	57
Şekil 4.9. (Φ 10- Φ 12- Φ 14)-C300-100mm numunelerinin çekme gerimesi-sıyrılma eğrileri.	58
Şekil 4.10. (Φ 10- Φ 12- Φ 14)-C400-100mm numunelerinin çekme gerimesi-sıyrılma eğrileri.	59
Şekil 4.11. (Φ 10- Φ 12- Φ 14)-C500-100mm numunelerinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrileri.	59
Şekil 4.12. Farklı donatı çapı ve dozajlarda 100 mm kenetlenme boyu için elde edilen maksimum gerilmeler.	60

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Çalışmada kullanılan çimentonun özellikleri.	20
Çizelge 2.2. Beton üretiminde kullanılan agregaların fiziksel özellikleri.	20
Çizelge 2.3. Beton karışım oranları.	21
Çizelge 2.4. Üretilen betonların bazı mekanik özellikleri.	22
Çizelge 2.5. Deneylerde kullanılan nervürlü donatıların bazı mekanik özellikleri.	23
Çizelge 2.6. Birinci seri deney numuneleri.....	27
Çizelge 2.7. İkinci seri deney numuneleri.	27
Çizelge 3.1. Deneylerden elde edilen bazı bulgular.	46
Çizelge 4.1. $\Phi 10$ -C300-(100mm-150mm-200mm) numunelerinin maksimum gerilmelerinin karşılaştırmalı artan-azalan değerleri.	51
Çizelge 4.2. $\Phi 12$ -C300-(100mm-150mm-200mm) numunelerinin maksimum gerilmelerinin karşılaştırmalı artan-azalan değerleri.	51
Çizelge 4.3. $\Phi 14$ -C300-(100mm-150mm-200mm) numunelerinin maksimum gerilmelerinin karşılaştırmalı artan-azalan değerleri.	52
Çizelge 4.4. $\Phi 10$ -(C250-C300-C400-C500)-100mm numunelerinin maksimum gerilmelerinin karşılaştırmalı artan-azalan değerleri.	56
Çizelge 4.5. $\Phi 12$ -(C250-C300-C400-C500)-100mm numunelerinin maksimum gerilmelerinin karşılaştırmalı artan-azalan değerleri.	56
Çizelge 4.6. $\Phi 14$ -(C250-C300-C400-C500)-100mm numunelerinin maksimum gerilmelerinin karşılaştırmalı artan-azalan değerleri.	56

SİMGELER

A_s	Donatı alanı
a	İki donatı arasındaki mesafe
b	Donatının yan yüze olan mesafesi
c	Pas payı
c_0, c_1	Kenetlenme boyunun tespiti için gerekli deneysel katsayılar
F	Nervürlü donatının betona uyguladığı eğik kuvvet
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{ctk}	Betonun karakteristik çekme dayanımı
f_{cv}	Betonun kesme dayanımı
F_s	Eğilme etkisindeki bir kiriş donatısında oluşan çekme kuvveti
f_{yd}	Donatı hesap akma dayanımı
f_{yk}	Donatı karakteristik akma dayanımı
h	Mafsallı Kiriş deneyinden donatıyla çelik mafsal arasındaki mesafe
h_r	Nervür yüksekliği
l_b	Kenetlenme boyu
M	Eğilme momenti
N	Donatıdaki merkezi çekme kuvveti
n	Demet donatısındaki çubuk sayısı
P	Çekip çıkarma deneyinde uygulanan çekme kuvveti
s_r	İki nervür arasındaki mesafe
u	Donatı çevre uzunluğu
V	Kesme kuvveti
z	Moment kolu
ε	Birim şekil değiştirme
ε_s	Çeliğin birim şekildeğiştirilmesi
σ_s	Donatıdaki gerilme
τ_a	Donatı yüz alanı boyunca kimyasal yapışmadan oluşan kayma gerilmesi
τ_b	Aderans gerilmesi
Φ	Donatı çapı

ÖZET

BETON DAYANIMI VE KENETLENME BOYUNUN BETON-DONATI ADERANSINA ETKİSİNİN MAFSALLI KİRİŞ DENEYİ İLE İNCELENMESİ

Talha ARSLAN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin ARSLAN

Nisan 2017, 66 sayfa

Bilindiği gibi, betonarme varlığını betonla donatı arasındaki aderansa borçludur. Beton-donatı aderansı konusunda birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, aderans olayının karmaşık olması sebebiyle konu tam olarak aydınlatılamamıştır. Bu sebeple, bu tez çalışmasında, farklı donatı çapları, kenetlenme boyları ve çimento dozajı kullanarak üretilen betonlarla donatı arasındaki aderans mafsallı kiriş deneyi yardımıyla eğilme altında deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma, sabit 300 dozajla üretilen, farklı donatı çapı ve kenetlenme boylarının (100 mm, 150 mm ve 200 mm) kullanıldığı ve 250, 300, 400 ve 500 dozajlarla üretilen, farklı donatı çapı ve sabit 100 mm kenetlenme boyunun kullanıldığı iki seri halinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler toplam 18 mafsallı kiriş üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları, kenetlenme boyunun, beton dayanımının ve donatı çapının aderans dayanımını önemli derecede etkilediğini ortaya koymuştur. Artan kenetlenme boyu ve beton dayanımını için ulaşılan maksimum gerilmeler artarken sıyrılmalar azalmış, donatı çapı arttıkça ise sıyrılmalar artarken gerilme değerleri azalmıştır. Aynı çap ve kenetlenme boyu için dört farklı dozajla üretilen dayanımları değişken betonlarda, $\Phi 10$, $\Phi 12$ ve $\Phi 14$ için ulaşılan maksimum yük değerleri sırasıyla %5-34, %13-29, %8-26 arasında artışlar olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Beton dayanımı, Donatı çapı, Kenetlenme boyu, Mafsallı kiriş deneyi.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF CONCRETE STRENGTH AND DEVELOPMENT LENGTH EFFECTS ON BOND STRENGTH BY USING HINGED BEAM TEST

Talha ARSLAN

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Civil Engineering

Master Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mehmet Emin ARSLAN

April 2017, 66 pages

As it is known, reinforced concrete owes its existence to the bond strength between concrete and steelrebar. Although many studies have been carried out on bond strength, the subject has not been fully clarified as bond strength phenomenon is complicated. Therefore, in this thesis, the bond strength between rebar and concrete produced by using different rebar diameters, development lengths and cement dosages have been experimentally observed in bending with the help of hinged beam test. The experimental work was carried out in two series using different reinforcement diameters and development lengths (100 mm, 150 mm, 200 mm) with constant 300 dosage and different rebar diameters and a constant 100 mm development length with 250, 300, 400 and 500 dosages. Experiments were carried out on a total of 18 hinged beams. The results of the experiment showed that development length, concrete strength and reinforcement diameter significantly affect the bond strength. While the maximum stress increased for extending development length and concrete strength, slips decreased, as the reinforcement diameter expanded stress values decreased while the slip increased. The maximum load rates achieved for $\Phi 10$, $\Phi 12$ and $\Phi 14$ in variable concretes produced with four different dosages on different concrete strengths for the same diameter and development length increase respectively between %5-34, %13-29, and % 8-26.

Keywords: Concrete strength, Rebar diameter, Development length, Hinged beam test.

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi, betonarme varlığını betonla donatı arasındaki aderansa borçludur [1]. Aderans, beton ile donatı arasındaki kenetlenmeyi sağlayan kayma gerilmeleri olarak tanımlanmaktadır. Aderansın tam olarak sağlanabilmesi uygun bir kenetlenme boyunun mevcut bulunması gerekmektedir. Uygun kenetlenme boyu, donatı akma dayanımına ulaştığında beton ve donatı arasında önemli bir sıyrılma oluşturmeyen boy olarak ifade edilebilmektedir. Yapı ömrü boyunca aderansla önemli bir azalmanın olmaması için ise aderansı olumsuz etkileyen faktörler dikkate alınarak gerekli önlemler alınmalıdır.

Aderans dağılımını etkileyen parametreleri belirlemek için birçok deney türü geliştirilmiştir. Bu deneylerden en yaygın olarak kullanılanı merkezi çekip çıkarma deneyidir. Bu deney basit olmasına rağmen, kesme kuvvetlerinin bulunmaması, gerilme yığılmalarının oluşması gibi eksiklikleri nedeniyle gerçek davranışı tam olarak yansıtmamaktadır. Bu nedenle birçok deney türü geliştirilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, tam olarak aydınlatılmamış olan beton-donatı aderansı konusuna ilişkin, farklı donatı çapları, kenetlenme boyları ve çimento dozajı kullanarak üretilen betonlarla donatı arasındaki aderans mafsallı kiriş deneyi yardımıyla eğilme altında deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma, sabit 300 dozajla üretilen, farklı donatı çapı ve kenetlenme boylarının (100 mm, 150 mm ve 200 mm) kullanıldığı ve 250, 300, 400 ve 500 dozajlarla üretilen, farklı donatı çapı ve sabit 100 mm kenetlenme boyunun kullanıldığı iki seri halinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler iki tekrarlı olarak toplam 18 mafsallı kiriş üzerinde gerçekleştirilmiştir.

1.1 ADERANS TÜRLERİ

Aderans, donatı ile beton arasındaki kayma gerilmesi ve yük aktarımı sağlayan mekanizma olarak tanımlanabilmektedir. Betonarme yapı elemanlarında aderans sayesinde, donatıdaki gerilmeler ve yapı elemanında oluşan iç kuvvetler bir kesitten diğer kesite aktarılmaktadır. Gerçekleşen bu olay Uyum (Adaptasyon) olarak

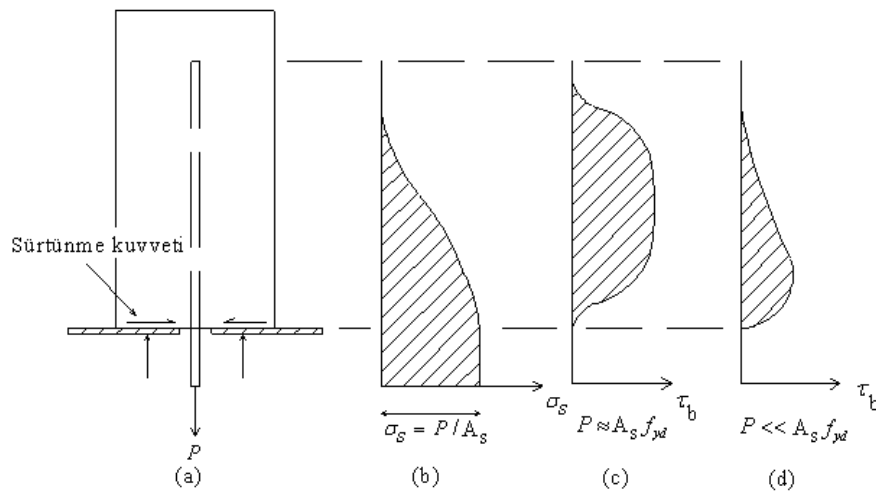
adlandırılmaktadır [2], [10].

Beton ve çelik çubuk arasındaki aderansın donatının yüzeyinin düz ya da nervürlü olması durumuna göre üç farklı şekilde gerçekleştiği kabul edilmektedir [3], [4]. Bunlar;

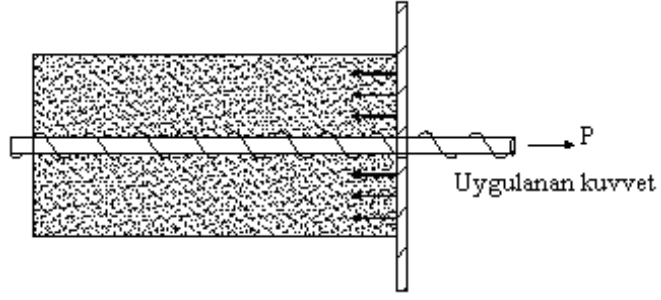
- Moleküler ve kapiler bağ kuvvetlerinden doğan kimyasal yapışma,
- Sürtünme kuvvetleri,
- Mekanik etkileşimdir.

Yüzeyi düz donatılarda aderans ilk iki maddedeki nedenlere bağlıdır. Yüzeyi nervürlü olan donatılarda ise aderans mekanik etkileşim sayesinde sağlanmaktadır. Düz yüzeyli donatılarda aderansı sağlayan kimyasal ve sürtünme kuvveti etkisi nervürlü donatılarda oldukça düşüktür.

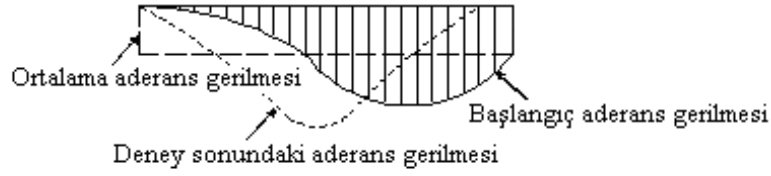
Aderans gerilmeleri (τ_b), kenetlenme boyunca (l_b) düzgün dağılmadığından kenetlenme boyu tam olarak hesaplanamamaktadır. Aderans gerilmelerinin belirlenmesinde kullanılan en basit deney çekip-çıkarma deneyi olup, deneye ilişkin düzenek ve donatıda oluşan çekme ve kayma gerilmeleri sırasıyla Şekil 1’de verilmektedir [4], [5]. Şekillerden de aderans gerilmelerinin dağılımının düzgün yayılı olmadığı ve donatı çubuğuna etkiyen kuvvete göre değiştiği görülmektedir. Aderans gerilmelerinin çekip çıkarma deneyi başlangıç ve sonundaki dağılımı ve ortalama aderans gerilmesi değeri Şekil 1.2’ de verilmektedir



Şekil 1.1. Merkezi çekme etkisindeki donatıdaki çekme ve aderans gerilmesi dağılımı [6].



a) Çekip Çıkarma Deney Düzeneği



b) Aderans Gerilmesi Dağılımı

Şekil 1.2. Çekip-çıkarma deneyinde deney başlangıç ve sonundaki gerilme dağılımı [6].

Aderans gerilmelerinin, kenetlenme boyunca herhangi bir değişime uğramadığını kabul edilirse, τ_b aderans gerilmesini, ϕ donatı çapını, f_{yd} donatının akma dayanım değerini göstermek üzere kenetlenme boyu aşağıdaki verilen (1.1) bağıntısı ile ifade edilebilir.

$$\sum (\tau_b \times \text{birim alan}) = P, \quad \tau_b (\pi\phi) l_b = A_s f_{yd} = \frac{\pi\phi^2}{4} f_{yd} \text{ ise;}$$

$$l_b = \frac{f_{yd}}{4\tau_b} \phi \quad (1.1)$$

Aderansı etkileyen bir çok değişken mevcut olup en önemlilerinden biri betonun çekme dayanımıdır (f_{ctd}).

c_0 ve c_1 birer katsayı olmak üzere ;

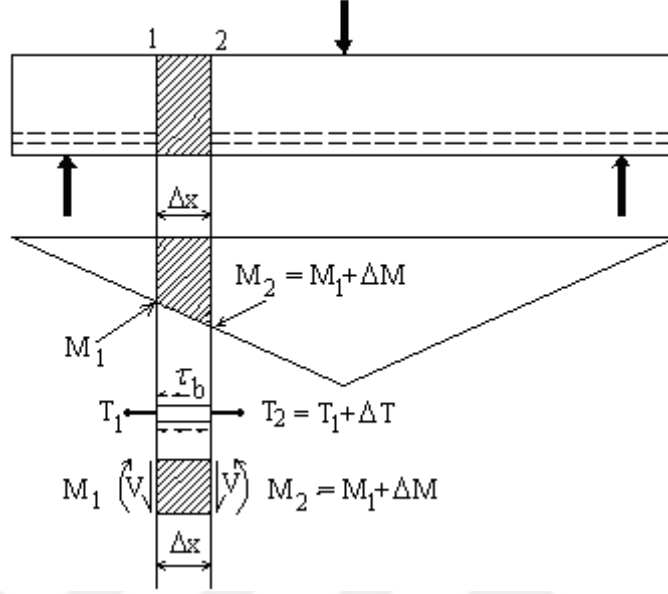
$$\tau_b = c_1 f_{ctd} \text{ ve } \frac{1}{4c_1} = c_0 \text{ varsayımları yapılırsa kenetlenme boyunun genel denklemi}$$

(1.1) bağıntısına konulduğunda;

$$l_b = c_0 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi \quad (1.2)$$

şeklinde yazılabilir. c_0 katsayısı deneyler ile belirlenmesi gerekmektedir.

Bir yapı elemanı eğilme etkisinde ise moment değerinin bir kesitten diğer kesite değişmesi için, donatı gerilmelerinin de değişmesi gerekmektedir. Donatıdaki bu değişim Şekil 1.3'te görüldüğü gibi aderans gerilemeleri ile açıklanabilmektedir [3], [5].



Şekil 1.3. Eğilme kuvveti etkisi altında betonarme kirişte moment ve iç kuvvetler.

Δx uzunluğundaki donatı çevresinde etkileşen aderans gerilemeleri tümünün çubuğun iki ucu arasındaki çekme kuvvetleri farkına eşit olması gerekmektedir. Çubuğun çevre uzunluğu (u), moment kolu (z) olmak üzere;

$$\tau_b \cdot u \cdot \Delta x = \Delta T = \frac{\Delta M}{z} \quad (1.3)$$

eşitliği elde edilmektedir. Kesme kuvveti ($V = \Delta M / \Delta x$) olduğu eğilmede aderans gerilmesi;

$$\tau_b = \frac{V}{u \cdot z} \quad (1.4)$$

şeklinde yazılabilir.

Son yıllarda eğilmede aderans dayanımı üzerine yapılmış çalışmalarda bağıntı (1.4)'ün bazı durumlarda sağlıklı ve yeterli bir ölçü olmadığı görülmüştür. Buna sebep olarak aderansın gerilmelerinin donatı boyunca değişim göstermesi ve çatlamanın donatıda oluşturduğu kesit gerilme farklılıklarıdır.

1.2 ADERANSI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Aderans gerilmelerinin birçok değişkene bağlı olduğu bilinmektedir. Beton donatı aderansını etkileyen başlıca etkenler; donatının mekanik özelliği, şekil geometrisi ve yüzey şekli, donatı çapı, kenetlenme boyu, beton örtü kalınlığı, sargı donatısı, beton üretiminde kullanılan agrega cinsi ve katkı maddeleridir. Bunlardan en önemlileri aşağıda açıklanmaktadır [3].

1.2.1 Beton Ve Beton Bileşiminin Aderansa Etkisi

Aderans dayanımını etkileyen en önemli özelliklerden biri betonun çekme ve basınç gerilmeleridir. Bağlantı (1.2)' den de açıkça görüldüğü gibi çekme dayanımı ile kenetlenme boyu arasında ters orantı bulunmaktadır. Özellikle aderans etkisi arttırılmış donatı olarak da anılan nervürlü donatının kullanılmasıyla bu özellik daha da önemli duruma gelmektedir. Nervürlü donatılarda yüzey geometrisinden kaynaklanan eğik kuvvetlerin düşey bileşeni beton yüzeyinde çekme gerilmesine sebep olması ve betonda iç çatlakların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Aderans etkisinin koptuğu andaki aderans gerilmesi τ_{adr} ile betonun karakteristik basınç dayanımı f_{ck} arasında Şekil 1.4' deki gibi bir ilişki bulunmaktadır [7], [8], [9]. Şekilden de görüldüğü üzere aderans dayanımı, basınç dayanımı ile dolayısıyla çekme dayanımıyla da doğru orantılıdır.

Beton üretilirken bileşimi içeriğindeki iri agrega miktarının azalması aderans dayanımı ile doğru orantılı olup azaltmaktadır. Bir diğer husus da bileşime katılan çimento ve kum miktarlarındaki artış aderans dayanımı ile ters orantılı olup azaltmaktadır. Çimento türünün aderans dayanımını doğrudan etkilemektedir. Portland tipi normal ve yüksek dayanımlı çimentolar aderans yönünden iyi davranış göstermektedir. Betonun basınç dayanımı su/çimento oranı azalması ile artacağından aderans dayanımına olumlu bir etkisi bulunmaktadır. Bunun yanında betonun iyi bir şekilde kalıba yerleştirilememesi sonucu betonun içerisinde oluşan boşluklar aderans dayanımını olumsuz etkilemektedir [7].

Taze beton üzerine sıcaklık, nem, donma gibi ortam koşullarının etkisi aderans dayanımını da aynı orantıda etkilemekte olduğu gibi beton sertleşme süresini tamamlayana kadar bu gibi olumsuz etkilere karşı önlem alınmadığında aderans dayanımında büyük ölçüde azalmalar oluşmaktadır [7].



Şekil 1.4. Korozyona uğramış giriş donatıları.

1.2.2 Donatının Yüzeyinin Aderans Dayanıma Etkisi

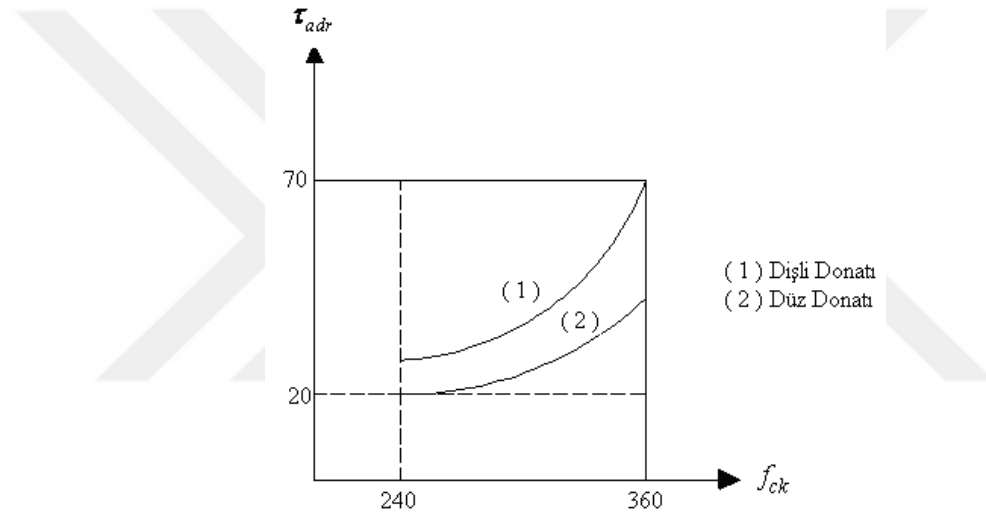
Donatının yüzeyi niteliği, donatının betonla etkileşeceği yüzey olup aderans dayanımında açısından oldukça önemlidir. Korozyon aderans dayanımını etkileyen en önemli olaylardandır. Yüzeyinde kıvılcık-turuncu arasında bir renk taşınması yüzeyin aderans dayanımına etkisi olumlu iken, korozyonun ilerlemiş evrelerinde hem donatı çapındaki değişikliğe hem de betonla donatı arasındaki aderansa olumsuz etkilerle yol açabilmektedir. Korozyondan dolayı pas payı dökülmüş ve aderansı kaybolmuş bir yapı elemanı Şekil 1.4'te görülmektedir. Aynı zamanda yüzeyleri yağlı, çamurlu, topraklı donatıların kullanılması halinde de aderans dayanımında azalmalar oluşmaktadır [10]. Özellikle sülfat etkisindeki elemanlarda korozyondan dolayı aderans dayanımının azalmasını engellemek için korozyon önleyici yüzey kaplama malzemeleri kullanılmaktadır [11].

Son yıllarda korozyona neden olan sülfatlı sularında etkisindeki yapılarda, epoxy ile kaplanmış donatı kullanımı artmıştır. Ancak epoxy kaplaması, beton ve donatı arasındaki aderans dayanımını, normal donatıya göre yüzde 15 kadar azaltmaktadır [11]. Bu sebeple, kaplanmış donatıların kullanılması durumunda, daha dikkatli olunmalı ve kenetlenme boyu bu durum göz önüne alınarak belirlenmelidir. El-Hawary [12], gerçekleştirdiği çalışmada epoxy kaplı donatı kullanmış ve numuneleri Arabistan Körfezi'nin sülfatlı sularına maruz bıraktıktan sonra aderans dayanımlarını çekip-çıkarma deneyi ile incelemiştir. Çalışmalarında ilk altı ayda, aderans gerilemelerinde göz ardı edilebilir seviyelerde azalma olduğunu ve artarak devam ettiğini gözlemlemiştir. Çalışmanın sonunda, sülfat etkisindeki epoxy ile kaplanmış ve

kaplanmamış donatıların aderans dayanımlarının birbirine benzer olduğunu belirtmiştir.

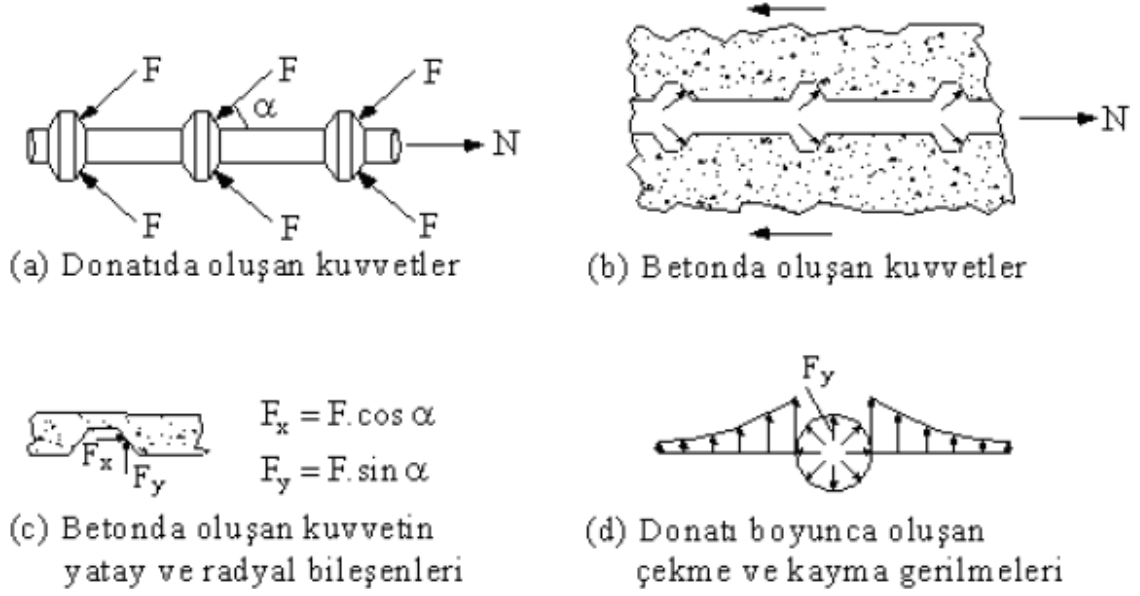
1.2.3 Yüzey Geometrisinin Aderans Dayanımı Etkisi

Yüzeyi düz olan donatılarda aderans daha çok kimyasal yapışmayla sağlanmaktadır. Bunun yanında sürtünme kuvveti de sıyrılmanın başlaması ile birlikte aderans dayanımına katkıda bulunmaktadır. Ancak, düz yüzeyli donatı ile beton arasında mekanik bir etkileşim olmadığından, aderans dayanımları oldukça düşüktür. Bu sebeple bazı özel durumlar dışında yönetmeliklerde düz yüzeyli donatıların kullanılmasına izin verilmemektedir. Düz yüzeyli donatı kullanıldığında gerekli olan kenetlenme boyuyla beton örtü kalınlığı arttırılmalı ve kenetlenme düz yapılmamalıdır [3], [5].



Şekil 1.5. Nervürlü ve düz yüzeye sahip donatı ile beton arasındaki aderans.

Nervürlü donatılarda ise kimyasal yapışma ve sürtünmenin katkısı oldukça düşüktür. Bu donatılarda kenetlenme, dişlerin eğimli yüzeylerinin betonla bulunduğu kısımlarda oluşan eğik kuvvetlerle sağlanmaktadır. Çekme etkisi ile donatıda oluşan kuvvetler Şekil 1.6.a'da, betona etkileyen donatıdaki eşdeğer kuvvetler Şekil 1.6.b' de gösterilmiştir. Bu kuvvetlerin yatay ve düşey olmak üzere iki bileşeni bulunmaktadır (Şekil 1.6.c). İki diş arasındaki betonu kesmeye ya da ezmeye zorlayan yatay kuvvet, betonda çekme gerilmesi meydana getiren ise düşey kuvvetlerdir (Şekil 1.6.d). Gerilme değerleri çekme dayanımından fazla ise betonda çatlaklar oluşmaktadır. Kenetlenme boyu ve beton örtü kalınlığı yeterli olmaması durumunda da donatıya paralel çatlaklar oluşmakta ve beton yarılmaktadır.



Şekil 1.6. Çekme kuvveti etkisinde nervürlü donatılı betonarme elemanda donatı ve betonda oluşan iç kuvvetler.

Nervürlü donatılarda, iki diş arasında kalan yüzeydeki dengelenmemiş çekme kuvvet ΔT , donatı yüzeyinde kimyasal yapışmanın meydana getirdiği kayma gerilmesi τ_a , dişlerin hemen önünde oluşan yaslanma gerilmesi σ_{cb} ve iki diş arasında kalan betonu kesmeye çalışan kayma gerilmesi τ_s ile gösterilmek üzere (Şekil 1.7) ;

$$\Delta T = \pi \cdot \phi \cdot s_r \cdot \tau_a + \pi \cdot \phi_n \cdot \sigma_{cb} \approx \pi \cdot \phi \cdot s_r \cdot \tau_s \quad (1.5)$$

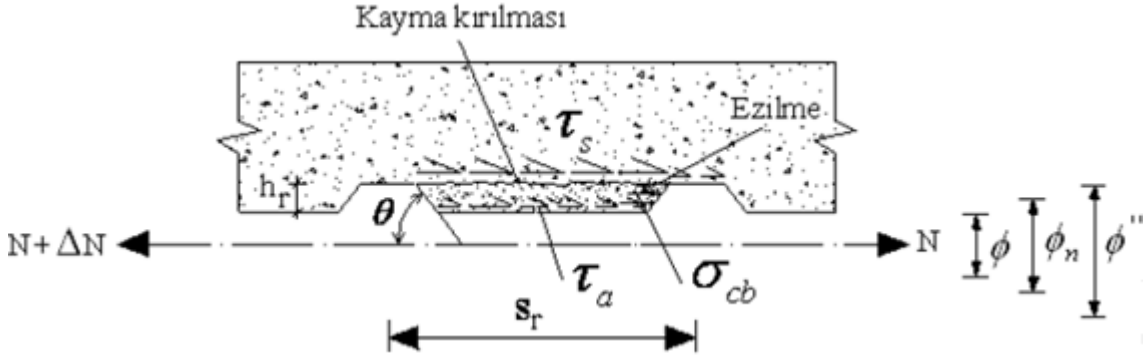
şeklinde açıklanabilir.

Yük artmaya başladığında kimyasal yapışmanın kaybolması ve kalan sürtünme kuvvetinin de donatının dişlerinin betona yaslanmasıyla oluşan aderansa kıyasla çok küçük olmasından dolayı τ_a ihmal edilebilir. Bu durumda σ_{cb} ile τ_s arasında, diş yüksekliğine (h_r) ve iki diş arasındaki mesafeye (s_r) bağlı olarak;

$$\tau_s / \sigma_{cb} = h_r / s_r \quad (1.6)$$

ifadesi yazılabilir[3], [9]. İki diş arası mesafe ve diş yüksekliğinin az olduğu durumda beton yüzeyinde kırılmaya kayma gerilmeleri hakim olmakta aderans kaybolmaktadır. Diş yüksekliğinin, dişler arası mesafeyle oranının 1/10 ($h_r / s_r \leq 0.01$) olması durumunda betonda kesme kırılması oluşmamaktadır. Bu durum beton yüzeyine uygulanan basıncın betonun yaslanma dayanımından küçük olacak, beton örtü kalınlığı ve yeterli

kenetlenme boyu olması durumunda da donatıda akma meydana gelecektir. Rehm, farklı durumlarda aderans üzerine birçok araştırma sonucu en uygun oranın 0,065 olduğunu belirtmiştir. ASTM A305 'de bu oran 0,057 ile 0,072 arasında verilmiştir [9].



Şekil 1.7. Çekme etkisindeki nervürlü donatılı elemanda kayma kırılması.

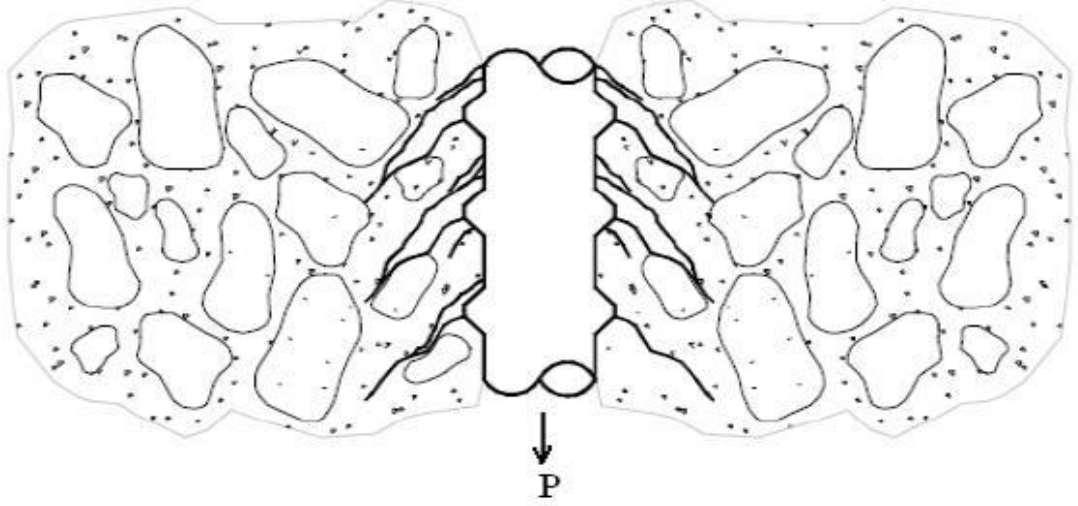
1.2.4 Donatı Kesit Alanının Aderans Dayanımına Etkisi

Aderansın etkileyen önemli hususlardan biri de donatı çapıdır [13]. Çap değişikçe, kenetlenme boyunca yüzey alanı değiştiğinden, aderans dayanımı da buna paralel olarak değişmektedir [3]. Bu nedenle küçük çaplı donatılarda aderans daha yüksektir [8], [14]. Bu sebeple, çap büyüdükçe aderans dayanımı azalacağından, kenetlenme boyu da bu oranla artırılması gerekmektedir [10].

1.2.5 Kenetlenme Boyu ile Aderans Dayanımı Arasındaki İlişki

Beton ile donatı arasındaki kenetlenmenin yeterli seviyede olabilmesi donatı akma dayanımına geldiğinde, donatının beton yüzeyinden sıyrılmaması ve betonu yarmaması gerekmektedir [3]. İstenilen bu kenetlenmenin sağlanması için uygun olan kenetlenme boyunun bulunması gerekir. Kenetlenme boyu l_b , donatıdaki gerilmenin sıfır değerinden başlayan akma dayanımı f_{yd} kadar ulaşabileceği en küçük boy olarak tanımlanmaktadır.

Aderans olayı farklı yükleme durumuna göre betonarme elemanların dayanımlarını etkilemektedir. Şekil 1.8'de betona gömülü donatı çubuğun çekilmesiyle betonda oluşan çatlaklar görülmektedir [15].



Şekil 1.8. Beton içerisindeki çubuğun çekilmesiyle betonda oluşan çatlamlar [15].

1.2.6 Aderans Dayanımı Etkileyen Diğer Faktörler

Pas payı (Beton örtü kalınlığı); özellikle betonda yarılmamanın meydana gelmemesi için, nervürlü donatı kullanılması durumunda büyük önem kazanmaktadır. Pas payı arttıkça da aderans dayanımı dolayısıyla da yarıma dayanımı artmaktadır [3], [16].

Sargı Donatısı; Fret ya da kapalı etriye gibi sargı donatılarının yerel basınç oluşturarak aderans dayanımına katkıda bulunduğu deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır. Özellikle nervürlü donatı kullanılması durumunda, meydana gelebilecek yarılmalar sargı donatısı kullanılarak engellenebilmektedir. Bindirmeli eklerin bindirme boyunca kapalı etriyelerle sarılması, kesitin yarılmaya karşı dayanımını artırdığı gibi çapı büyük olan donatıların rijit dönme sonucu betonun yırtılmasını da önlenmektedir [3], [16].

Donatıların Konumu; donatıların betonunu kalıba yerleştirilmesi sırasındaki konumu, yatay, düşey ya da kesitle yaptığı açı, kalıbın alt ya da üst yüzüne olan mesafesi, betonla donatı arasındaki aderansı önemli ölçüde etkilemektedir. Betonlama sırasında üst yüze yakın donatıların altında biriken hava kabarcıkları bu donatıların aderansını zayıflatmaktadır. Kalıbın alt kısmında ise beton daha iyi sıkıştığı için aderans daha yüksek değerler almaktadır [16].

Yüksek sıcaklık etkisi; yüksek sıcaklığın incelenen mekanik özelliklere olan olumsuz etkileri, görüntü inceleme çalışmalarından elde edilen çatlak özelliklerine de yansımış durumdadır. Yani betonların maruz kaldığı yüksek sıcaklık seviyesi arttıkça, donatı çevresinde oluşan yüzeysel çatlakların büyüdüğü, sayılarının, uzunluk ve genişliklerinin arttığı görülmektedir [17].

1.3 BETON-DONATI ADERANSINI BELİRMEDE KULLANILAN DENEYLER

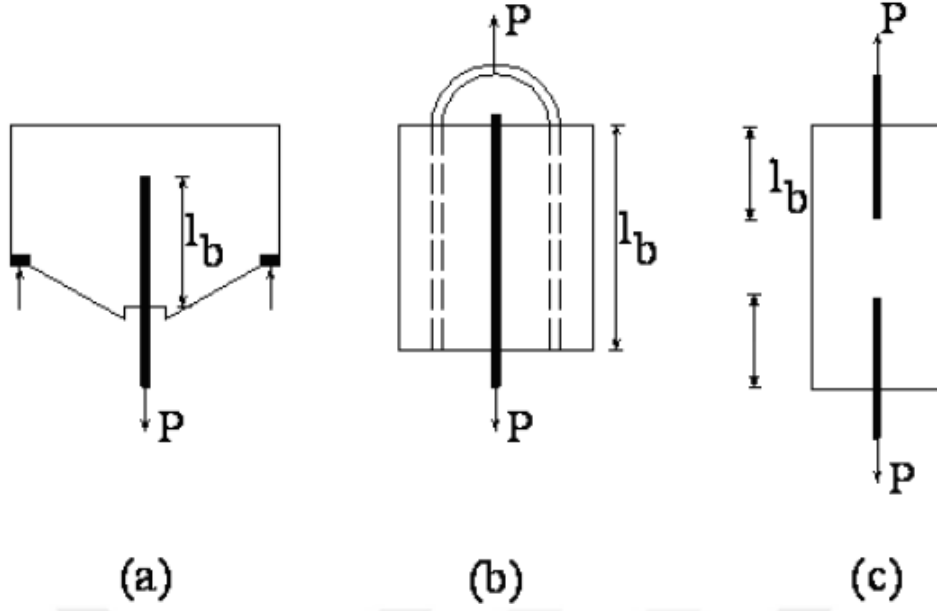
Aderansın belirlenmesinde kullanılan deneyler, dış aderansa ait deneyler ile iç aderans adı verilen çatlama özelliklerini konu alan deneyler olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Uygulamada daha az rastlansa da itip-çıkarma (push-over) deneyi de aderans davranışını belirlemede kullanılan deneylerdendir [18]. Aderansın konusunda birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, konu henüz tam olarak aydınlatılamamıştır. Bunun başlıca nedenleri;

- a) Aderans dayanımı ile kesme kuvveti etkisinin tam olarak belirlenememiş olması,
- b) Deneyde kullanılan numunelerin gerçek boyutlarını yansıtmaması,
- c) Bazı deney düzeneklerinden uygulamadan dolayı farklı olarak ihmal edilemeyecek büyüklükte gerilmelerin meydana gelmesi
- d) Donatı ve beton örtü kalınlığı ile ilgili olarak uygulamadaki numune ve gerçek boyut diğerlerinden farklı oluşudur.

Beton-donatı aderansının belirlenmesi amacıyla birçok deney düzeneği geliştirilmiştir. Bu deneylerden en yaygın olanı merkezi çekip-çıkarma (Pull-out test) deneyidir. Bunun yanında eğilmede donatı-beton aderansını belirlemek amacıyla kiriş deneyleri geliştirilmiştir. Aşağıda bu deneylerden bazılarına değinilmekte ve çalışmada kullanılan mafsallı kiriş deneyi daha detaylı açıklanmaktadır [3], [16], [8].

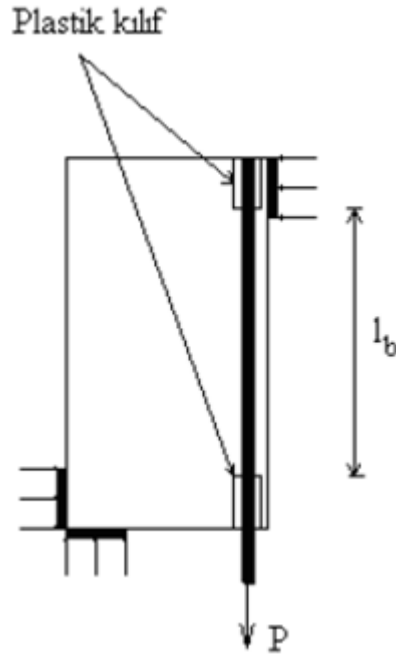
1.3.1 Çekip-Çıkarma (Pull-out) Deneyi

Beton-donatı aderansını belirlemede kullanılan deneylerden en basit ve yaygın kullanılanı çekip-çıkarma deneyidir. Bu deneyde, silindir ya da prizmatik beton numuneleri içerisine yerleştirilen donatı, merkezi yük etkisi altında çekilmekte ve



Şekil 1.10. Geliştirilmiş bazı merkezi çekip-çıkarma deney düzenekleri.

Bir diğerkirişli çelik çubuk, bir diğerkirişli destek üzerine yerleştirilmiştir. Çubukun üst kısmına bir kuvvet P uygulanmaktadır. Çubukun uzunluğu l_b olarak belirtilmiştir.



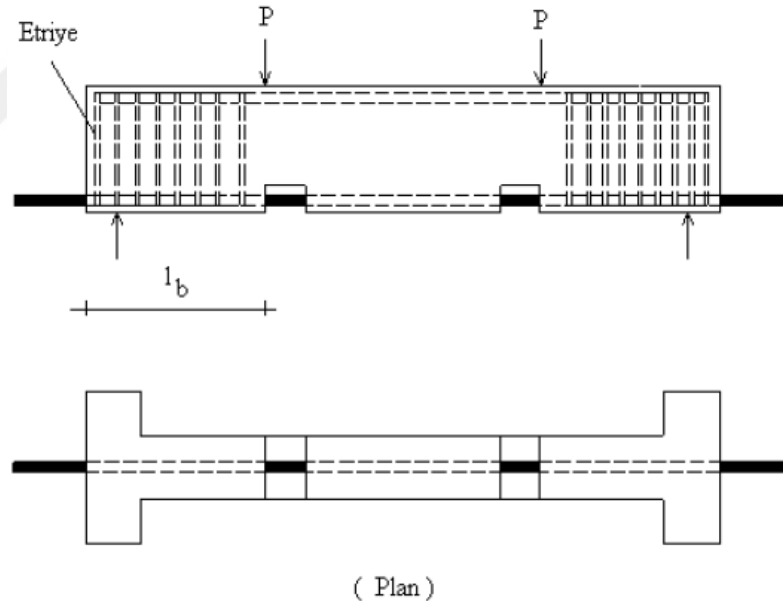
Şekil 1.11. Dışmerkez çekip-çıkarma deney düzenegi.

1.3.2 Kiriş Deneyleri

Kiriş deneyleri, çekip-çıkarma deneylerinin eğilmeye çalışan elemandaki gerçek durumu yansıtamamasından dolayı ortaya çıkmıştır. Özellikle eğilmeye çekme çatlaklarının aderans davranışlarını etkilediği gerçeği göz önünde bulundurulduğunda çekip-çıkarma deneylerinin kiriş testlerinden daha az güvenilir olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. En yaygın kullanılan kiriş deneyleri; Bureau of Standards deneyi, Teksas Çıkmalı Kiriş deneyi, Mafsallı Kiriş deneyidir [18].

1.4.2.1 Bureau of Standards Deneyi

Bu deney türü eğilmeye aderans dayanımının belirlenmesinde kullanılan bir deneydir. Bu deneyde Bureau of standard deney elemanında kesme kırılmalarını önlemek amacıyla çok fazla etriye kullanmakta ve bu durum aderansı büyük ölçüde etkilemektedir (Şekil 1.12). Bu sebeple gerçekçi sonuçlar elde etmek zorlaşmaktadır [18].

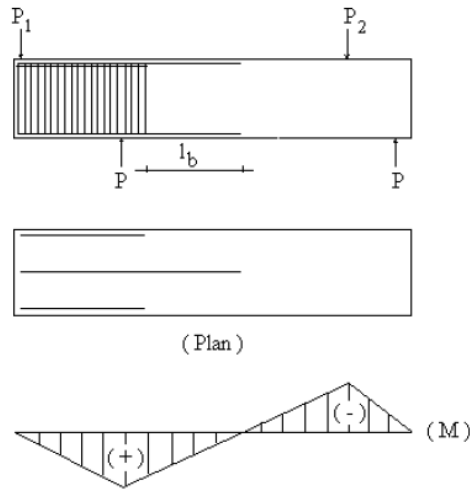


Şekil 1.12. Bureau of standards deney düzeneğinin şematik gösterimi.

1.4.2.2 Teksas Çıkmalı Kiriş Deneyi

Teksas Çıkmalı Kiriş deneyinde kenetlenme boyu incelenen donatının çok geniş bir beton kütle içerisine gömülmüş olması bu deneyin sakıncalarını arttırmaktadır (Şekil 1.13.). Bu deney düzeneğinde önemli olan nokta, donatıyı saran betonun sınırlayabilecek olan mesnetin yerel basınç gerilmesinin önlenmesidir ve yarılarak

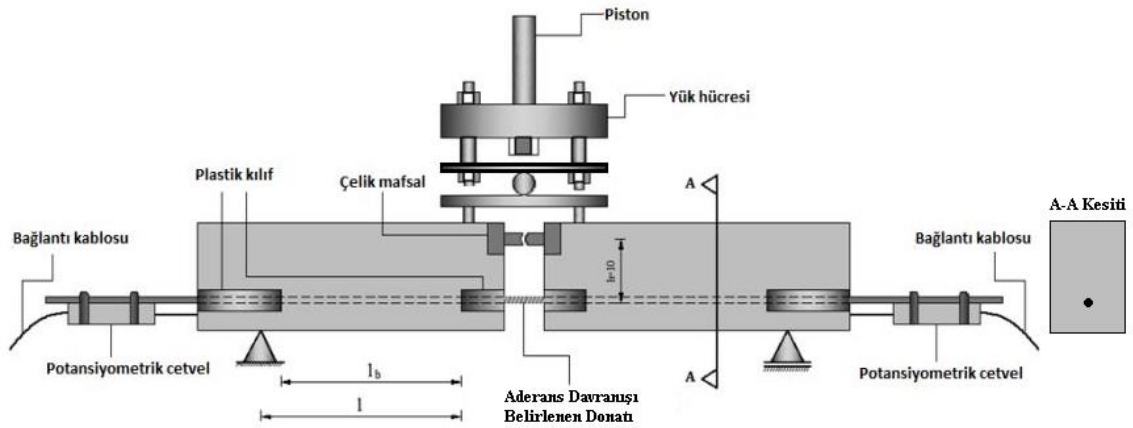
göçmenin önlenmesi ortadan kaldırılmaktadır [18].



Şekil 1.13. Texas çıkmalı kiriş deney düzeneği.

1.4.2.3 Mafsallı Kiriş Deneyi

Bir diğer kiriş deneyi olan mafsallı kiriş deneyinin ortasında mafsal bulunması bu deneyi Bureau of standard deneyinden ayırmaktadır. Mafsallı kiriş deneyinde kullanılan mafsalın amacı ise donatıda oluşan F kuvvetinin doğru olarak hesaplanabilmesini sağlamaktır. Mafsallı kiriş deneyine ait yükleme ve ölçüm düzeneği Şekil 1.14'de gösterilmiştir [16].



Şekil 1.14. Mafsallı kiriş deney düzeneği.

Mafsallı Kiriş Deneyi, Kiriş ortasından uygulanan düşey P yükü altında, çekme bölgesindeki donatının betondan sıyrılmalarının tespiti amacı ile yapılmaktadır. Uygulanan düşey sonucunda aderans davranışı belirlenen donatıda meydana gelen F çekme kuvveti belirlenmektedir. Bu kuvvete karşılık gelen gerilme değeri σ_s donatı

çapına bağlı olarak belirlenmektedir. Bu gerilme değerinin donatıda meydana getireceği aderans (τ_b) donatının üzerinde düzgün yayıldığı şekilde olduğu kabul edilerek hesaplanmaktadır. Uygulanan düşey yükler yük hücresi (Loadcell) ve bu yüke karşılık oluşan sıyrılma değerleri ise doğrusal potansiyometrik yerdeğiştirme ölçerler yardımıyla ölçülmektedir. Deneye başlamadan önce çelik mafsal kirişin ortasına yerleştirilmektedir. Burada mafsal kullanılmasının amacı, iki kısımdan oluşan kiriş deney numunelerinin üst kısmında basınç oluşturmak ve donatıdaki gerilmeyi doğru bir şekilde hesaplayabilmektir.

Teknik literatürde donatının betona göre 0,25 mm.'lik sıyrılmasına karşılık gelen aderans gerilmesi emniyetli aderans gerilmesi olarak kabul edilmektedir [3]. Liège Üniversitesi standartlarında ise donatının betona göre 3 mm. sıyrılması donatı-beton aderansının çözülmesi olarak kabul edilmektedir. Deneyler sırasında betonun içyapısından ve yüklemelerden dolayı donatıların iki ucunda farklı sıyrılma değerleri oluşması durumunda, emniyetli tarafta kalmak amacıyla, büyük olanı dikkate alınmaktadır.

A donatı alanını, ϕ donatı çapını göstermek üzere donatının kesit alanı ;

$$A = (\pi.\phi^2/4) \quad (1.7)$$

olarak elde edilir. Çelik mafsalın orta noktasında moment sıfır olduğundan;

$$(P.l)/2 = F.h \quad (1.8)$$

elde edilir. Üretilen kirişlerde $l= 25$ cm. ve $h= 10$ cm. olduğundan;

$$F=1,25.P \quad (1.9)$$

sonucu elde edilir.

Kenetlenme uzunluğu boyunca, denge durumunda donatıya etkiyen F çekme kuvvetinin, donatının etrafında oluşan toplam aderans kuvvetine eşit olması gerektiğinden σ_s donatıdaki gerilmeyi, τ_b aderans gerilmesini ve l_b kenetlenme boyunu göstermek üzere;

$$\sum(\tau_b \times \text{birim alan}) = F, \tau_b \cdot (\pi.\phi) \cdot l_b = A_s \cdot \sigma_s = \frac{\pi\phi^2}{4} \cdot \sigma_s \quad (1.10)$$

elde edilir. Bağıntı (1.10)'da gerekli düzeltmeler yapıldığında herhangi bir yük değerine

karşılık gelen τ_b aderans gerilmesi aşağıdaki verilen denklem yardımıyla elde edilir.

$$\tau_b = \sigma_s \cdot \phi / 4 \cdot l_b \quad (1.11)$$

1.4 BETON-DONATI ADERANSI KONUSUNDA DAHA ÖNCE YAPILMIŞ BAZI ÇALIŞMALAR

Bingöl v.d. sıcaklığın aderans dayanımını üzerine etkilerini belirlemek için gerçekleştirdikleri çalışmada, beton-donatı aderansının ulaşılan sıcaklık, soğutma şekline, kullanılan malzemelerin özelliklerine, beton dayanımına, deney yöntemlerine ve kenetlenme boyuna göre değiştiği sonucuna varmıştır. Ayrıca sıcaklığın aderans dayanımını bir miktar arttırdığını ve 200°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise azalmaya başladığını vurgulamışlardır [19].

Döndüren ve arkadaşları (2006) yaptığı çalışmada donatı ve beton arasındaki aderans davranışı incelemiştir. Çekip-Çıkarma deneyi ile sabit numune ebatları, farklı donatı çapları ve farklı beton dayanımları ile yapılan deneyde numuneleri etriyeli ve etriyesiz olarak incelemiştir. Yapılan çalışma sonucu etriyeli hazırlanan numunelerin aderans dayanımlarının etriyesiz numunelere göre ortalama %33 daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir [20].

Arslan (2007) yaptığı çalışmada, Doğu Karadeniz Bölümü doğal hafif agregalarının biriyle üretilen taşıyıcı hafif betonun standart mafsallı kiriş deneyi ile eğilmede donatıyla aderansını geleneksel beton-donatı aderansı ile karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Çalışmada elde edilen bulgulara göre, taşıyıcı hafif beton-donatı aderansının geleneksel betonunkinden önemli derecede düşük olduğu, dolayısıyla da bu betonlarla inşa edilen yapıların tasarımı için, yürürlükte bulunan ulusal yönetmeliklerimizde (TS 500-2000, TDY-2007) aderans konusunda verilen kuralların pek geçerli olmadığı kanısına varılmıştır [16].

Yılmaz (2009) çalışmasında düşük dayanımlı beton ve aderans özelliği az olan düz donatıyla imal edilmiş betonarme elemanlarda, kanca yapılmış farklı boyuna donatı bindirme boyunun yatay kuvvet altında performansına etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda donatının kancayla yapılan bindirmeli eklerinde yatay yükler altında davranışı incelenmiştir. Bindirme boyunun en büyük etkisinin enerji sönmlemede

görüldüğünü belirtmiştir [21].

Özturan ve arkadaşları (2013) Çalışmasında betonarme taşıyıcı elemanları meydana getiren beton ve donatı arasındaki aderans dayanımlarını hafif beton kullanarak incelemiştir. 24 adet beton karışımında farklı su/çimento oranı ve farklı çimento dozajı kullanmış üretilen beton ile farklı çapta donatı yerleştirilerek betonarme deney numunelerini hazırlanmıştır. Çekip-çıkarma deneyi ile bulunan bulgular ise; nervürlü donatının aderansı düze göre daha yüksek olduğu, beton yaşı ile aderans dayanımı arttığı, hafif agregata tane boyutunun büyümesi ile de mekanik özelliklerinde azalma olduğunu gözlemlemiştir [22].

Kazaz (2011) yaptığı çalışmada donatı ve onu saran beton arasında geçtiğini ve yük geçişleri betonarme elemanların davranışını önemli ölçüde etkilediğini ve bu gerilmelerin beton ve çelik arasındaki kenetlenmeye bağlı olduğunu bildirmiştir. Devamlı artan yükler altında kenetlenmenin kimyasal yapışmanın kolayca devre dışı kaldığı ve yük aktarımını nervür dışları etrafında gerilme durumunun ortaya çıkardığı gerilmeler tarafından sağlandığını bildirmiştir. Çalışmasında da beton ve çelik ara yüzeyinde oluşan aderans kaymasını sonlu elemanlar modellemiştir [23].

Beycioğlu (2013) yaptığı aderans deneyinde standart Belçika mafsalı kiriş deneyi yöntemini kendiliğinden yerleşen beton ile incelemiştir. Çalışmada toplam 19 farklı karışıma sahip kyb beton ile 3 farklı çelik, cam lifli ve bazalt donatılar içeren 54 adet BMK numunesi üretmiş mineral katkılarında adersana etkisini incelemiştir. Sonuç olarak agregata yerine kalsit ve çimentonun yerine mineral katkı konulması betonların reolojik özelliklerini olumlu etkilemiş kür süresine bağlı olarak da mekanik özellikleri geliştirildiğini belirtmiştir. Eğilme aderansı deneyinde ise en kötü sonucu camlı lifli donatı göstermiş bazalt lifli donatı ise yeterli düzeyde çekme dayanımı ve diğer donatı nervürlü çelik donatıya benzer şekilde iyi bir aderans dayanımı göstermiş olduğunu bildirmiştir [24].

Duran (2008) yaptığı çalışmada donatı çapı ve türünü sabit tutarak 15 cm çapında ve 10 cm yüksekliğinde 24 adet silindir numune ve yüzey açıları farklı 33 küp numune üretmiştir. Çekip-Çıkarma deneyi ile yapılacak düzener için özel çelik kalıp hazırlamıştır. Numune ile çelik kalıbın yükleme yüzeyi arasına yerleştirilmek üzere 12 mm kalınlığında, delik çapı 2, 4, 7, 8 cm olan 4 adet çelik plaka hazırlanmıştır. Sonuç

olarak, delik çapı ve ankrajlama eğimi arttıkça dinamik ve statik donatı sıyırma aderans kuvvetlerinin azaldığını bildirmiştir [25].

Arel (2012) yaptığı çalışmada 4 aşamada gerçekleştirmiştir. 1.aşama beton ile donatı arasındaki aderansı farklı sınıf betonlar, pas payı kalınlığı ve kür süresi altında etkisi incelemiştir. 2.aşama beton ile donatı arasındaki gerilmenin beton içerisinde değişik miktarlarda çelik lif kullanıldığında etkisi ve yine pas payı ve kür süresi ile deneye tutmuştur. 3.aşama lifli ve lifsiz beton numunelerini aderans deneyine tabi tutmuştur. 4.aşamada donatı çapı ile kenetlenme boyu ve pas payı kalınlığının aderansa etkisini incelemiştir. Deney olarak çekip-çıkarma deneyi gerçekleştirmiştir [15].

Dahil (2001) yaptığı çalışmada, yüksek başarılı (performanslı) ve geleneksel betonların değişik çaplardaki düz ve nervürlü donatılarla aderanslarını Mafsallı Kiriş deneyi yardımıyla karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Çalışmanın sonunda, üretilen yüksek başarılı beton-donatı aderansının geleneksel betonlarınkine göre çok daha yüksek olduğunu, donatı aderans boyunun azaltılabileceğini ve bu betonlarla inşa edilen yapıların tasarımı için bugün yürürlükte bulunan “TS 500 - Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları”nın geçerli olmadığını belirtmiştir [8].

Seyed Jamal Aldin Hosseini ve arkadaşlar (2015) yaptığı çalışmada aderans gerilmelerinin ile etriye sıklığı ve adeti arasındaki ilişkiyi bildirmiştir. Deneyinde 36 adet çekip-çıkarma deneyi ile 12 adet standart Belçika mafsallı kiriş deney numunesi hazırlamıştır. Deney sonucunda etriye sıklığı ve adetin aderansa olumlu yönde katkıda bulunduğunu bildirmiştir [26].

Pandurangan ve ark. (2015) yaptıkları araştırmada beton ile donatı arasındaki aderans dayanımlarının doğal ve dönüştürülmüş agrega olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada yapı endüstrisinin de kullanılmaya başlanmış dönüştürülmüş agregalar farklı etkileri (asit, sıcaklık, mekanik vb.) azaltılmış agregalar kullanarak 15 kiriş numunesi hazırlamışlardır. Araştırmanın sonuçlarına bakıldığında; geri dönüştürülmüş agreganın doğal agregaya göre daha az fiziksel özellik gösterdiği görülmüştür. Buna rağmen, dönüştürülmüş agreganın asit, sıcaklık ve mekanik iyileştirmelerle birlikte dönüştürülmüş agreganın fiziksel özelliklerinin geliştiği gözlemlenmiştir. Kullanılan yöntemler arasından dönüştürülmüş agregaya asidik iyileştirme yapıldığında aderans dayanımı olarak diğer yöntemlere göre daha yüksek etki gösterdiği saptanmıştır [27].

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1 BETONLARIN ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER VE KARIŞIM ORANLARI

Betonların üretiminde Bolu Çimento Fabrikası'nda TS – EN 197-1 uygun olarak üretilmiş CEM-I 42,5 R Portland çimento kullanılmıştır. Çimentoya ait fabrikasından alınan fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler Çizelge 2.1'de verilmektedir. Deney elemanları 250, 300, 400 ve 500 dozlu, sabit 0,60 su/çimento oranına sahip betonlarla üretilmiştir. Betonların üretiminde aynı tane dağılımına sahip, iri ve ince olmak üzere iki farklı agrega kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri ve tane dağılım grafiği sırasıyla Şekil 2.1'de verilmektedir. Deney elemanlarının üretiminde kullanılan betonların mutlak hacim yöntemine göre belirlenen karışım oranları Çizelge 2.3'de verilmektedir.

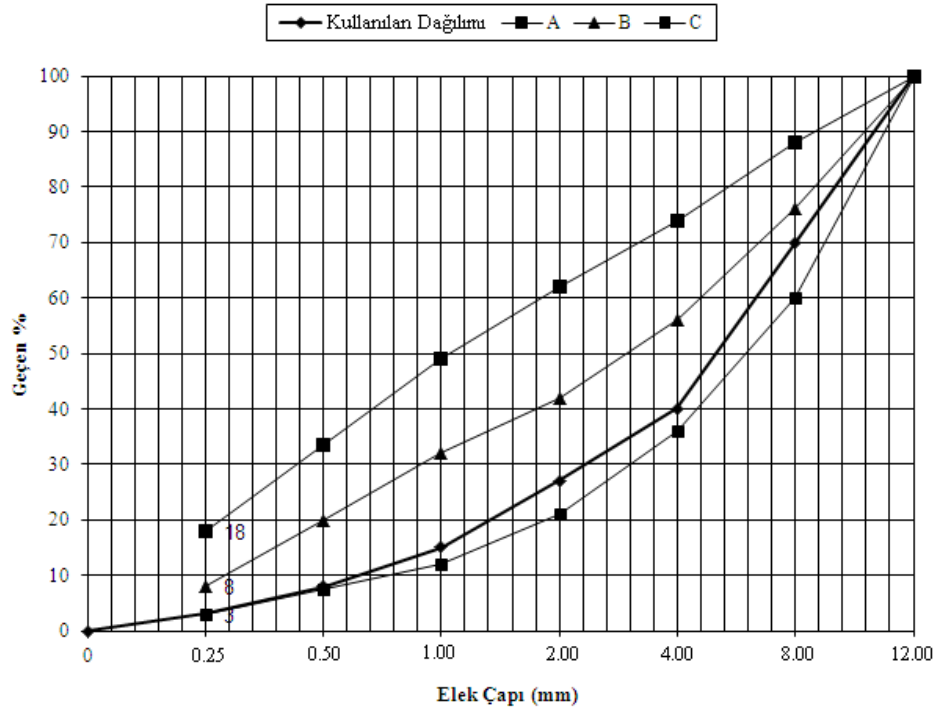
Çizelge 2.1. Çalışmada kullanılan çimentonun özellikleri.

Kimyasal Bileşim	Ağırlıkça %	Mekanik Özellikler	
SiO ₂	19,25	Basınç dayanımı (7 gün)	45,6 MPa
Al ₂ O ₃	5,12	Basınç dayanımı (28 gün)	54,2 MPa
Fe ₂ O ₃	4,32	Basınç dayanımı (90 gün)	62,2 MPa
CaO	65,70		
MgO	1,25	Fiziksel Özellikler	
SO ₃	2,80	Priz başlangıcı	2 saat 25 dakika
Na ₂ O	0,12	Priz bitişi	3 saat 15 dakika
K ₂ O	0,45	Hacim genleşmesi	1 mm
Kızdırma kaybı	3,55	Yoğunluk	3,15 g/cm ³
Çözünmeyen kalıntı	0,75	Özgül yüzey alanı	4663 Blaine cm ² /g
Serbest CaO	0,49		

Çizelge 2.2. Beton üretiminde kullanılan agregaların fiziksel özellikleri.

Tane Boyutu (mm)	Sıkı Birim Ağırlık (kg/m ³)	Gevşek Birim Ağırlık (kg/m ³)	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)		Kütlece Su Emme (%)
			Kuru	Doygun	
İri >4 mm	1580	1450	2620	2643	0.9
İnce ≤4 mm	1630	1470	2580	2610	1.1

Betonların Üretiminde Kullanılan Agregaların Tane Dağılımı



Şekil 2.1. Beton üretiminde kullanılan agregaların tane dağılım grafiği.

Çizelge 2.3. Beton karışım oranları.

Beton Türü	Eleğ Gözenek Açıklıklarına Göre Agrega Miktarları (kg/m ³)		Doyma Suyu Miktarı (kg/m ³)	Karma Suyu Miktarı (kg/m ³)	Çimento Miktarı (kg/m ³)	Akışkanlaştırıcı (kg/m ³)
	Açıklıklar (mm)					
	0-4,0	4,0-12,0				
250 Doz	793	1191	19.85	150	250	2.5
300 Doz	736	1105	18.42	180	300	3.0
400 Doz	648	972	16.20	240	400	4.0
500 Doz	550	816	13.67	300	500	5.0

2.1.1 Betonların Üretimi, Bakımı ve Deney Esnasındaki Durumu

Farklı dozajdaki betonların üretiminde 60 litre kapasiteli eğik eksenli bir betonier kullanılmıştır. Betonların üretiminde kullanılan agregalar, çimento, akışkanlaştırıcı, doyma ve karma suyu hassas terazide tartılarak hazırlanmıştır. Agregalar nemlendirilmiş betonyere ilave edilmiş ve doyma suyu ilave edilerek üç dakika karılmıştır. Hemen sonra çimento eklenerek üç dakika daha karıştırıldıktan sonra karma suyu ve akışkanlaştırıcı ilave edilmiş ve üç dakika daha karıştırılarak betonlar elde edilmiştir. Betonların bazı mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla boyutları 150 mm

olan küp numuneler, önceden yağlanmış kalıplara, üç tabaka halinde yerleştirilmiştir. Üretimlerinden bir gün sonra kalıplarından çıkarılan beton numuneler 28 gün süre ile sıcaklığı 22 °C 2 °C olan kür havuzunda bekletilmiş ve 28. günün sonunda tek eksenli basınç ve yarmada çekme deneylerine tabi tutulmuşlardır.

2.1.2 Üretilen Betonların Bazı Mekanik Özellikleri

Mafsallı kirişlerin üretiminde kullanılacak betonlardan alınan küp numuneler üzerinde gerçekleştirilen tek eksenli basınç ve yarmada çekme deneylerinden elde edilen basınç ve çekme dayanımları Çizelge 4'te verilmektedir.

Çizelge 2.4. Üretilen betonların bazı mekanik özellikleri.

Çimento Dozajına Göre Beton Sınıfı (kg/m ³)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)
250	32,10	5,91
300	34,53	6,15
400	42,49	6,55
500	50,42	6,11

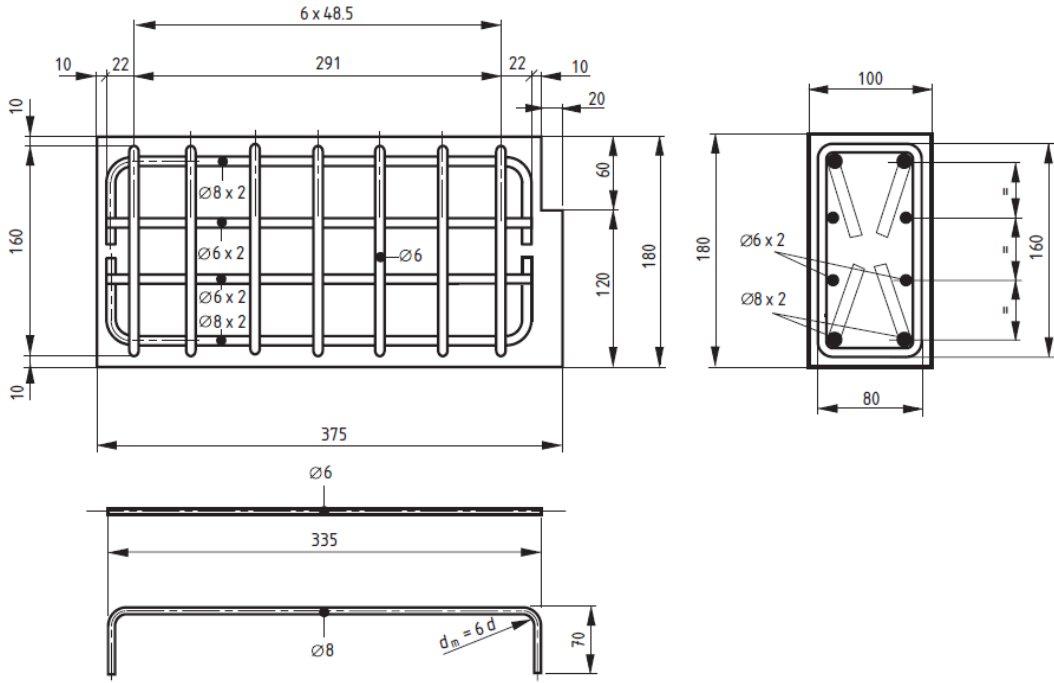
2.1.3 Kalıpların Özellikleri

Mafsallı kirişlerin üretiminde 3 mm kalınlığında modüler çelik kalıplar kullanılmıştır. Kalıplar eşit ölçülerde olup kolayca sökülüp takılabilmektedir. Kalıplar yağlanmış, kenetlenme boyuna göre plastik kılıflar ile yerleştirilmiş donatılar Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2. Mafsallı kirişlerin üretiminde kullanılan modüler çelik kalıplar.

Kirişe ait donatı detayı ise Şekil 2.4'te verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, kirişlerin üretiminde enine, boyuna ve gövde donatıları kullanılmıştır. Bu şekilde deney numunelerinde kesme ve eğilme çatlaklarının oluşması önlenmiş ya da çatlaklar kılcal düzeyde tutularak ölçümlerin daha doğru bir şekilde yapılması sağlanmıştır. Bu deney düzeneği ve donatı detayı, aderans dayanımı belirlenecek olan donatı çapının 16 mm'den küçük olması durumunda geçerlidir. Daha büyük çapta donatının test edilmek istenmesi durumunda numune boyutları ve donatı düzeninin yine BS 4449:2005'e göre belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 2.4. Mafsallı kirişlerin üretiminde kullanılan donatı detayı.

Üretilen betonlar hazırlanan kalıplara iki seride dökülmüştür. Gerekli vibrasyon ve sıkıştırma ile betonun uygun bir şekilde sıkıştırılması sağlanmıştır. Kalıplardan çıkarılan kiriş numunelerine, ıslak çuvallar kullanılarak laboratuvar ortamında kür uygulanmıştır. Laboratuvar ortamında ıslak çuvallarla kür uygulanan deney numunelerinin bir görünümü Şekil 2.5'te verilmektedir.



Şekil 2.5. Mafsallı kiriş deney numunelerine kür uygulaması.

Deney kirişlerine düşey yük 600 kN kapasiteli hidrolik piston yardımıyla 0.5 kN/s hız ile otomatik olarak yüklenmiştir. Mafsallı kirişler biri sabit diğeri ise hareketli iki mesnet üzerine yerleştirilmiş ve kirişin orta noktasından düşey olarak yüklenmiştir. Orta noktadan uygulanan yükler düşey yük hücresi (Loadcell) ile okunmuştur. Kiriş numunesinin iki ucunda donatının betondan sıyırılma miktarını ölçmek için 0,013 mm hassasiyetinde potansiyometrik ölçüm aletleri kullanılmıştır. Düşey olarak uygulanan yükler ve bunlara karşılık gelen sıyırılma değerleri eş zamanlı olarak veri toplama ünitesi yardımıyla kaydedilmiştir. Mafsallı kiriş deneyinin yapılışı esnasından bir görünüm ve veri toplama ünitesi sırasıyla Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te verilmektedir. Kiriş numunesinin orta kısmında, aderans ölçümü yapılan donatıya etkiyen kuvvetin daha kesin bir şekilde tespit edilmesi için çelik mafsal yerleştirilmiş ve donatının beton ile temas ettiği uzunluk olan kenetlenme boyu L_b donatının uç kısımlarına plastik kılıflar kullanılarak sınırlandırılmıştır (bkz. Şekil 2.2 ve Şekil 2.3).



Şekil 2.6. Mafsallı kiriş deneyinde bir görünüm.

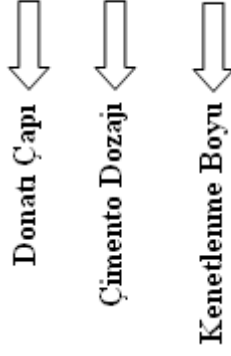


Şekil 2.7. Veri toplama ünitesi.

2.1.6 Deney Serileri ve Numunelerin Kodlanması

Eğilmede aderans davranışının belirlendiği mafsallı kiriş deneyleri iki seri olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci seride mafsallı kiriş deneyleri, 300 kg çimento dozajıyla üretilen, 100 mm, 150mm, 200mm kenetlenme boyunun 10Φ, 12Φ ve 14Φ donatıların kullanıldığı numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. İkinci seri deneylerde, 100 mm sabit kenetlenme boyu ve 10Φ, 12Φ, 14Φ donatılar 250, 300, 400 ve 500 kg çimento dozajlı betonlarla üretilen kiriş numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde toplam 18 adet mafsallı kiriş numunesi kullanılmıştır. Üretilen numunelerin daha kolay anlaşılması için aşağıda verilen kodlama şekli kullanılmıştır.

Φ XX-CYYY- ZZZ mm



Şekil 2.8. Deney numuneleri kodlama şeması.

Çizelge 2.6. Birinci seri deney numuneleri.

BİRİNCİ SERİ			
Çimento Dozajı (kg)	Donatı Çapı (mm)	Kenetlenme Boyu (mm)	Adet
300	10	100	9 Adet
		150	
		200	
	12	100	
		150	
		200	
	14	100	
		150	
		200	

Çizelge 2.7. İkinci seri deney numuneleri.

İKİNCİ SERİ			
Çimento Dozajı (kg)	Donatı Çapı (mm)	Kenetlenme Boyu (mm)	Adet
250	10	100	12 Adet
	12		
	14		
300	10		
	12		
	14		
400	10		
	12		
	14		
500	10		
	12		
	14		

3. BULGULAR

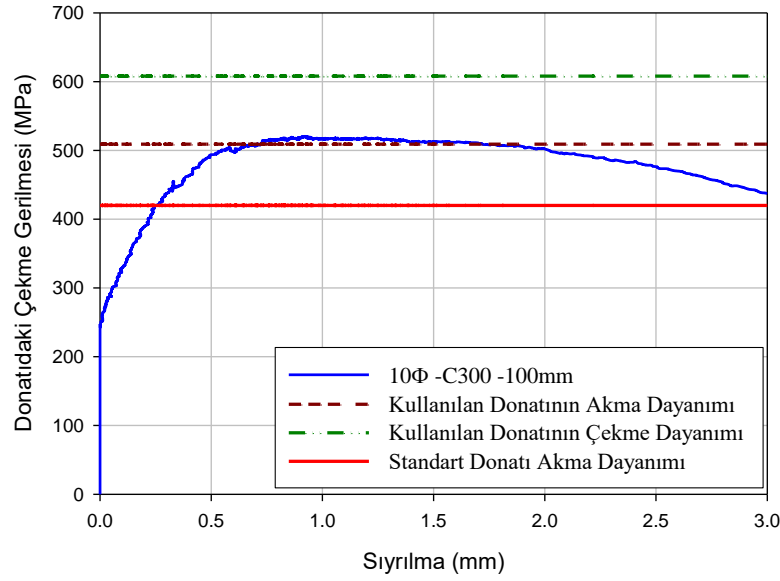
Bu çalışmada, daha önce de bahsedildiği gibi, mafsallı kiriş deneyleri iki seri halinde gerçekleştirilmiştir. Birinci seri deneylerde sabit 300 kg çimento dozajlı betonlar kullanılarak üretilen mafsallı kiriş numunelerinin beton-donatı aderansları, 10 mm, 12 mm ve 14 mm çaplı donatıların her biri için 100 mm, 150 mm ve 200 mm kenetlenme boylarında mafsallı kiriş deneyiyle incelenmiştir. İkinci seri deneylerde ise sabit 100 mm kenetlenme boyu için yine aynı çaptaki donatıların aderans davranışları 250, 300, 400 ve 500 kg çimento dozajlı betonlar kullanılarak üretilen kiriş numunelerinin beton-donatı aderansları yine mafsallı kiriş deneyiyle incelenmiştir. Böylece farklı kenetlenme boyunun ve beton dayanımının değişik çaptaki donatıların betonla olan aderansları üzerine etkileri deneysel olarak belirlenmiştir. Mafsallı kiriş deneyi ile aderans dayanımı belirlenen deney numunelerine ilişkin bulgular aşağıda verilmektedir. Burada, birinci ve ikinci seride ortak olarak bulunan $\Phi 10$ -C300-100 mm, $\Phi 12$ -C300-100 mm ve $\Phi 12$ -C300-100 mm kodlu deney bulgularının sadece birinci seri deneylerde verildiğini belirtmek uygun olacaktır.

3.1 BİRİNCİ SERİ DENEYLERDEN ELDE EDİLEN BULGULAR

Sabit 300 çimento dozajlı betonlarla, $\Phi 10$, $\Phi 12$ ve $\Phi 14$ çapında donatılar ile 100 mm, 150 mm ve 200 mm kenetlenme boyları kullanılarak üretilen mafsallı kiriş numunelerine ait deney bulguları aşağıdaki başlıklar halinde verilmektedir.

3.1.1 $\Phi 10$ -C300-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

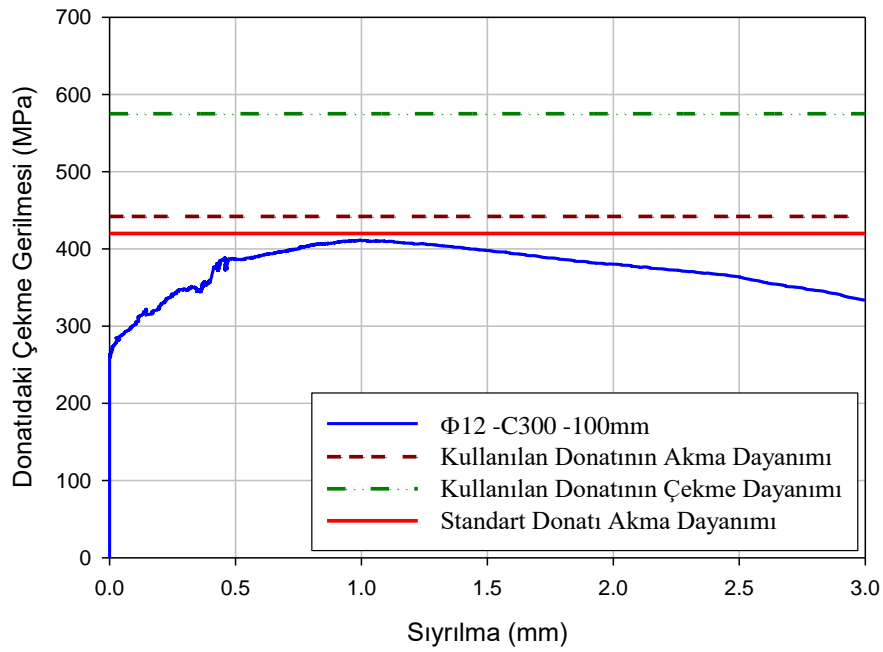
Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 10$ -C300-100 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 3.1’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmıştır. Akma dayanımına karşılık gelen sıyırılma değeri ise 0.713 mm olarak belirlenmiştir. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 520 MPa ve buna karşılık gelen sıyırılma değeri ise 0.911 mm’dir. Yine şekilden de görüldüğü gibi, donatıda ulaşılan maksimum gerilme değeri TS 500-2000’de akma dayanımı için verilen 420 MPa değerinden fazladır. Bu değere karşılık gelen sıyırılma değeri ise 0.25 mm’dir. Yüklemeye devam edildiğinde sıyırılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan önce kaybolmuştur.



Şekil 3.1. $\Phi 10$ -C300-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

3.1.2 $\Phi 12$ -C300-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

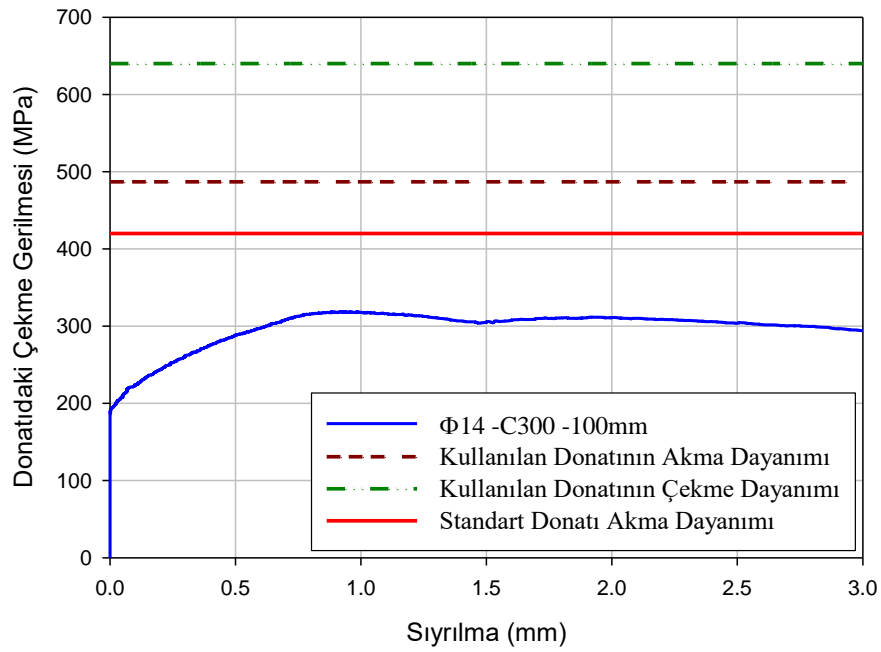
Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 12$ -C300-100 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi Şekil 3.2’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmamıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 411 MPa ve buna karşılık gelen sıyrılma değeri ise 1.00 mm’dir. 12 mm donatı çap değeri için, standart donatı akma dayanımına ulaşamamıştır. Yüklemeye devam edildiğinde sıyrılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan kaybolmuştur.



Şekil 3.2. $\Phi 12$ -C300-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.

3.1.3 $\Phi 14$ -C300-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

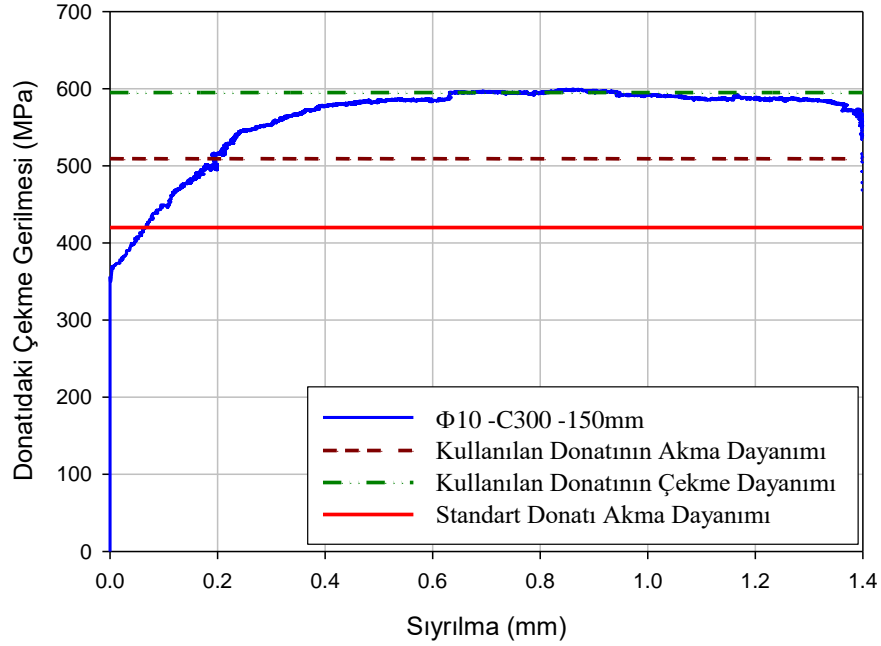
Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 14$ -C300-100 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi Şekil 3.3'te verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmamıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 319 MPa ve buna karşılık gelen sıyrılma değeri ise 0.923 mm'dir. Bu değer standart donatı akma dayanımının da çok altındadır. Yüklemeye devam edildiğinde sıyrılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan kaybolmuştur.



Şekil 3.3. $\Phi 14$ -C300-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.

3.1.4 $\Phi 10$ -C300-150 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 10$ -C300-150 mm kodlu mafsalı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 3.4'te verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmıştır. Akma dayanımına karşılık gelen sıyırılma değeri ise 0.193 mm olarak belirlenmiştir. Yüklemeye devam edildiğinde donatı çekme dayanımına ulaşmıştır. Çekme dayanımına karşılık gelen sıyırılma değeri ise 0.860 mm'dir. 420 MPa gerilme değerinde ise 0.068 mm gibi çok küçük bir sıyırılma ölçülmüştür. Yüklemeye devam edildiğinde sıyırılmalar bir miktar daha artmış ve 1.451 mm sıyırılma değerinde aderans kaybolmadan donatı kopmuştur (Şekil 3.5).



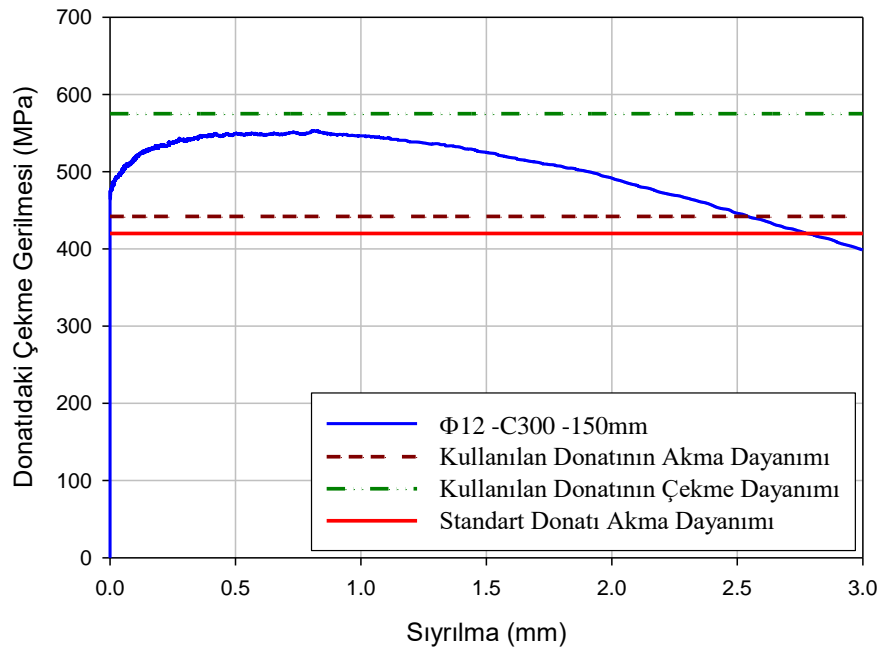
Şekil 3.4. $\Phi 10$ -C300-150 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.



Şekil 3.5. Donatının koptuğu kiriş numunesi.

3.1.5 $\Phi 12$ -C300-150 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

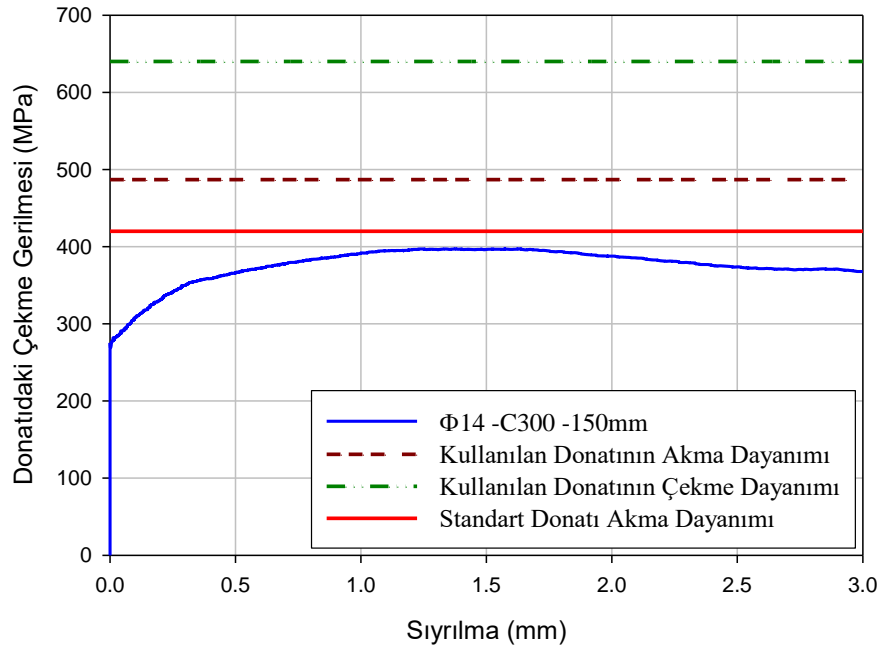
Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 12$ -C300-150 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 3.6'da verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmıştır. Donatının akma dayanımı olan 442 MPa değeri için donatıda sıyırılma meydana gelmemiştir. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 553 MPa ve buna karşılık gelen sıyırılma değeri ise 0.807 mm'dir. Yüklemeye devam edildiğinde sıyırılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan kaybolmuştur.



Şekil 3.6. $\Phi 12$ -C300-150 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

3.1.6 $\Phi 14$ -C300-150 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

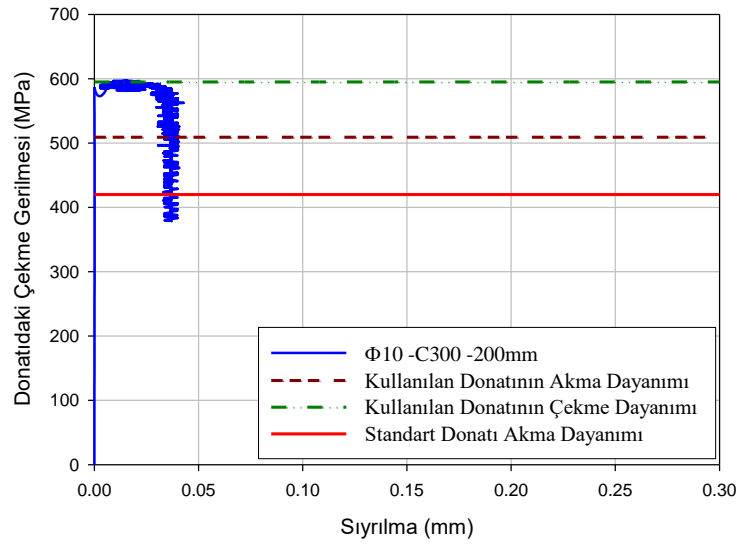
Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 14$ -C300-150 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi Şekil 3.7’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmamıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 397 MPa ve buna karşılık gelen sıyrılma değeri ise 1.377 mm’dir. Donatıdaki gerilme standart donatı akma dayanımı olan 420 MPa’nın da altındadır. Yüklemeye devam edildiğinde sıyrılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan kaybolmuştur.



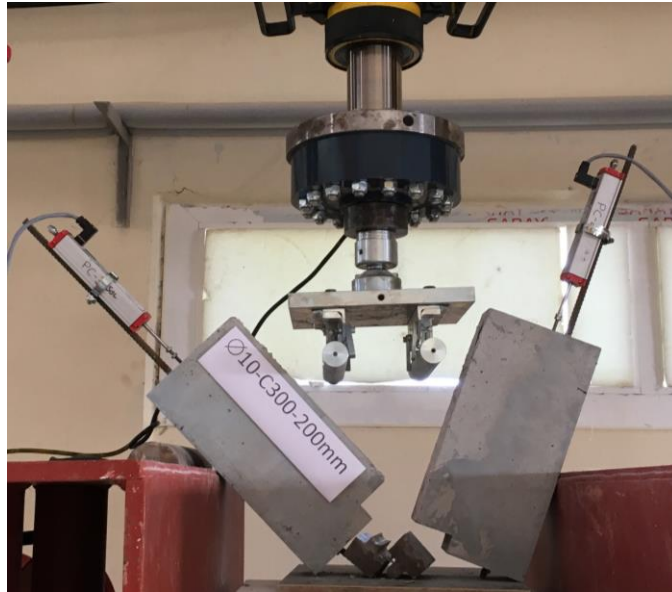
Şekil 3.7. $\Phi 14$ -C300-150 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.

3.1.7 $\Phi 10$ -C300-200 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 10$ -C300-200 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi Şekil 3.8’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına herhangi bir sıyrılma oluşmadan ulaşmıştır. Donatı çekme dayanımına 0.015 mm gibi çok küçük sıyrılma değeriyle ulaşmıştır ve 0.036 mm gibi çok küçük bir sıyrılma değeri ile donatı kopmuştur.



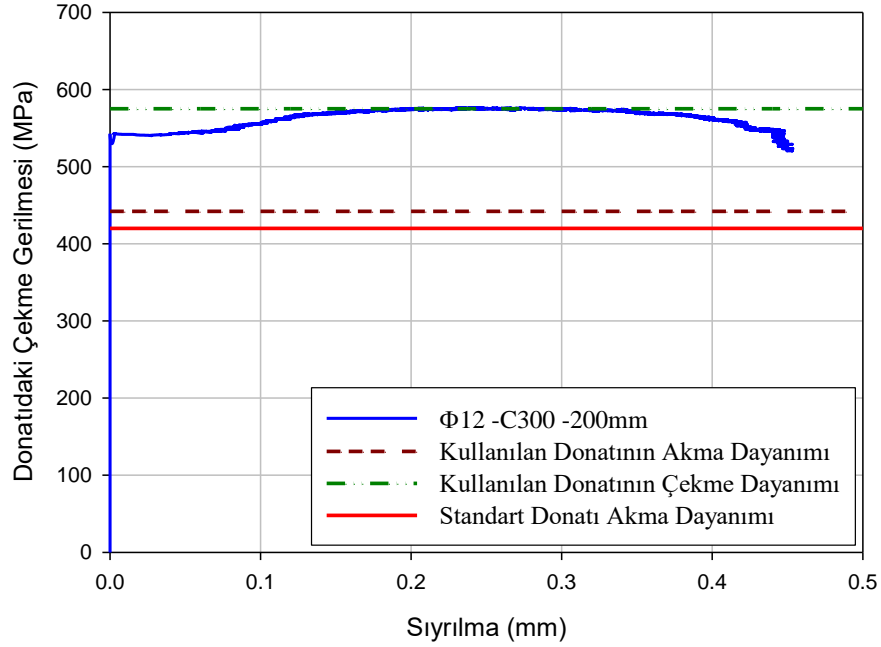
Şekil 3.8. $\Phi 10$ -C300-200 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.



Şekil 3.9. Donatının koptuğu görülen kiriş numunesi.

3.1.8 $\Phi 12$ -C300-200 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

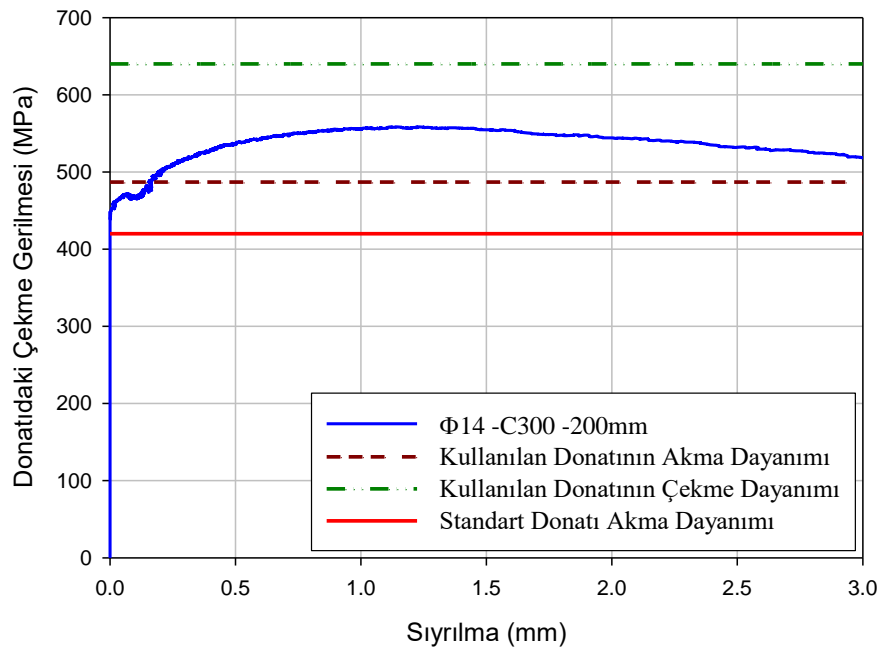
Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 12$ -C300-200 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 3.10'da verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatıda betona göre herhangi bir sıyırılma oluşmadan akma dayanımına ulaşılmıştır. Yüklemeye devam edildiğinde 0.31 mm sıyırılma ile çekme dayanımına ulaşılmıştır. Yüklemeye devam edildiğinde 0.45 mm sıyırılma ile donatı kopmuştur.



Şekil 3.10. $\Phi 12$ -C300-200 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

3.1.9 $\Phi 14$ -C300-200 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 14$ -C300-200 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi Şekil 3.11’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmıştır. Akma dayanımına karşılık gelen sıyrılma değeri ise 0.153 mm olarak belirlenmiştir. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 558 MPa ve buna karşılık gelen sıyrılma değeri ise 1.138 mm’dir. Yüklemeye devam edildiğinde sıyrılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan kaybolmuştur.

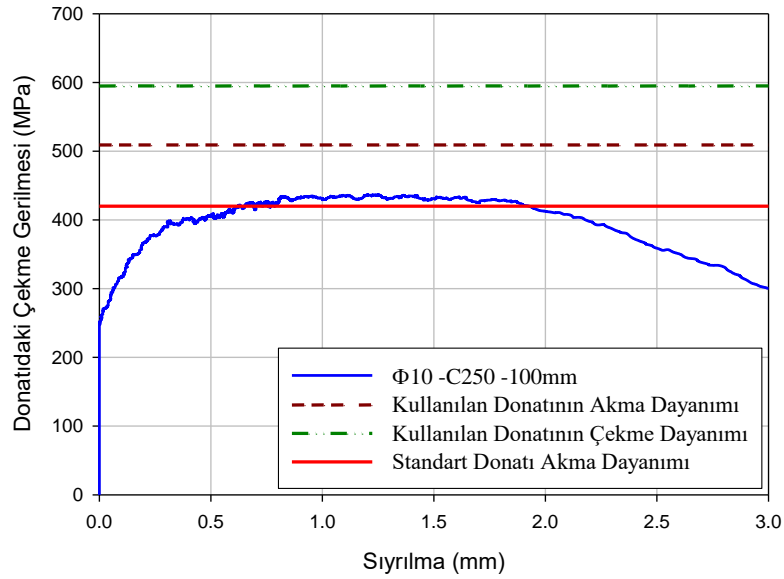


Şekil 3.11. $\Phi 14$ -C300-200 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.

3.2 İKİNCİ SERİ DENEYLERDEN ELDE EDİLEN BULGULAR

3.2.1 $\Phi 10$ -C250-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

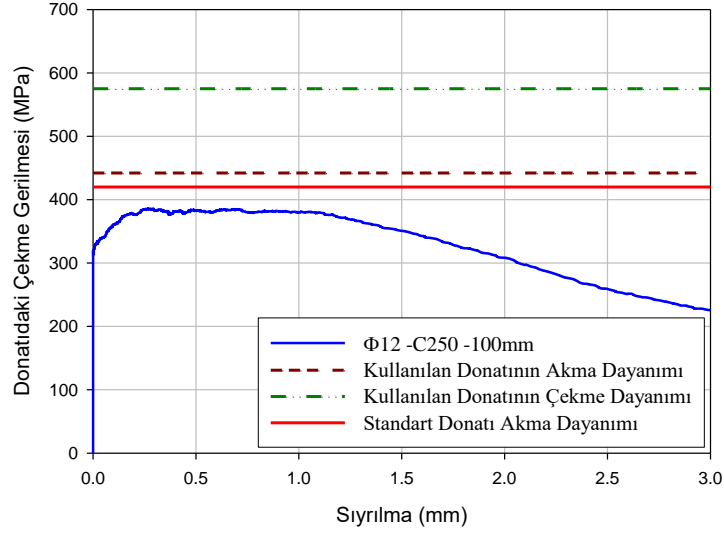
Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 10$ -C250-100 mm kodlu mafsalı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi Şekil 3.12’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmamıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 437 MPa ve buna karşılık gelen sıyrılma değeri ise 1.248 mm’dir. Donatıdaki sıyrılma değeri standart donatı akma dayanımında 0.620 mm’dir. Yüklemeye devam edildiğinde sıyrılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan kaybolmuştur.



Şekil 3.12. $\Phi 10$ -C250-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.

3.2.2 $\Phi 12$ -C250-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

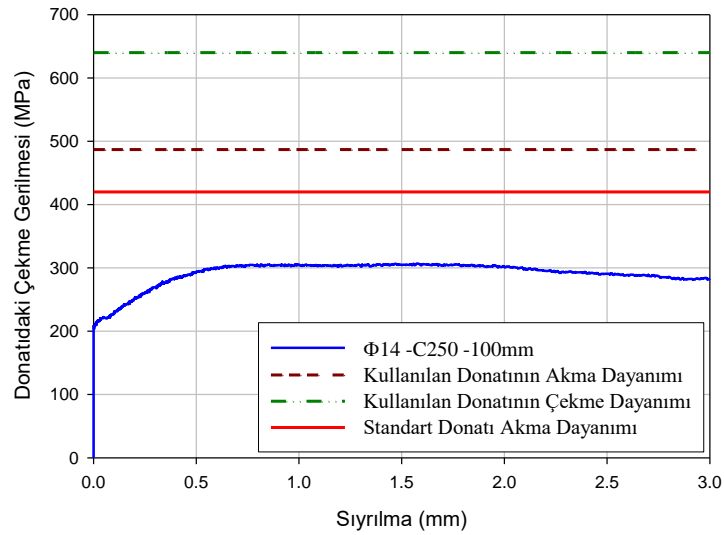
Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 12$ -C250-100 mm kodlu mafsalı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi Şekil 3.13’te verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmamıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 385 MPa ve buna karşılık gelen sıyrılma değeri ise 0.270 mm’dir. Ulaşılan maksimum gerilme değeri standart donatı akma dayanımı olan 420 MPa’ın da altındadır. Yüklemeye devam edildiğinde sıyrılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans kaybolmuştur.



Şekil 3.13. $\Phi 12$ -C250-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

3.2.3 $\Phi 14$ -C250-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

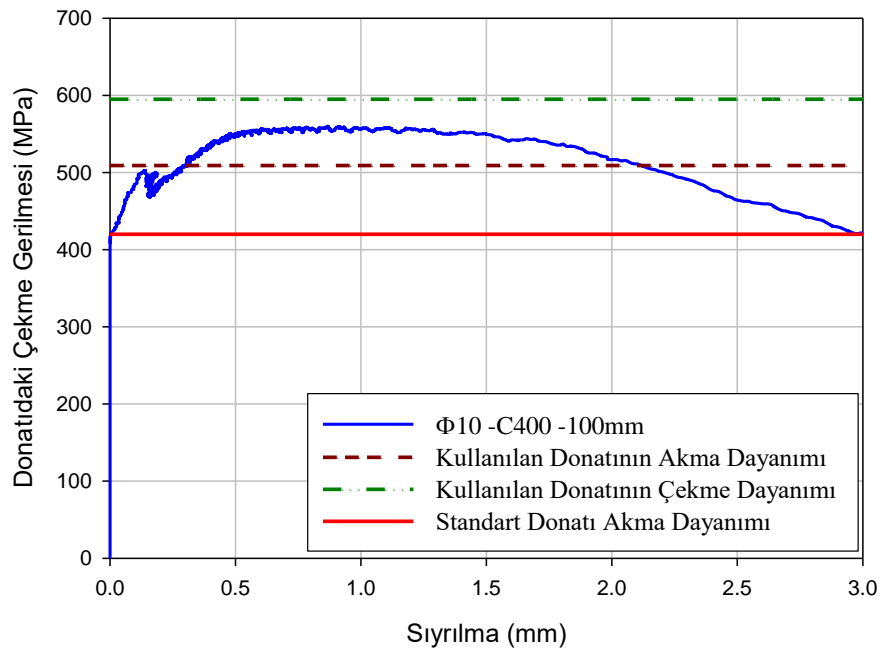
Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 14$ -C250-100 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 3.14'te verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmamıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 307 MPa ve buna karşılık gelen sıyırılma değeri ise 1.577 mm'dir. Donatıdaki maksimum gerilme standart donatı akma dayanımı olan 420 MPa'ın da altındadır. Yüklemeye devam edildiğinde sıyırılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans kaybolmuştur.



Şekil 3.14. $\Phi 14$ -C250-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

3.2.4 $\Phi 10$ -C400-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

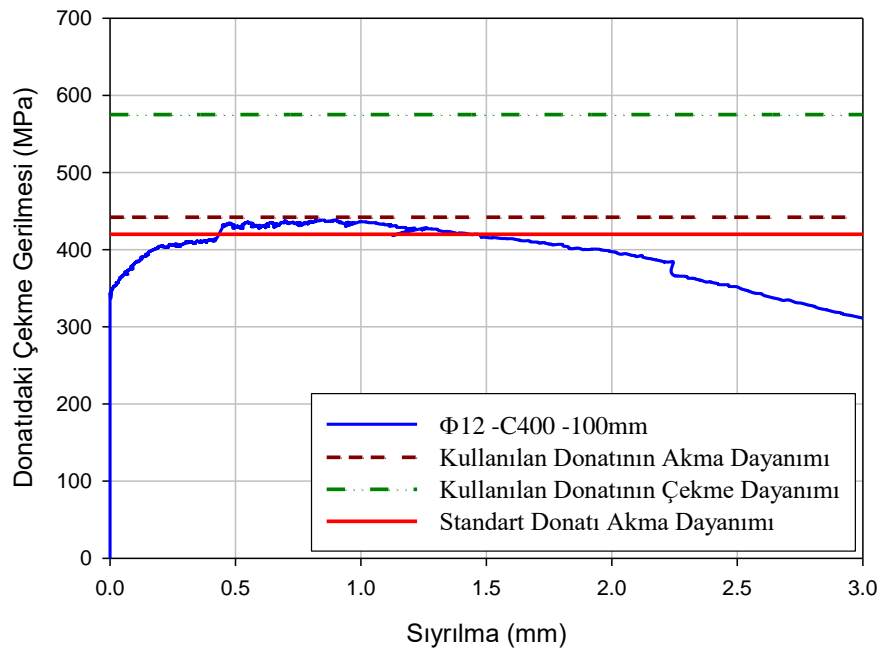
Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 10$ -C400-100 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 3.15'te verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmıştır. Akma dayanımına karşılık gelen sıyırılma değeri ise 0.294 mm olarak belirlenmiştir. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 558 MPa ve buna karşılık gelen sıyırılma değeri ise 0.753 mm'dir. Yüklemeye devam edildiğinde sıyırılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan kaybolmuştur.



Şekil 3.15. $\Phi 10$ -C400-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

3.2.5 $\Phi 12$ -C400-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

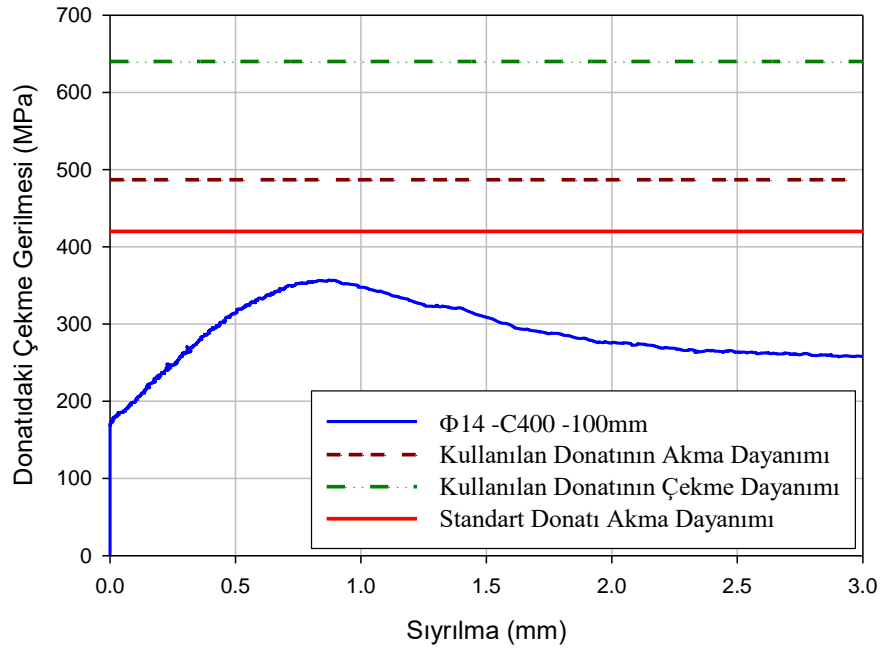
Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 12$ -C400-100 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi Şekil 3.16'da verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmamıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 438 MPa ve buna karşılık gelen sıyrılma değeri ise 0.843 mm'dir. Standart donatı akma dayanımında donatıdaki sıyrılma değeri ise 0.450 mm'dir. Yüklemeye devam edildiğinde sıyrılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan kaybolmuştur.



Şekil 3.16. $\Phi 12$ -C400-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.

3.2.6 $\Phi 14$ -C400-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

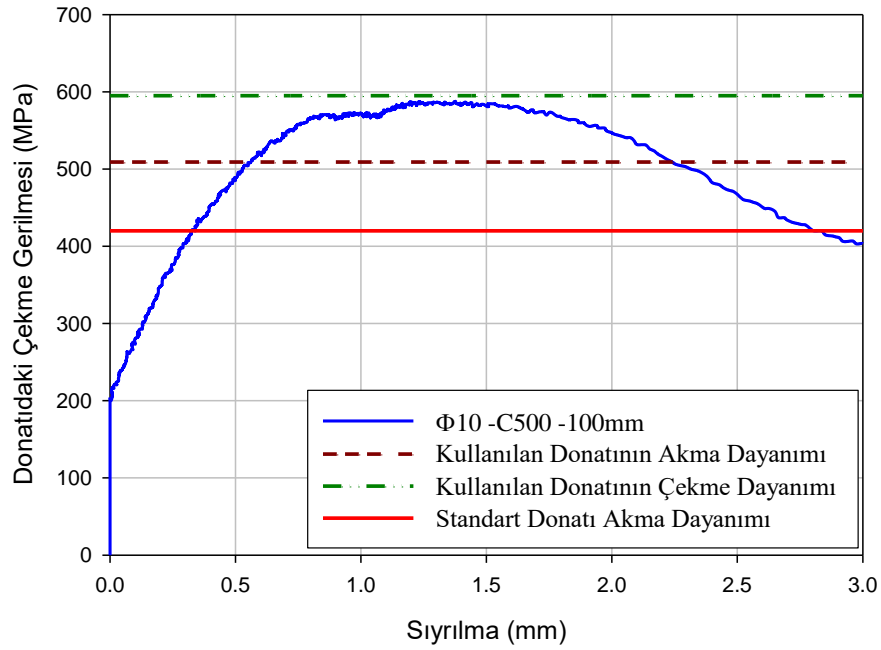
Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 14$ -C400-100 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi Şekil 3.17’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmamıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 357 MPa ve buna karşılık gelen sıyrılma değeri ise 0.871 mm’dir. Yüklemeye devam edildiğinde sıyrılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans kaybolmuştur.



Şekil 3.17. $\Phi 14$ -C400-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi.

3.2.7 $\Phi 10$ -C500-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

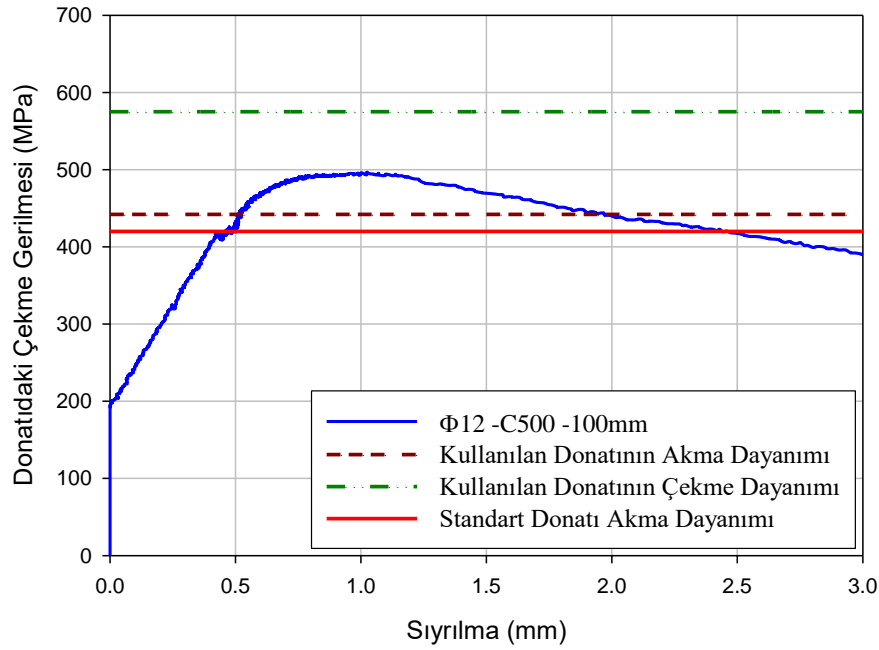
Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 10$ -C500-100 mm kodlu mafsalı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 3.18’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmıştır. Akma dayanımına karşılık gelen sıyırılma değeri 0.560 mm’dir. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 587 MPa olup gerilme çekme gerilmesine çok yakındır. Bu değere karşılık gelen sıyırılma değeri ise 1.234 mm’dir. Standart donatı akma dayanımında donatıdaki sıyırılma değeri ise 0.340 mm’dir. Yüklemeye devam edildiğinde sıyırılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan kaybolmuştur.



Şekil 3.18. $\Phi 10$ -C500-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

3.2.8 $\Phi 12$ -C500-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

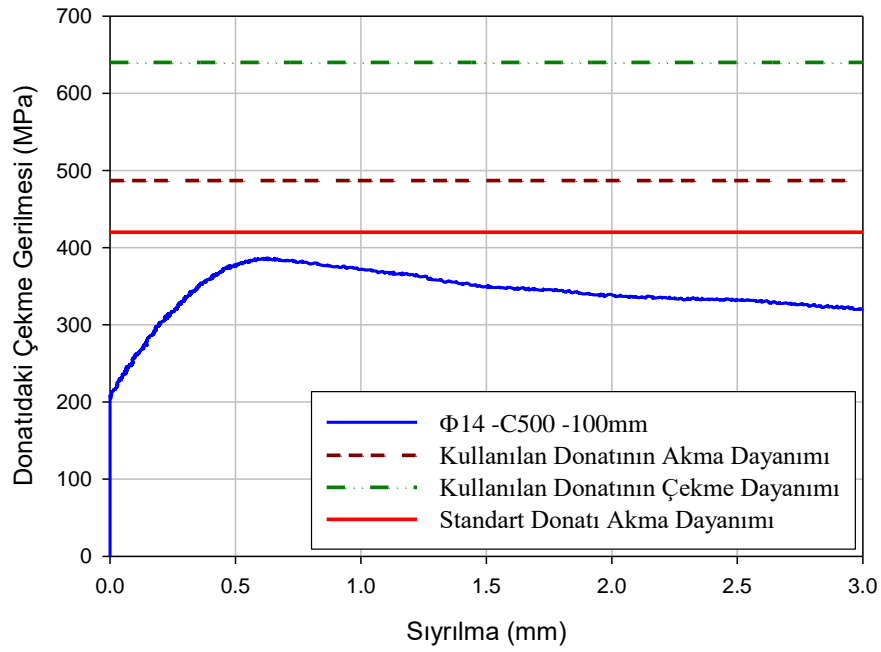
Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 12$ -C500-100 mm kodlu mafsalı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 3.19’da verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmıştır. Akma dayanımına karşılık gelen sıyırılma değeri ise 0.520 mm olarak belirlenmiştir. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 496 MPa ve buna karşılık gelen sıyırılma değeri ise 1.023 mm’dir. Standart donatı akma dayanımında donatıdaki sıyırılma değeri ise 0.466 mm’dir. Yüklemeye devam edildiğinde sıyırılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan kaybolmuştur.



Şekil 3.19. $\Phi 12$ -C500-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

3.2.9 $\Phi 14$ -C500-100 mm Numunesine İlişkin Deney Bulguları

Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 14$ -C500-100 mm kodlu mafsalı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 3.20’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmamıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 386 MPa ve buna karşılık gelen sıyırılma değeri ise 0.63 mm’dir. Donatıdaki gerilme değeri standart donatı akma dayanımının da altındadır. Yüklemeye devam edildiğinde sıyırılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans kaybolmuştur.



Şekil 3.20. $\Phi 14$ -C500-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

Birinci ve ikinci seri deneylerden elde edilen bazı gerilme ve sıyrılma değerleri Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Deneylerden elde edilen bazı bulgular.

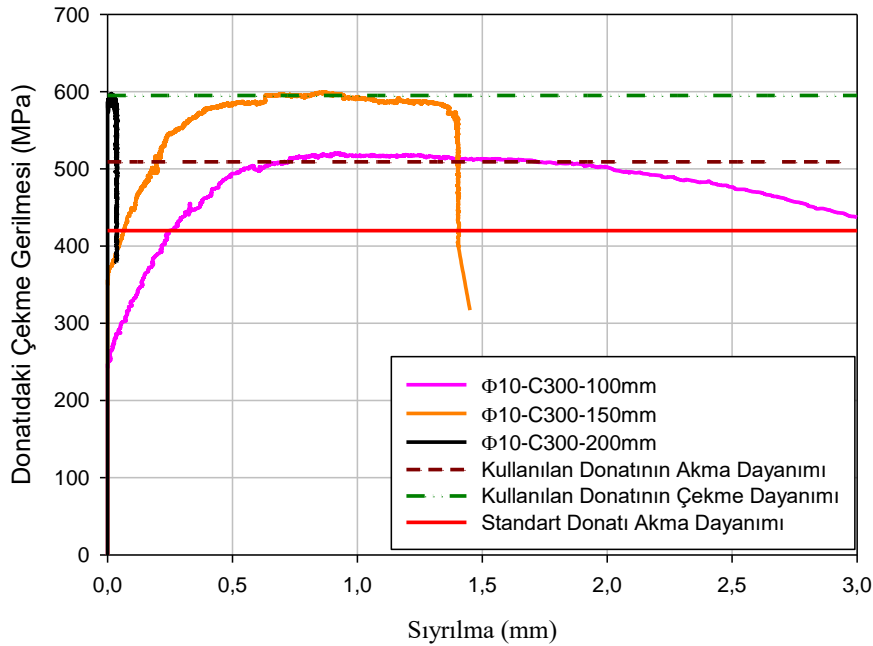
Deney Numune	Akma Dayanımı/Sıyrılma (MPa/mm)	Maksimum Gerilme/Sıyrılma (MPa/mm)	0.25 mm sıyrılma için gerilme (Mpa)	420 Mpa'ya gelen sıyrılma (mm)
Φ10-C300-100 mm	509/0.713	520/0.911	420	0.25
Φ10-C300-150 mm	509/0.193	595/0.860	546	0.068
Φ10-C300-200 mm	509/0.015	595/0.036	-	0.0
Φ12-C300-100 mm	-	411/1.00	338	-
Φ12-C300-150 mm	442/0.0	553/0.807	537	0.0
Φ12-C300-200 mm	442/0.0	575/0.310	575	0.0
Φ14-C300-100 mm	-	319/0.923	253	-
Φ14-C300-150 mm	-	397/1.377	342	-
Φ14-C300-200 mm	487/0.153	558/1.138	508	0.0
Φ10-C250-100 mm	-	437/1.248	376	0.620
Φ10-C400-100 mm	509/0.294	558/0.753	496	0.003
Φ10-C500-100 mm	509/0.560	587/1.234	376	0.340
Φ12-C250-100 mm	-	385/0.270	384	-
Φ12-C400-100 mm	-	438/0.843	406	0.45
Φ12-C500-100 mm	442/0.520	496/1.023	323	0.466
Φ14-C250-100 mm	-	307/1.577	260	-
Φ14-C400-100 mm	-	357/0.871	247	-
Φ14-C500-100 mm	-	386/0.630	317	-

4. TARTIŞMA

Mafsallı kirişler üzerinde gerçekleştirilen birinci ve ikinci seri deneyler sonunda elde edilen bulgular aşağıda üç başlık altında tartışılmıştır. Bunlardan birincisi 300 dozajlı beton ile $\Phi 10$, $\Phi 12$ ve $\Phi 14$ donatıların 100 mm, 150 mm ve 200 mm kenetlenme boyu kullanılarak üretilen mafsallı kirişlerin aderans davranışlarının tartışılmasıdır. İkinci başlık altında 250 kg, 300 kg, 400 kg ve 500 kg dozajlı, aynı donatı çaplarının 100 mm sabit kenetlenme boyu kullanılarak üretilen mafsallı kiriş numunelerinin deney bulguları tartışılmaktadır. Son olarak $\Phi 10$, $\Phi 12$ ve $\Phi 14$ donatılarının aynı betonlar ve kenetlenme boylarında aderans davranışlarındaki değişim tartışılmıştır.

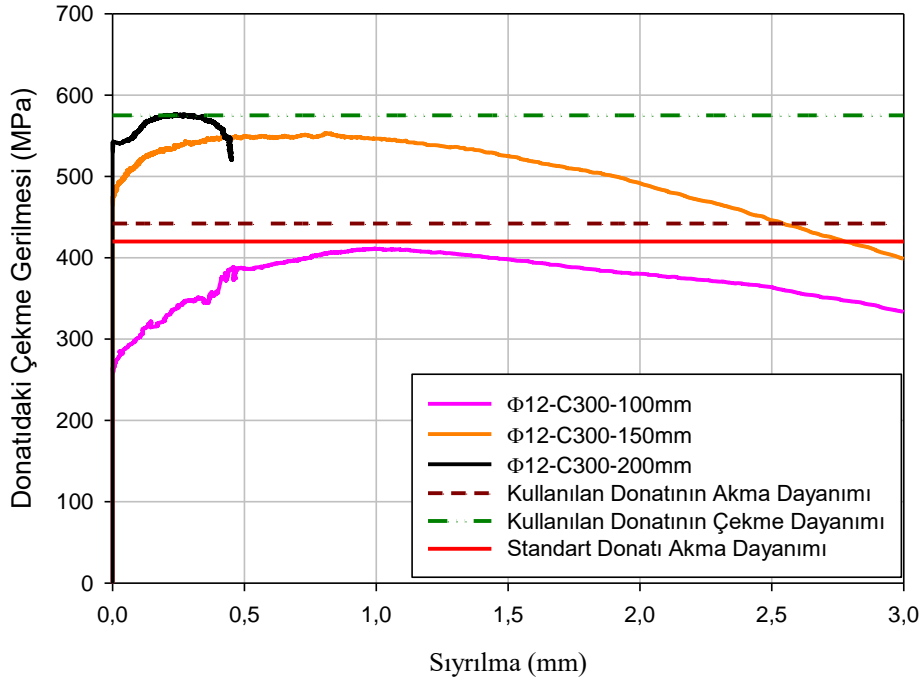
4.1 KENETLENME BOYUNUN ADERANS DAVRANIŞINA ETKİSİ

Aşağıdaki Şekil 4.1’de $\Phi 10$ -C300-100mm, $\Phi 10$ -C300-150mm, $\Phi 10$ -C300-200mm mafsallı kiriş numunelerinin Çekme gerilmesi-Sıyrılma grafiği verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi aynı çap ve beton sınıfı için kenetlenme boyunun artması aderans dayanımını oldukça artırmaktadır. $\Phi 10$ -C300-100mm numunesi için donatı akma dayanımına ulaşsa da 0.25 mm sıyrılmaya karşılık gelen gerilme değeri akma dayanımının altındadır. Bu durum kenetlenme boyunun yetersiz olduğunu göstermektedir. Zira artan yükler altında donatıdaki sıyrılmalar artmış ve beton-donatı aderansının koptuğu sıyrılma değeri olan 3 mm sınırı aşılmıştır. $\Phi 10$ -C300-150mm numunesinde donatı akma dayanımına 0.193 mm sıyrılma ile ulaşmıştır. Bu değer 0.25 mm değerinin altında olduğunda 150 mm kenetlenme boyu için aderans dayanımının yeterli olduğu kabul edilebilir. Bu durum artan yükler altında donatı çekme dayanımına ulaşmış ve donatı koparak deney sonlanmasıyla desteklenmektedir. $\Phi 10$ -C300-200mm kodlu deney numunesinde, donatıda ihmal edilebilecek sıyrılmalar ile çekme dayanımına ulaşılmış ve donatı koparak deney sonlanmıştır. 200 mm kenetlenme boyu için donatı ile beton arasındaki aderans tamdır.



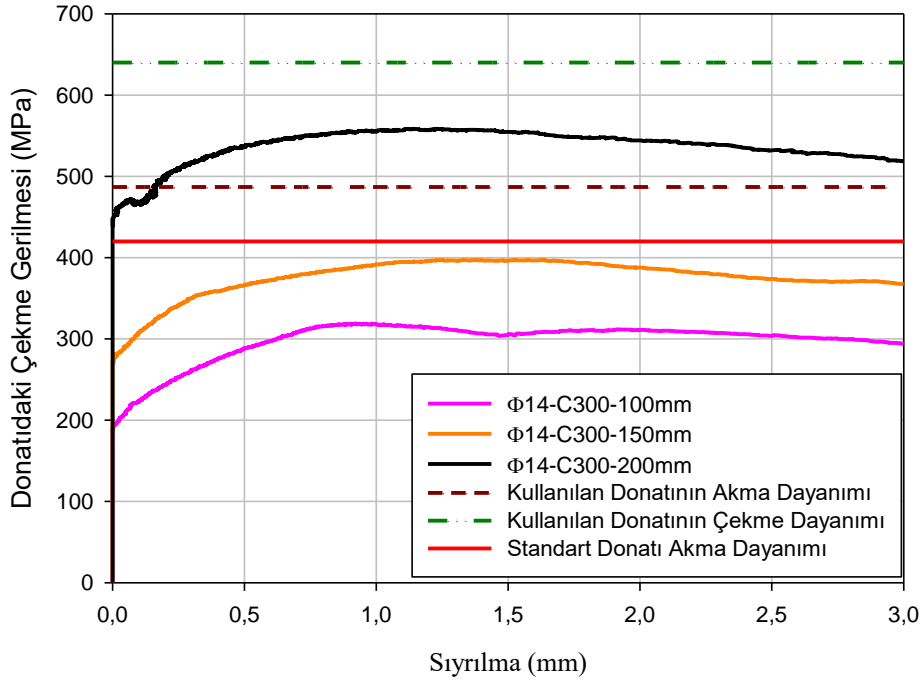
Şekil 4.1. $\Phi 10$ -C300-(100mm-150mm-200mm) numunelerinin çekme gerimesi-sıyrılma eğrileri.

$\Phi 12$ -C300-100mm, $\Phi 12$ -C300-150mm, $\Phi 12$ -C300-200mm mafsallı kiriş numunelerinin Çekme gerilmesi-Sıyırılma grafiği Şekil 4.2’de verilmektedir. Yine şekilden görüldüğü gibi aynı çap ve beton sınıfı için kenetlenme boyunun artması aderans dayanımını artırmaktadır. $\Phi 12$ -C300-100mm numunesi için donatı akma dayanımına ulaşmadan beton ile donatı arasındaki aderans kaybolmuştur. Artan yükler altında donatıdaki sıyırılmalar artmış ve beton-donatı aderansının koptuğu sıyırılma değeri olan 3 mm sınırı aşılmıştır. Bu durum kenetlenme boyunun yetersiz olduğunu göstermektedir. $\Phi 12$ -C300-150mm numunesinde donatı akma dayanımına sıyırılma oluşmadan ulaşmıştır. Bu durum 150 mm kenetlenme boyunun $\Phi 12$ -C300-150mm numunesi için yeterli olduğunu göstermektedir. Ancak, artan yükler altında donatı çekme dayanımına ulaşmadan 3 mm sıyırılma sınırı aşılmıştır. $\Phi 12$ -C300-200mm kodlu deney numunesinde, akma dayanımında herhangi bir sıyırılma görülmemiş ve 0.25 mm sıyırılma değeri için çekme gerilmesi 575 MPa olarak belirlenmiştir. Deney sonunda donatı kopmuştur. Bu durum $\Phi 12$ için 200 mm kenetlenme boyunun yeterli olduğunu göstermektedir.



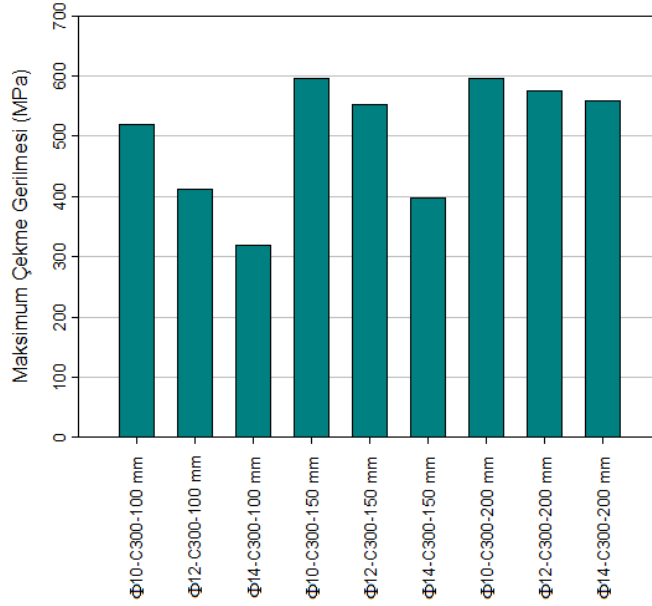
Şekil 4.2. $\Phi 12$ -C300-(100mm-150mm-200mm) numunelerinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

$\Phi 14$ -C300-100mm, $\Phi 14$ -C300-150mm, $\Phi 14$ -C300-200mm mafsallı kiriş numunelerinin Çekme gerilmesi-Sıyırılma grafiği Şekil 4.3'te verilmektedir. Yine şekilden görüldüğü gibi aynı çap ve beton sınıfı için kenetlenme boyunun artması aderans dayanımını artırmaktadır. $\Phi 14$ -C300-100mm ve $\Phi 14$ -C300-150mm deney numuneleri için donatı akma dayanımına ulaşmadan beton ile donatı arasındaki aderans kaybolmuştur. Artan yükler altında donatıdaki sıyırılmalar artmış ve beton-donatı aderansının koptuğu sıyırılma değeri olan 3 mm sınırı aşılmıştır. Bu durum, 100 mm ve 150 mm kenetlenme boyunun $\Phi 14$ donatısı için beton-donatı aderansı bakımından yetersiz olduğunu göstermektedir. $\Phi 14$ -C300-200mm kodlu deney numunesinde, akma dayanımına 0.153 mm sıyırılma ile ulaşılmıştır. Bu değer, 0.25 mm sıyırılma değerinin altında olduğundan $\Phi 14$ donatı için 200 mm kenetlenme boyunun yeterli olduğunu göstermektedir. Ancak, artan yükler altında donatı çekme dayanımına ulaşmadan 3 mm sıyırılma sınırı aşılmıştır.



Şekil 4.3. $\Phi 14$ -C300-(100mm-150mm-200mm) numunelerinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

Birinci seri deneyler sonunda elde edilen maksimum gerilmeler Şekil 4.4'te verilmektedir.



Şekil 4.4. Birinci seri deneyler sonucu maksimum gerilmeler.

Çizelge 4.1. Φ10-C300-(100mm-150mm-200mm) numunelerinin maksimum gerilmelerinin karşılaştırmalı artan-azalan değerleri.

Φ10-C300	Kenetlenme Boyu	100	150	200	ARTAN – AZALAN
	100	1	14%	14%	
	150	-13%	1	0%	
	200	-13%	0%	1	

Çizelge 4.2. Φ12-C300-(100mm-150mm-200mm) numunelerinin maksimum gerilmelerinin karşılaştırmalı artan-azalan değerleri.

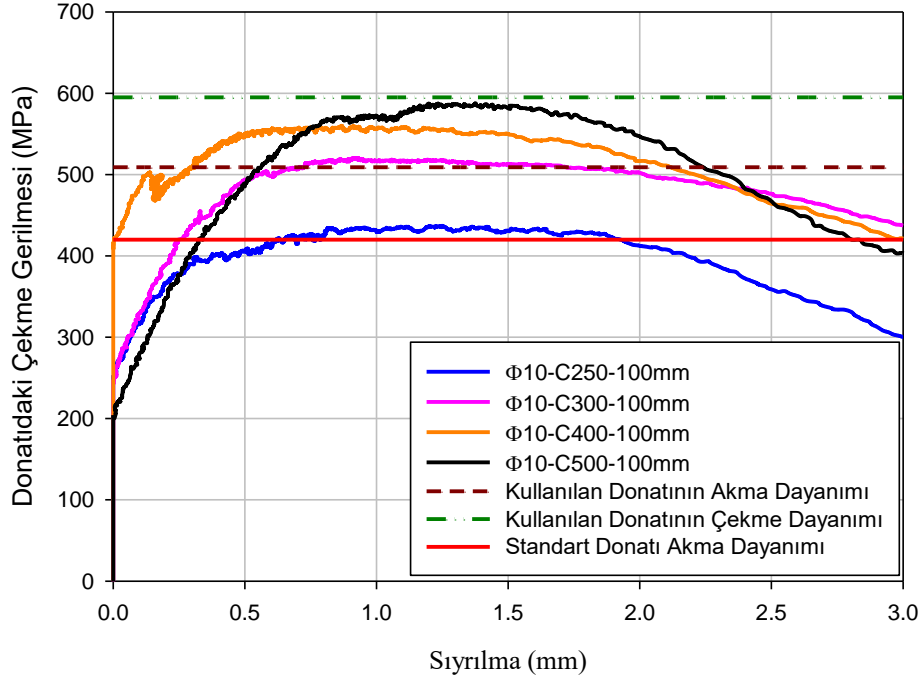
Φ12-C300	Kenetlenme Boyu	100	150	200	ARTAN – AZALAN
	100	1	35%	40%	
	150	-26%	1	4%	
	200	-29%	-4%	1	

Çizelge 4.3. Φ 14-C300-(100mm-150mm-200mm) numunelerinin maksimum gerilmelerinin karşılaştırmalı artan-azalan değerleri.

Φ 14-C300	Kenetlenme Boyu	100	150	200	ARTAN - AZALAN
	100	1	24%	75%	
	150	-20%	1	-43%	
	200	-43%	-20%	1	

4.2 BETON DAYANIMININ ADERANS DAVRANIŞINA ETKİSİ

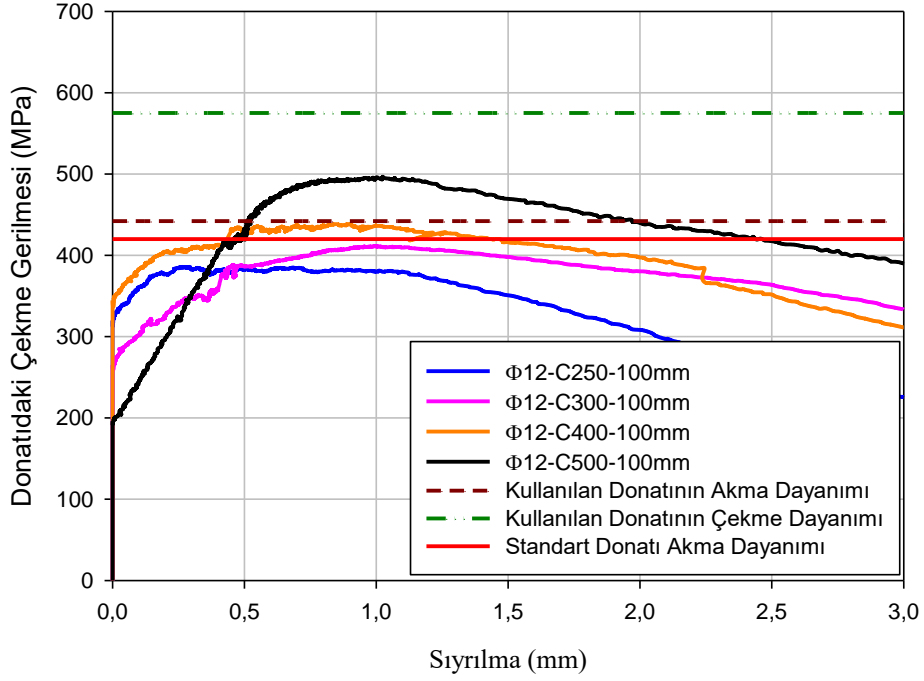
Farklı beton dayanımının aderans davranışına etkisinin incelendiği Φ 10-C250-100mm, Φ 10-C300-100mm, Φ 10-C400-100mm ve Φ 10-C500-100mm mafsallı kiriş numunelerinin Çekme gerilmesi-Sıyırılma grafiği aşağıdaki Şekil 4.5'te verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi beton dayanımı arttıkça, aynı çap ve kenetlenme boyu için aderans dayanımı da artmaktadır. Φ 10-C250-100mm numunesi için donatı akma dayanımına ulaşmadan beton ve donatı arasındaki aderans artan yükler altında hızla kaybolmuştur. Bu durum, 100 mm kenetlenme boyunun, Φ 10 donatısı ile 250 kg dozaj kullanılarak üretilen beton arasındaki aderans için yetersiz olduğunu göstermektedir. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 437 MPa ve buna karşılık gelen sıyırılma değeri ise 1.248 mm'dir. Φ 10-C300-100mm numunesinde akma dayanımına ulaşılmıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri olan 520 MPa değerinde ise sıyırılma değeri 0.911 mm'dir. Bu değerden sonra ise donatıdaki sıyırılmalar artmış ve beton-donatı aderansının koptuğu sıyırılma değeri olan 3 mm sınırı aşılmıştır. Φ 10-C400-100mm numunesinde donatı akma dayanımına ulaşmıştır. 0.193 mm sıyırılma ile ulaşmıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 558 MPa ve buna karşılık gelen sıyırılma değeri ise 0.753 mm'dir. Yine artan yükler altında 3 mm sıyırılma değeri aşılmıştır. Φ 10-C500-100mm numunesinde, donatıda yine akma dayanımına ulaşılmıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 587 MPa olup gerilme çekme gerilmesine çok yakındır. Elde edilen bulgular, aynı çap ve kenetlenme boyu için, dört farklı dozajla üretilen dayanımları değişken betonlarda, Φ 10 için ulaşılan maksimum yük değerlerinde %5 ile %34 arasında artış olduğunu ortaya koymuştur.



Şekil 4.5. Φ10-(C250-C300-C400-C500)-100mm numunelerinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrileri.

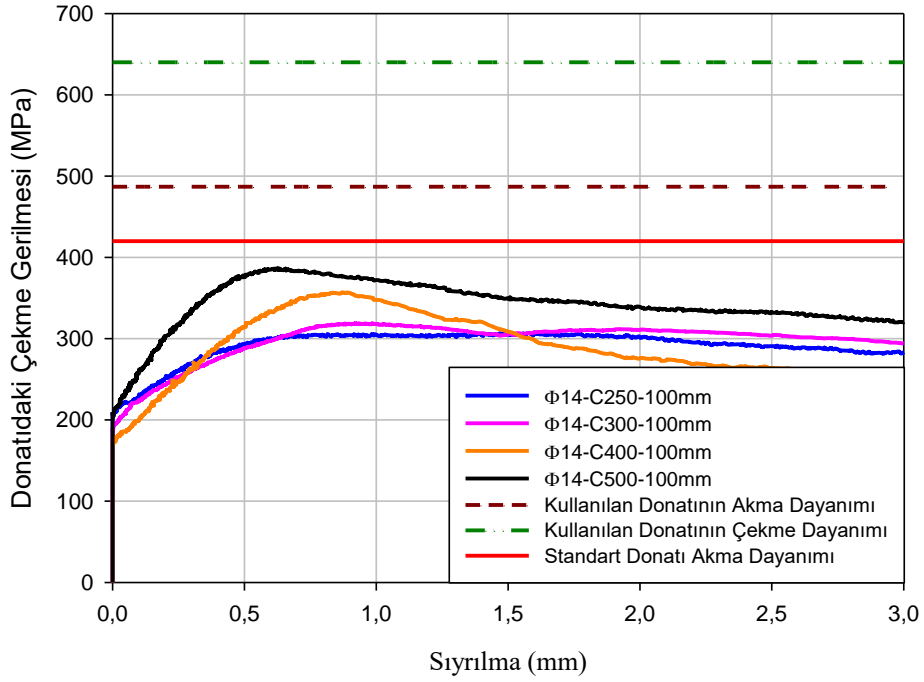
Φ12-C250-100mm, Φ12-C300-100mm, Φ12-C400-100mm ve Φ12-C500-100mm mafsallı kiriş numunelerinin Çekme gerilmesi-Sıyrılma grafiği aşağıdaki Şekil 4.6'da, verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi beton dayanımı arttıkça, aynı çap ve kenetlenme boyu için aderans dayanımı da artmaktadır. Φ12-C250-100mm numunesi için donatı akma dayanımına ulaşmadan beton ve donatı arasındaki aderans artan yükler altında hızla kaybolmuştur. Bu durum, 100 mm kenetlenme boyunun, Φ12 donatısı ile 250 kg dozaj kullanılarak üretilen beton arasındaki aderans için yetersiz olduğunu göstermektedir. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 385 MPa ve buna karşılık gelen sıyrılma değeri ise 0.270 mm'dir. Bu değerden sonra sıyrılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans kaybolmuştur. Φ12-C300-100mm numunesi için de akma dayanımına ulaşamamıştır Ulaşılan maksimum gerilme değeri olan 411 MPa değerinde ise sıyrılma değeri 1.00 mm'dir. Bu değerden sonra ise donatıdaki sıyrılmalar artmış ve beton-donatı aderansının koptuğu sıyrılma değeri olan 3 mm sınırı aşılmıştır. Φ12-C400-100mm numunesinde donatı akma dayanımına ulaşmamıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 438 MPa ve buna karşılık gelen sıyrılma değeri ise 0.843 mm'dir. Yine artan yükler altında 3 mm sıyrılma değeri aşılmıştır. Φ12-C500-100mm numunesinde, donatıda yine akma dayanımına ulaşmıştır. Ulaşılan maksimum gerilme

değeri ise 496 MPa ve buna karşılık donatıdaki sıyrıla değeri 1.023 mm'dir. Elde edilen bulgular, aynı çap ve kenetlenme boyu için, dört farklı dozajla üretilen dayanımları değişken betonlarda, $\Phi 12$ için ulaşılan maksimum yük değerlerinde %13 ile %29 arasında artış olduğunu ortaya koymuştur.



Şekil 4.6. $\Phi 12$ -(C250-C300-C400-C500)-100mm numunelerinin çekme gerimesi-sıyrıma eğrileri.

$\Phi 14$ -C250-100mm, $\Phi 14$ -C300-100mm, $\Phi 14$ -C400-100mm ve $\Phi 14$ -C500-100mm mafsallı kiriş numunelerinin Çekme gerilmesi-Sıyrılma grafiği aşağıdaki Şekil 4.7’de, verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi beton dayanımı arttıkça, aynı çap ve kenetlenme boyu için aderans dayanımı da artmaktadır. Ancak $\Phi 14$ donatısının 100 mm kenetlenme boyu için kullanıldığı deney numunelerinin hiçbirinde akma dayanımına ulaşamamıştır. Elde edilen bulgular, aynı çap ve kenetlenme boyu için, dört farklı dozajla üretilen dayanımları değişken betonlarda, $\Phi 14$ için ulaşılan maksimum yük değerlerinde %8 ile %26 arasında artış olduğunu ortaya koymuştur.



Şekil 4.7. $\Phi 14$ -(C250-C300-C400-C500)-100mm numunelerinin çekme gerimesi-sıyrılma eğrileri.

Şekillerden de görüldüğü gibi beton dayanımı arttıkça aderans dayanımı da artmaktadır. Bu durumun, farklı dozajlarla üretilen betonlarda artan çimento miktarı ile betondaki boşluk miktarının azalmasının donatı ile beton arasındaki aderansı artmasıyla açıklanabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.4. $\Phi 10$ -(C250-C300-C400-C500)-100mm numunelerinin maksimum gerilmelerinin karşılaştırmalı artan-azalan değerleri.

$\Phi 10$ -100mm	Dozaj(Kg)	250	300	400	500	ARTAN - AZALAN
	250	1	19%	28%	34%	
	300	-16%	1	7%	13%	
	400	-22%	-7%	1	5%	
	500	-26%	-11%	-5%	1	

Çizelge 4.5. $\Phi 12$ -(C250-C300-C400-C500)-100mm numunelerinin maksimum gerilmelerinin karşılaştırmalı artan-azalan değerleri.

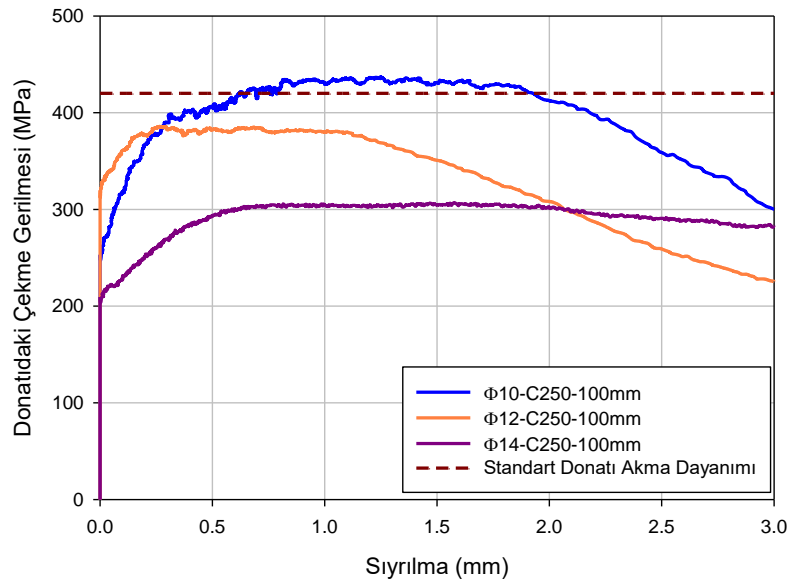
$\Phi 12$ -100mm	Dozaj(Kg)	250	300	400	500	ARTAN - AZALAN
	250	1	7%	14%	29%	
	300	-6%	1	7%	21%	
	400	-12%	-6%	1	13%	
	500	-22%	-17%	-12%	1	

Çizelge 4.6. $\Phi 14$ -(C250-C300-C400-C500)-100mm numunelerinin maksimum gerilmelerinin karşılaştırmalı artan-azalan değerleri.

$\Phi 14$ -100mm	Dozaj(Kg)	250	300	400	500	ARTAN - AZALAN
	250	1	4%	16%	26%	
	300	-4%	1	12%	21%	
	400	-22%	-7%	1	5%	
	500	-20%	-17%	-8%	1	

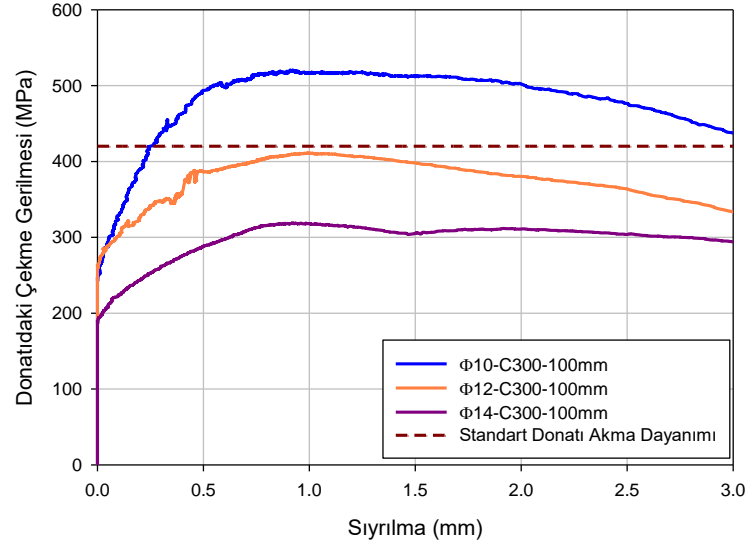
4.3 DONATI ÇAPININ ADERANS DAVRANIŞINA ETKİSİ

Farklı donatı çapının, aynı beton sınıfı ve kenetlenme boyu için aderansa etkisinin incelendiği $\Phi 10$ -C250-100mm, $\Phi 12$ -C250-100mm ve $\Phi 14$ -C250-100mm mafsallı kiriş numunelerinin Çekme gerilmesi-Sıyırılma grafiği aşağıdaki Şekil 4.8’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, sadece $\Phi 10$ -C250-100mm deney numunesi için akma dayanımına ulaşılmıştır. Ulaşılan en yüksek gerilme değeri ise yine, 437 MPa ile $\Phi 10$ donatısındadır. En düşük gerilme ise 307 MPa ile $\Phi 14$ donatısındadır. Bu durum donatı çapındaki artışın aderans dayanımını azalttığını ortaya koymaktadır.



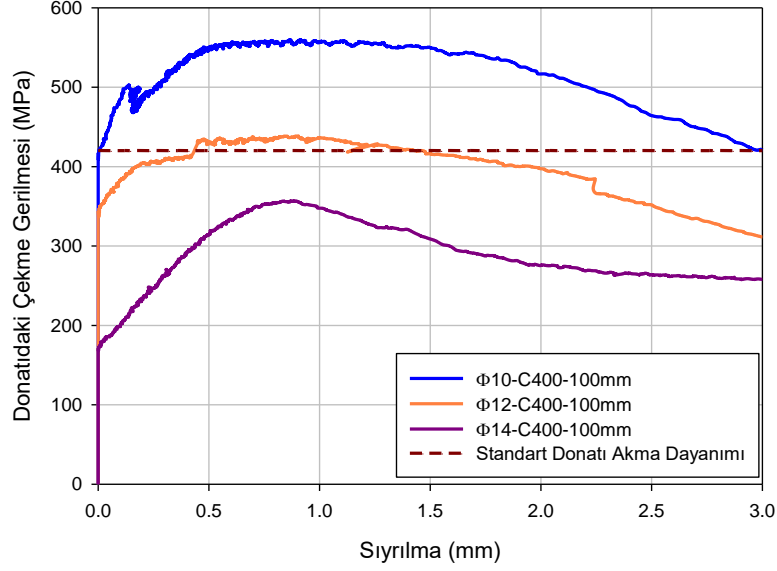
Şekil 4.8. $\Phi 10$ -(C250-C300-C400-C500)-100mm numunelerinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrileri.

Farklı donatı çapının, aynı beton sınıfı ve kenetlenme boyu için aderansa etkisinin incelendiği $\Phi 10$ -C300-100mm, $\Phi 12$ -C300-100mm ve $\Phi 14$ -C300-100mm mafsallı kiriş numunelerinin Çekme gerilmesi-Sıyrılma grafiği aşağıdaki Şekil 4.9'da verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ulaşılan en yüksek gerilme değeri 520 MPa ile $\Phi 10$ donatısındadır. En düşük gerilme ise 319 MPa ile $\Phi 14$ donatısındadır. Bu durum donatı çapındaki artışın aderans dayanımını azalttığını ortaya koymaktadır.



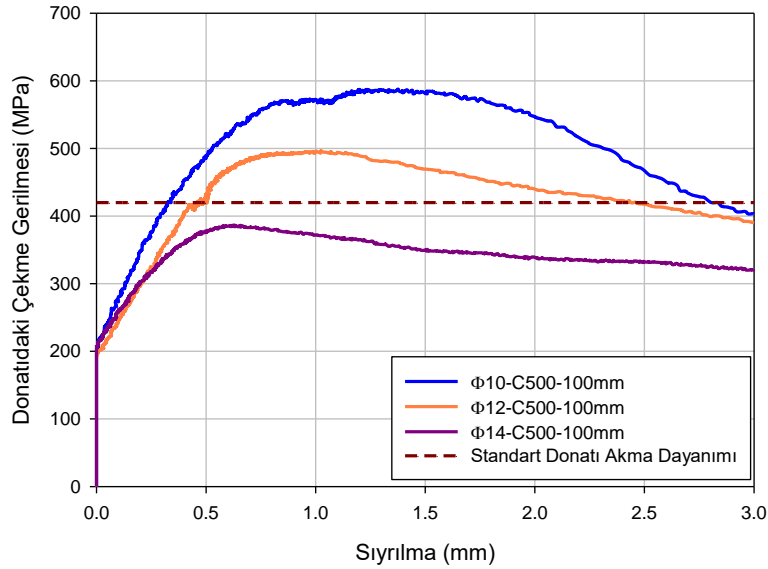
Şekil 4.9. ($\Phi 10$ - $\Phi 12$ - $\Phi 14$)-C300-100mm numunelerinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrileri.

$\Phi 10$ -C400-100mm, $\Phi 12$ -C400-100mm ve $\Phi 14$ -C400-100mm mafsallı kiriş numunelerinin Çekme gerilmesi-Sıyrılma grafiği aşağıdaki Şekil 4.10'da verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ulaşılan en yüksek gerilme değeri 558 MPa değeriyle yine $\Phi 10$ donatısındadır. En düşük gerilme ise 357 MPa ile $\Phi 14$ donatısındadır. Bu durum donatı çapındaki artışın aderans dayanımını azalttığını ortaya koymaktadır.



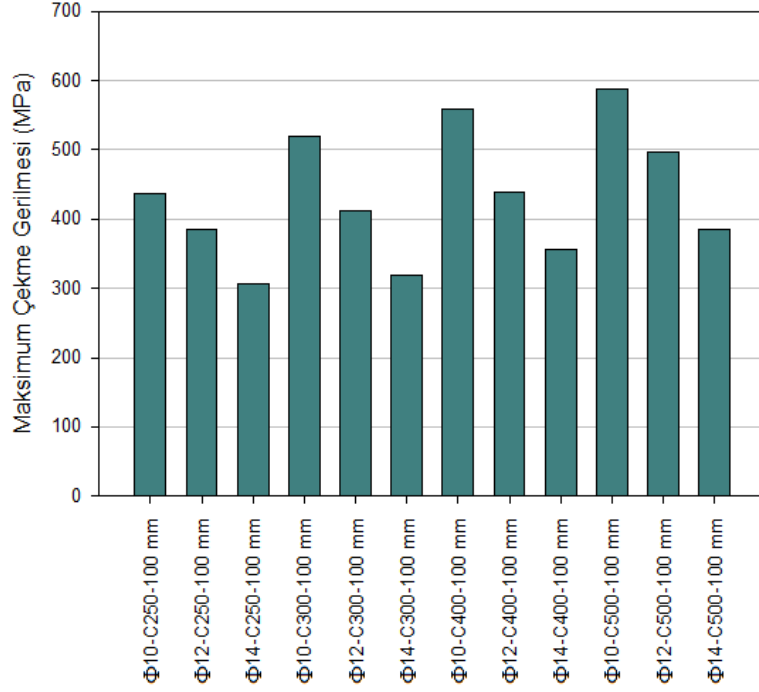
Şekil 4.10. (Φ10-Φ12-Φ14)-C400-100mm numunelerinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrileri.

Farklı donatı çapının, aynı beton sınıfı ve kenetlenme boyu için aderansa etkisinin incelendiği Φ10-C500-100mm, Φ12-C500-100mm ve Φ14-C500-100mm mafsallı kiriş numunelerinin Çekme gerilmesi-Sıyırılma grafiği aşağıdaki Şekil 4.11’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ulaşılan en yüksek gerilme değeri 587 MPa ile Φ10 donatısındadır. En düşük gerilme ise 386 MPa ile Φ14 donatısındadır.



Şekil 4.11. (Φ10-Φ12-Φ14)-C500-100mm numunelerinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrileri.

Burada, teorik olarak (11) bağıntısıyla elde edilen, aynı aderans gerilmesi için daha düşük çekme gerilmesi oluşması deneysel olarak belirlenen verilerle örtüşmektedir. Farklı donatı çapı ve dozajlarda 100 mm kenetlenme boyu için elde edilen maksimum gerilmeler Şekil 4.12'deki diyagramda verilmektedir.



Şekil 4.12. Farklı donatı çapı ve dozajlarda 100 mm kenetlenme boyu için elde edilen maksimum gerilmeler.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, beton-donatı aderansı, farklı donatı çapı, çimento dozajı ve kenetlenme boyları için, mafsalı kiriş deneyi kullanılarak eğilme altında incelenmiştir. Bu amaçla tezin birinci bölümde, beton-aderans hakkında genel bilgiler, aderans etkileyen sebepler, aderansı belirlemede kullanılan deneyler ve bu konuda daha önce gerçekleştirilen çalışmalar verilmiştir. İkinci bölümde ise yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Bu bölümü bulgular, tartışma, sonuç ve öneriler bölümleri takip etmiştir. Gerçekleştirilmiş olan çalışmaların tamamından çıkarabilecek bazı sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

1- Donatı çapı arttıkça aderans dayanımı azalmaktadır. Kullanılan tüm beton sınıfı ve kenetlenme boylarında artan donatı çapı için ulaşılan maksimum gerilmeler azalırken buna karşılık oluşan sıyrılmalar artmaktadır. Bu durum, donatı çapının, beton-donatı aderansı üzerinde oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

2- Kenetlenme boyundaki artış beklendiği gibi aderans dayanımını artırmaktadır. Burada betonarme yapılar için kullanılan standartlarda kenetlenme boyu için verilen sınır değerlerin, dayanım arttıkça azaltılabileceği görülmüştür. Özellikle $\Phi 10$ donatısının kullanıldığı deneylerde 250 kg çimento dozajı kullanılarak üretilen betonlar hariç akma dayanımına ulaşılmış, 150 mm ve 200 mm kenetlenme boyunda ise donatılar kopmuştur.

3- Çimento dozajındaki artışa paralel olarak artan basınç ve çekme dayanımı, beton-donatı arasındaki aderansı da artmaktadır.

4- Çimento dozajı 250 kg ve 300 kg olan betonlar ile üretilen kiriş numuneleri arasında 100 mm sabit kenetlenme boyuna sahip $\Phi 10$, $\Phi 12$ ve $\Phi 14$ çaplı numunelerde akma dayanımına $\Phi 10$ çaplı donatının ulaştığı $\Phi 12$ ve $\Phi 14$ çaplı donatının ulaşmadığı görülmüştür. Çimento dozajı 500 kg olan beton ile üretilen kiriş numuneleri, 100 mm sabit kenetlenme boyu için $\Phi 10$ ve $\Phi 12$ donatıları akma dayanımına ulaşırken, $\Phi 14$ çaplı numunelerde akma dayanımına ulaşmadığı görülmüştür.

5- Çimento dozajı 250 kg, 300 kg, 400 kg ve 500 kg olan betonların kullanıldığı ve kenetlenme boyu 100 mm için $\Phi 14$ donatılarda akma meydana gelmemiştir. Bu durum artan çaplarda, aynı kenetlenme boyunun yetersiz kaldığını göstermektedir.

6- Mafsallı kiriş deneyinden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, donatılarda meydana gelen gerilmelerin donatı çekme deneyi ile elde edilen verilerle örtüştüğü görülmüştür. Özellikle $\Phi 10$ ve $\Phi 12$ donatılarında kopma meydana gelen deneylerde elde edilen gerilme değerleri donatı çekme deneyi ile çakışmaktadır. Bu durum tam kenetlenme durumları için donatı mekanik özelliklerinin belirlenmesin de kullanılabilceğini ortaya koymaktadır.

7- Aynı çap ve kenetlenme boyu için dört farklı dozajla üretilen dayanımları değişken betonlarda, $\Phi 10$, $\Phi 12$ ve $\Phi 14$ için ulaşılan maksimum yük değerleri sırasıyla %5-34, %13-29, %8-26 arasında artışlar olduğunu ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

- [1] A. Durmuş, M. E. Arslan ve H. Öztürk, “Eğilmede Hafif Beton-Donatı Aderansının incelenmesi” yayınlanmamış rapor.
- [2] *Steel for the reinforcement of concrete*, British standard, 4449, 2005.
- [3] U. Ersoy ve G. Özcebe, “*Betonarme : Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre Hesap*”, Genişletilmiş Yeni Baskı”, İstanbul, Türkiye, Evrim Yayınevi, 2001.
- [4] Kankam, C. K., “*Bond Strength of Reinforcing Steel Bars Milled From Scrap Metals*”, no. 25, pp. 231-240, 2004.
- [5] MacGregor, J. G., “*Reinforced Concrete : Mechanics and Design*”, Third Edition, New Jersey, United States of America, Prentice Hall, 1997.
- [6] Nawy, E. G., “*Reinforced Concrete : A Fundamental Approach*”, Fifth Edition, New Jersey, United States of America, Prentice Hall, 2003.
- [7] Arda, T. S., “*Betonarmede Aderans Konusunda Bir Derleme*”, İstanbul, Türkiye, İ.T.Ü. Matbaası, 1968.
- [8] H. Dahil, “Yüksek Performanslı Beton-Donatı Aderansının Geleneksel Beton-Donatı Aderansıyla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
- [9] Park, R. ve Paulay, T., “*Reinforced Concrete Structures*”, First Edition, New York, United States of America, John Wiley, 1975.
- [10] Aka, İ., Keskinel, F. ve Arda T. S., “*Betonarmeye Giriş*”, 9. Baskı, İstanbul, Türkiye, Birsan Yayınevi, 1996, bölüm 1.
- [11] Yeih W., Chang J.J. ve Tsai C.L. “Enhancement of the Bond Strength of Epoxy Coated Steel by the Addition of Fly Ash”, *Cement & Concrete Composites*, no. 26, pp. 310-321, 2004.
- [12] El-Hawary, M. M., “Evaluation of Bond Strength of Epoxy-Coated Bars in Concrete Exposed to Marine Environment”, *Construction and Building Materials*, no. 13, pp. 357-362, 1999.

- [13] İchinose, T., Kanayama Y., Inoue Y. ve Bolander J.E., “Size Effect on Bond Strength of Deformed Bars”, *Construction and Materials* , no. 18, pp. 549-558, 2004.
- [14] A. Durmuş, H. Dahil, ve M. E. Arslan, “Yüksek Başarımli Beton-Donatı Aderansının İncelenmesine Katkı”, *7th İnternational Congress on Advances in Civil Engineering*, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [15] H. Ş. Arel, “Değişik Parametlerin Beton ile Çelik Donatı Aderansına Etkisi”, Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2012.
- [16] M. E. Arslan, “Eğilmede taşıyıcı hafif beton-donatı aderansının geleneksel beton-donatı aderansı ile karşılaştırılmalı olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2007.
- [17] Ş. Yazıcı ve G. İ. Sezer, “Farklı dayanım seviyelerindeki betonlarda beton örtü tabakası kalınlığının, yüksek sıcaklık seviyesinin ve etki süresinin donatı aderansına etkisi”, TÜBİTAK, Türkiye, No: 107M345, 2010.
- [18] A. Benli, “Kendiliğinden sıkışan betondaki donatı aderansının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2007.
- [19] A. F. Bingöl, R. Gül, “Donatı-beton aderansı, yüksek sıcaklıkların beton dayanımına ve aderansına etkileri konusunda bir derleme”, *TÜBAV Bilim Dergisi*, no. 2, ss. 210-230, 2009.
- [20] M. S. Döndüren, “Betonla Donatı Arasındaki Aderans Davranışının Deneysel İncelenmesi”, *Mühendislik Fakültesi Dergisi, Selçuk Üniversitesi*, ss. 3-4, 2006.
- [21] H. Yılmaz, “Düşük Dayanımlı Betonarme Elemanlarda Donatı Bindirme Boyunun Yatay Yükler Altındaki Davranışa Etkisi”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [22] M. Gesoğlu, T. Özturan ve E. Güneyisi, “Hafif Agregalı Betonlarda Donatı Çeliği-Beton Aderansı”, Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, yayınlmamış rapor.
- [23] İ. Kazaz, “Betonarme Perde Duvarların Sonlu Eleman Analizinde Aderans Kaymasının Uygulanması”, *Mühendislik Bilimleri Dergisi, Pamukkale Üniversitesi*, no. 18, ss. 155-164.
- [24] A. Beycioğlu, “Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Beton İle Donatı Aderansı İlişkisinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [25] A. Duran, “Betonarme Donatısında Aderans ve Yorulma”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, 2008.

- [26] S. J. A. Hosseini, A. B. A. Rahman, M. H. Osman ve A. Saim, Universiti Teknologi Malaysia , Malaysia , “Bond behavior of spirally confined splice of deformed bars in grout”, 2015.
- [27] K. Pandurangan, A. Dayanithy ve S. O. Prakash, Pondicherry Engineering College, India, “Influence of treatment methods on the bond strength of recycled”, 2016.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Talha ARSLAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 18.07.1990 - Adapazarı /SAKARYA
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : arstlh@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	İnşaat Müh.	Düzce Üniversitesi	2017
Lisans	İnşaat Müh.	Sakarya Üniversitesi	2013