

Kenetlenme Boyu ve Donatı Çapının Beton-Donatı Aderansına Etkisinin Mafsallı Kiriş Deneyiyle İncelenmesi

Mehmet Emin ARSLAN, Talha ARSLAN

Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
mehmeteminarслан@duzce.edu.tr

(Geliş/Recieved: 14.03.2017; Kabul/Accepted: 10.09.2018)

Özet

Betonarmenin varlığını borçlu olduğu beton-donatı aderansı konusu, betonarme yapıların kullanılmaya başladığı ilk yıllardan beri bilim insanlarının ilgisini çekmiştir. Bu konuyla alakalı birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Beton-donatı aderansı konusunda birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, aderans olayının karmaşık olması sebebiyle konu tam olarak aydınlatılamamıştır. Bu sebeple, bu çalışmada, farklı donatı çapları (10, 12, 14 mm) ve kenetlenme boyları (100, 150, 200 mm) sabit bir beton sınıfı kullanılarak, beton-donatı aderansı mafsallı kiriş deneyi yardımıyla eğilme altında deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma, toplam 9 adet mafsallı kiriş üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları, kenetlenme boyunun ve donatı çapının aderans dayanımını önemli derecede etkilediğini ortaya koymuştur. Aynı kenetlenme boyu için düşük çaplı donatılarda daha yüksek gerilme değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca kenetlenme boyu arttıkça sıyrılmalar azalmış ve aderans dayanımı artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton-Donatı Aderansı; Kenetlenme Boyu; Donatı Çapı; Mafsallı Kiriş Deneyi

Investigation of Development Length and Rebar Diameter Effects on Bond Strength by Using Hinged Beam Test

Abstract

The subject of bond strength, which is due to the presence of reinforced concrete, has attracted the attention of scientists since the first years of the usage of reinforced concrete constructions. There have been many studies carried out on this subject. Although many studies have been made about bond strength, the subject has not been fully clarified yet as the bond strength phenomenon is complicated. Therefore, in this study, the bond strength between reinforcement and concrete has been experimentally observed under bending with the help of hinged beam test by using different reinforcement diameters (10,12,14 mm) and development lengths (100,150,200 mm) and fixed concrete class. Experiments were carried out on a total of 9 hinged beams. The results of the experiment showed that development length and reinforcement diameter significantly affect the bond strength. It has been specified that maximum tensile stress estimated for the same development length on low reinforcement diameter is higher. Furthermore, while the maximum tensile stress increased for extending development length, slips decreased.

Keywords: Bond Strength, Development Length, Rebar, Hinged Beam Test

1. Giriş

Bilindiği gibi, betonarme varlığını betonla donatı arasındaki aderansa borçludur. Aderansın tam olarak sağlanabilmesi uygun bir kenetlenme boyunun mevcut bulunması gerekmektedir. Uygun kenetlenme boyu, donatı akma dayanımına ulaştığında beton ve donatı arasında önemli bir sıyrılmaya oluşturmaz boy olarak ifade edilebilmektedir. Yapı ömrü boyunca aderansta önemli bir azalmanın olmaması için ise aderansı olumsuz etkileyen faktörler dikkate alınarak gerekli önlemler alınmalıdır [1-4].

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. Dışmerkez çekip-çıkarma deneyi bunlardan bir tanesidir [2,4-8]. Bu düzenek, düşey konumda olması nedeniyle, kirişlerdeki sehimleri temsil etmemesi dışında, donatıya dik kesme kuvvetlerinin bulunması,

eğilmeden dolayı çatlama meydana gelmesi, donatı civarında yerel basınç gerilmelerinin oluşmaması ve pas payının daha gerçekçi olması nedeniyle, diğerler çekip-çıkarma deneylerine göre daha gerçekçidir. Çekip-çıkarma deneylerinin hiçbiri, eğilmeye çalışan bir elemandaki donatı-beton aderansını tam olarak temsil etmediğinden bu deneyler yerine kiriş deneyleri geliştirilmiştir. Bu deneylerden en yaygın olarak kullanılanları Texas Çıkmalı Kiriş, İngiliz Standardı, Hollanda ve Mafsallı Kiriş adıyla bilinen deneylerdir [1-4, 9-15].

Beton-donatı aderansı konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğunda çekip-çıkarma deneyi kullanılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada, yöntem olarak literatürde az sayıda çalışma bulunan mafsallı kiriş deneyi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, farklı donatı çapları ve kenetlenme boylarıyla üretilen mafsallı kiriş deney numunelerinin aderans davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma, sabit 300 dozajla üretilen, farklı donatı çapı (10, 12, 14 mm) ve her çap için üç farklı kenetlenme boyunun (100 mm, 150 mm ve 200 mm) kullanıldığı toplam 9 adet mafsallı kiriş numunesi üzerinde gerçekleştirilmiştir.

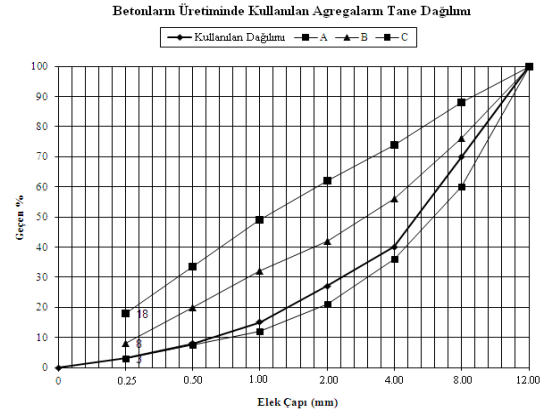
2. Deneysel Çalışma

2.1. Betonların üretiminde kullanılan malzemeler ve karışım oranları

Betonların üretiminde Bolu Çimento Fabrikası'nda TS – EN 197-1 [16] uygun olarak üretilmiş CEM-I 42,5 R Portland çimento kullanılmıştır. Deney elemanları 300 kg dozlu, sabit 0,60 su/çimento oranına sahip beton kullanılarak üretilmiştir. Betonların üretiminde aynı tane dağılımına sahip, iri ve ince olmak üzere iki farklı agrega kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri ve tane dağılım grafiği sırasıyla Tablo 1 ve Şekil 1'de verilmektedir. Deney elemanlarının üretiminde kullanılan betonların mutlak hacim yöntemine göre belirlenen karışım oranları ise Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 1. 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	Doymun	
İri>4 mm	1580	1450	2620	2643	0.9
İnce≤4 mm	1630	1470	2580	2610	1.1



Şekil 1. Beton üretiminde kullanılan agregaların tane dağılım grafiği.

Tablo 2. Beton karışım oranları

Elek 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)	4.0-12.0				
0-4.0	1105	18.42	180	300	3.0

2.2. Betonların üretimi, bakımı ve bazı mekanik özellikleri

Beton üretiminde 60 litre kapasiteli eğik eksenli bir betonyer 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 karıştırılmıştır. 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 sarsma tablasıyla yerleştirilmiştir. Üretimlerinden bir

gün sonra kalıplarından çıkarılan beton numuneler 28 gün süre ile sıcaklığı $22 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ olan kür havuzunda bekletilmiş ve tek eksenli basınç ve yarmada çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Mafsallı kirişlerin üretiminde kullanılacak betonlardan alınan küp numuneler üzerinde gerçekleştirilen tek eksenli basınç ve yarmada çekme deneylerinden elde edilen basınç ve çekme dayanımları sırasıyla, 34.5MPa ve 6.15 MPa olarak belirlenmiştir.

2.3. Kullanılan donatuların bazı mekanik özellikleri ve modüler kalıplar

Betonla olan aderans davranışlarını mafsallı kiriş deneyi ile belirlemek amacıyla 10, 12, 14 mm çaplı üç farklı nervürlü betonarme donatı kullanılmıştır. Kullanılan donatılara ilişkin bazı mekanik özellikler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Deneylerde kullanılan nervürlü donatuların bazı mekanik özellikleri

Anma Çapı (mm)	Ortalama Akma Dayanımı (MPa)	Ortalama Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Birim Uzaması (%)	Kopma Birim Uzaması (%)
10	509	595	1,19	13
12	442	575	1,28	16
14	487	640	1,33	18

Mafsallı kirişlerin üretiminde 3 mm kalınlığında modüler çelik kalıplar kullanılmıştır. Kenetlenme boylarını sınırlamak amacıyla donatılarda plastik kılıflar kullanılmıştır. Kılıfların içlerine betonun girmesini engellemek için uçları silikonla kapatılmıştır (Şekil 2).

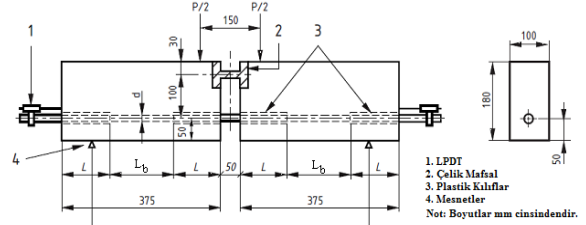


Şekil 2. Mafsallı kirişlerin üretiminde kullanılan modüler çelik kalıplar.

2.4. Mafsallı kirişlerin üretimi, deney düzeneğinin hazırlanması ve deneyin yapılışı

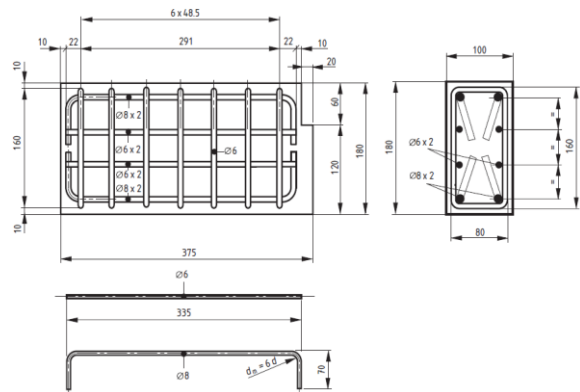
Mafsallı kiriş deney numuneleri, karışım

oranları Tablo 2'ye uygun olarak üretilen beton kullanılarak, BS 4449:2005 [17] standardına uygun hazırlanmıştır. Üretilen kiriş numunelerine ilişkin boyutlar, deneye ait yükleme ve ölçüm düzeneğinin şematik görünümü Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3. Mafsallı Kiriş Deney Numunelerine İlişkin Boyutlar ve Deney Düzeneği.

Kirişe kullanılan donatuların detayları ise Şekil 4'te verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, kirişlerin üretiminde enine, boyuna ve gövde donatıları kullanılmıştır. Bu donatıların kullanımındaki amaç, deney numunelerinde kesme ve eğilme çatlaklarının oluşmasını önlemek ya da çatlakları kılcal düzeyde tutarak ölçümlerin daha doğru bir şekilde yapılması sağlamaktır. 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 [17] göre belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 4. Mafsallı kirişlerin üretiminde kullanılan donatı detayı.

Üretilen betonlar hazırlanan kalıplara iki aşamada dökülmüştür. Sarsma tablası kullanılarak 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 5'te verilmektedir.



Şekil 5. Mafsallı kiriş deney numunelerine kür uygulaması.

Deney kirişlerine düşey yük 600 kN kapasiteli hidrolik piston yardımıyla 0.5kN/s hız ile otomatik olarak uygulanmıştır. Mafsallı kirişler biri sabit diğeri ise hareketli iki mesnet üzerine yerleştirilmiş ve kirişin orta noktasından düşey olarak yüklenmiştir. Orta noktadan uygulanan yükler yük hücresi (Loadcell) ile belirlenmiştir. Kiriş numunesinin iki ucunda donatının betondan sıyrılma miktarını ölçmek için 0,013 mm hassasiyetinde potansiyometrik yerdeğiştirme ölçerler (LPDT) kullanılmıştır. Düşey olarak uygulanan yükler ve bunlara karşılık gelen sıyrılma değerleri eş zamanlı olarak veri toplama ünitesi yardımıyla kaydedilmiştir. Mafsallı kiriş deneyinin yapılışı esnasından bir görünüm Şekil 6'da verilmektedir. Kiriş numunesinin orta kısmında, aderans ölçümü yapılan donatıya etkileyen kuvvetin daha kesin bir şekilde tespit edilmesi için çelik mafsal yerleştirilmiş ve donatının beton ile temas ettiği uzunluk olan L_b kenetlenme boyu, donatının uç kısımlarına plastik kılıflar kullanılarak sınırlandırılmıştır (bkz. Şekil 2 ve Şekil 3).



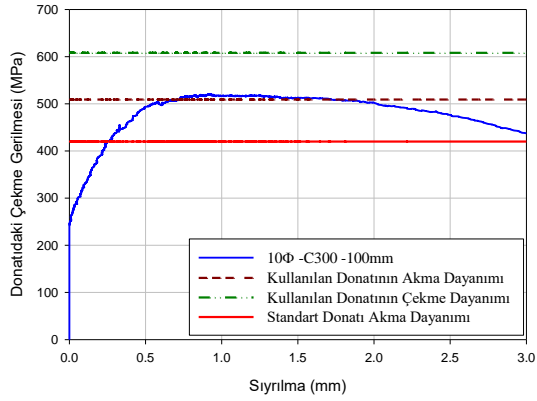
Şekil 6. Mafsallı kiriş deneyinde bir görünüm

3. Bulgular

Gerçekleştirilen deneysel çalışma ile 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. Böylece farklı kenetlenme boyunun ve farklı çaptaki donatıların betonla olan aderansları üzerine etkileri deneysel olarak belirlenmiştir. Mafsallı kiriş deneyi ile aderans dayanımı belirlenen deney numunelerine ilişkin bulgular aşağıda verilmektedir.

3.1. Ø10-C300-100 mm numunesine ilişkin deney bulguları

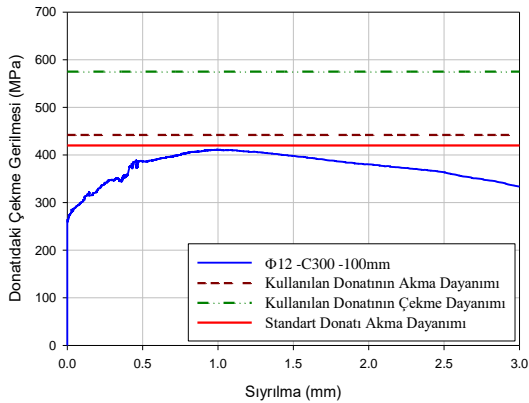
Eğilmede aderans dayanımı incelenen Ø10-C300-100 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrisi Şekil 7'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmıştır. Akma dayanımına karşılık gelen sıyrılma değeri ise 0.713 mm olarak belirlenmiştir. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 520 MPa ve buna karşılık gelen sıyrılma değeri ise 0.911 mm'dir. Yine şekilden de görüldüğü gibi, donatıda ulaşılan maksimum gerilme değeri TS 500-2000'de [18] akma dayanımı için verilen 420 MPa değerinden fazladır. Bu değere karşılık gelen sıyrılma değeri ise 0.25 mm'dir. Yüklemeye devam edildiğinde sıyrılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan önce kaybolmuştur.



Şekil 7. $\Phi 10$ -C300-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

3.2. $\Phi 12$ -C300-100 mm numunesine ilişkin deney bulguları

Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 12$ -C300-100 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 8'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmamıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 411 MPa ve buna karşılık gelen sıyırılma değeri ise 1.00 mm'dir. 12 mm donatı çap değeri için, standart donatı akma dayanımına ulaşamamıştır. Yüklemeye devam edildiğinde sıyırılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan kaybolmuştur.

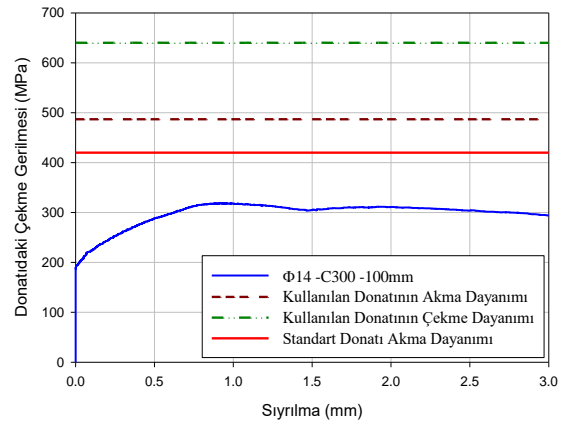


Şekil 8. $\Phi 12$ -C300-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi

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

Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 14$ -C300-100 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin

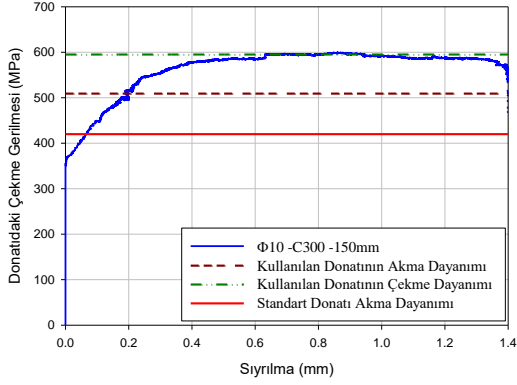
çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 9'da verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmamıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 319 MPa ve buna karşılık gelen sıyırılma değeri ise 0.923 mm'dir. Bu değer standart donatı akma dayanımının da çok altındadır. Yüklemeye devam edildiğinde sıyırılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan kaybolmuştur.



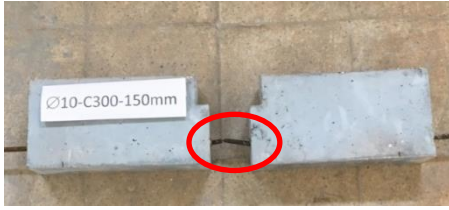
Şekil 9. $\Phi 14$ -C300-100 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

3.4. $\Phi 10$ -C300-150 mm numunesine ilişkin deney bulguları

Eğilmede aderans dayanımı incelenen $\Phi 10$ -C300-150 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 10'de 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 11).



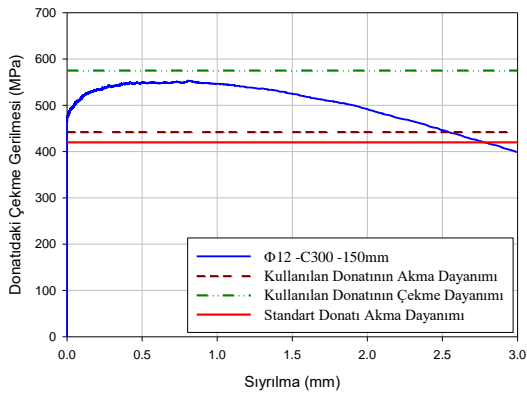
Şekil 10. Φ10-C300-150 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.



Şekil 11. Donatının koptuğu kiriş numunesi.

3.5. Φ12-C300-150 mm numunesine ilişkin deney bulguları

Eğilmede aderans dayanımı incelenen Φ12-C300-150 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 12'de 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.

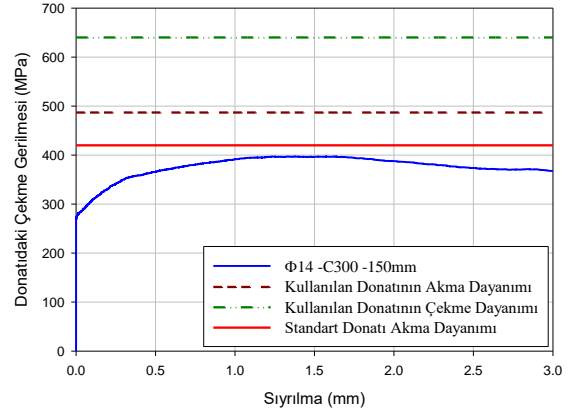


Şekil 12. Φ12-C300-150 mm kodlu numunenin

çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

3.6. Φ14-C300-150 mm numunesine ilişkin deney bulguları

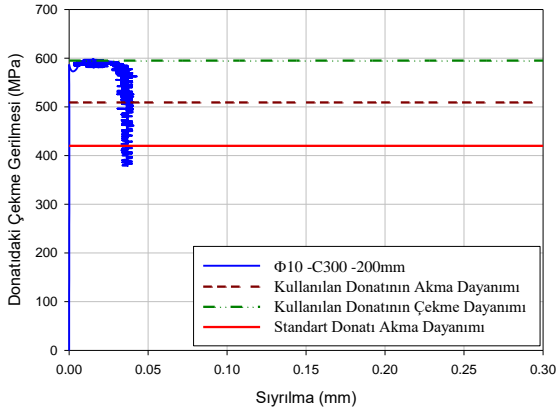
Eğilmede aderans dayanımı incelenen Φ14-C300-150 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 13'te verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmamıştır. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 397 MPa ve buna karşılık gelen sıyırılma değeri ise 1.377 mm'dir. Donatıdaki gerilme standart donatı akma dayanımı olan 420 MPa'nın da altındadır. Yüklemeye devam edildiğinde sıyırılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan kaybolmuştur.



Şekil 13. Φ14-C300-150 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

3.7. Φ10-C300-200 mm numunesine ilişkin deney bulguları

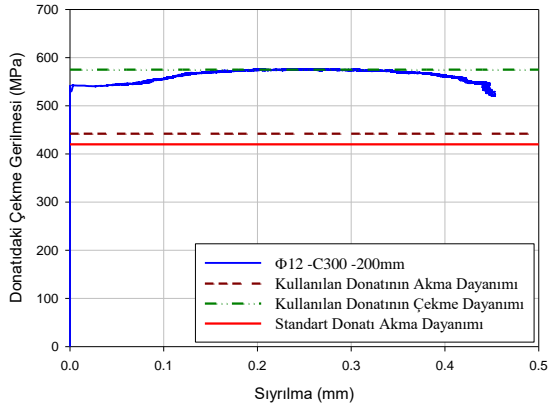
Eğilmede aderans dayanımı incelenen Φ10-C300-200 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 14'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına herhangi bir sıyırılma oluşmadan ulaşmıştır. Donatı çekme dayanımına 0.015 mm gibi çok küçük sıyırılma değeriyle ulaşmıştır ve 0.036 mm gibi çok küçük bir sıyırılma değeri ile donatı kopmuştur.



Şekil 14. Φ10-C300-200 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

3.8. Φ12-C300-200 mm numunesine ilişkin deney bulguları

Eğilmede aderans dayanımı incelenen Φ12-C300-200 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 15'te 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.

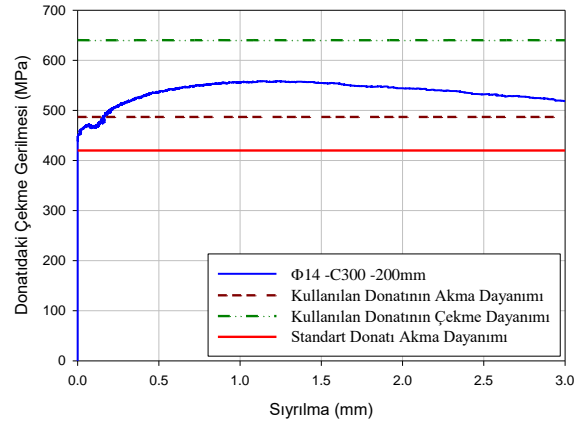


Şekil 15. Φ12-C300-200 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

3.9. Φ14-C300-200 mm numunesine ilişkin deney bulguları

Eğilmede aderans dayanımı incelenen Φ14-C300-200 mm kodlu mafsallı kiriş numunesinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi Şekil 16'da

verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi donatı akma dayanımına ulaşmıştır. Akma dayanımına karşılık gelen sıyırılma değeri ise 0.153 mm olarak belirlenmiştir. Ulaşılan maksimum gerilme değeri ise 558 MPa ve buna karşılık gelen sıyırılma değeri ise 1.138 mm'dir. Yüklemeye devam edildiğinde sıyırılmalar hızla artarak beton ve donatı arasındaki aderans, donatı kopmadan kaybolmuştur.



Şekil 16. Φ14-C300-200 mm kodlu numunenin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

Mafsallı kiriş deneyi sonunda elde edilen çekme gerilmesi ve sıyırılmaları bazı kritik değerleri Tablo 4'te özetlenmektedir.

Tablo 4. Deneylerden elde edilen bazı bulgular.

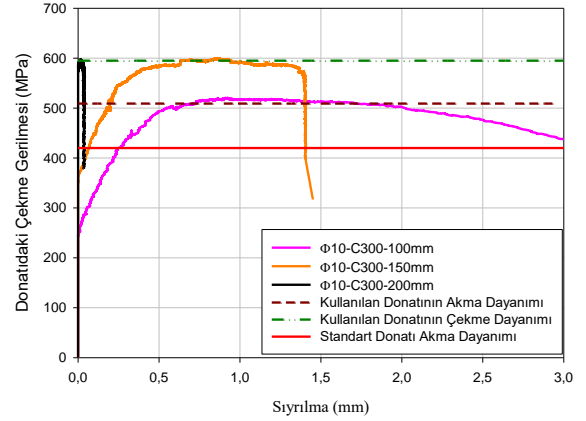
Deney Numune	Akma Dayanımı/Sıyırılma (MPa/mm)	Maksimum Gerilme/Sıyırılma (MPa/mm)	0.25 mm sıyırılma için gerilme (Mpa)	420 Mpa'daki sıyırılma (mm)
Φ10-C300-100 mm	509/0.713	520/0.911	420	0.25
Φ10-C300-150 mm	509/0.193	595/0.860	546	0.068
Φ10-C300-200 mm	509/0.015	595/0.036	-	0.0
Φ12-C300-100 mm	-	411/1.00	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

4. Tartışma

Mafsallı kirişler üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonunda elde edilen bulgular aşağıda iki başlık altında tartışılmıştır. Bunlardan birincisi kenetlenme boyunun aderans davranışına etkisi, diğeri ise donatı çapının beton-donatı aderansına etkisi üzerinedir.

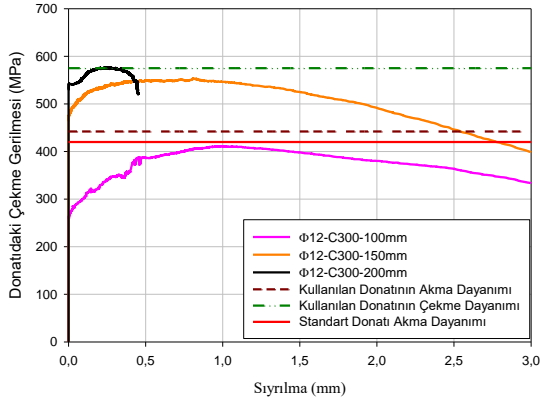
4.1. Kenetlenme boyunun aderans davranışına etkisi

$\Phi 10$ -C300-100mm, $\Phi 10$ -C300-150mm, $\Phi 10$ -C300-200mm mafsallı kiriş deney numunelerinin çekme gerilmesi-sıyırılma grafiği Şekil 17’de 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 sıyırılma değeri olan 3 mm sınırı aşılmıştır. $\Phi 10$ -C300-150mm numunesinde donatı akma dayanımına 0.193 mm sıyırılma 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 deneyin 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.



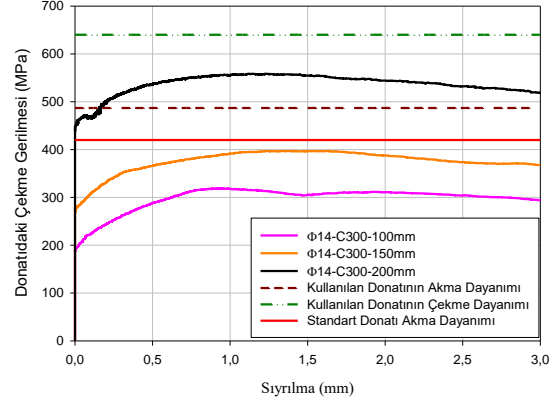
Şekil 17. $\Phi 10$ -C300-(100mm-150mm-200mm) numunelerinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrileri.

$\Phi 12$ -C300-100mm, $\Phi 12$ -C300-150mm, $\Phi 12$ -C300-200mm mafsallı kiriş numunelerinin çekme gerilmesi-sıyırılma grafiği Şekil 18’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 sıyrılmalar 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.

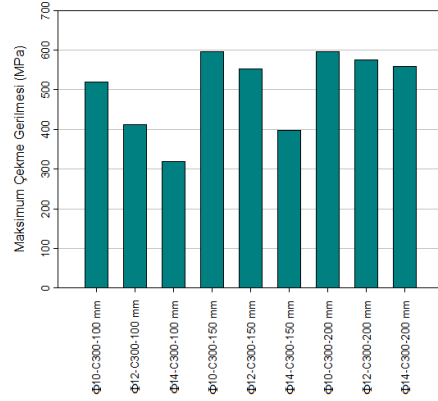


Şekil 18. $\Phi 12$ -C300-(100mm-150mm-200mm) numunelerinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.

$\Phi 14$ -C300-100mm, $\Phi 14$ -C300-150mm, $\Phi 14$ -C300-200mm mafsallı kiriş numunelerinin Çekme gerilmesi-Sıyırılma grafiği Şekil 19'da 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. Deneyler sonunda elde edilen maksimum gerilmeler Şekil 20'de verilmektedir.



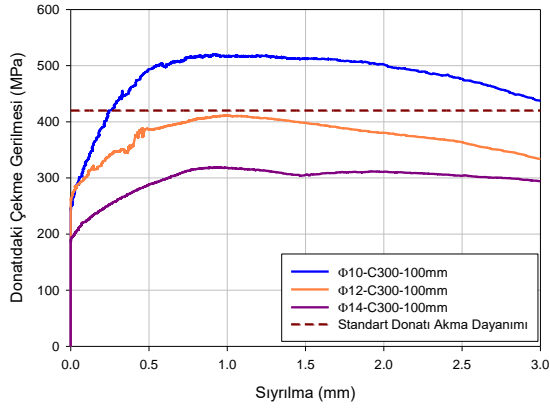
Şekil 19. $\Phi 14$ -C300-(100mm-150mm-200mm) numunelerinin çekme gerilmesi-sıyırılma eğrisi.



Şekil 20. Deneyler sonucu maksimum gerilmeler.

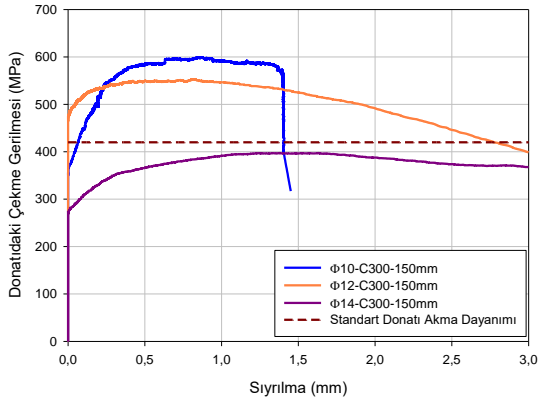
4.2. Donatı çapının aderans davranışına etkisi

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-sıyırılma grafiği aşağıdaki Şekil 21'de 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 21. (Φ10-Φ12-Φ14)-C300-100mm numunelerinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrileri.

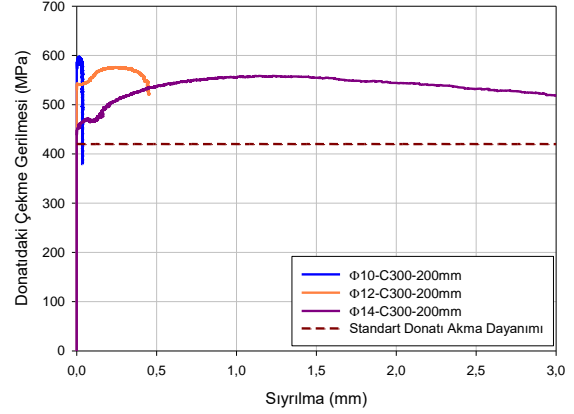
Φ10-C300-150mm, Φ12-C300-150mm ve Φ14-C300-150mm mafsallı kiriş numunelerinin çekme gerilmesi-sıyrılma grafiği aşağıdaki Şekil 22'de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ulaşılan en yüksek gerilme değeri 595MPa ile Φ10 donatısında oluşmuş ve donatı kopmuştur. En düşük gerilme ise 397MPa ile Φ14 donatısındadır. Bu durum donatı çapındaki artışın aderans dayanımını azalttığını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla yönetmeliklerde kenetlenme boyunun donatı çapına bağlı olarak verilmesinin isabetli olduğu bir kez daha ortaya konulmuş olmaktadır.



Şekil 22. (Φ10-Φ12-Φ14)-C300-150mm numunelerinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrileri.

Φ10-C300-200mm, Φ12-C300-200mm ve Φ14-C300-200mm mafsallı kiriş numunelerinin çekme gerilmesi-sıyrılma grafiği aşağıdaki Şekil 23'te verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ulaşılan en yüksek gerilme değeri 595MPa ile yine Φ10 donatısında meydana gelmiş ve yine

donatı kopmuştur. Bunun yanında 200 mm kenetlenme boyu için Φ12 donatısı da çekme dayanımına ulaşmış ve kopmuştur. Bu durum TS 500-2000'de geleneksel betonlar için verilen 20Φ kenetlenme boyunun tutarlı bir rakam olduğunu ortaya koymaktadır. 200 mm kenetlenme boyu için ulaşılan en düşük gerilme ise 558MPa ile Φ14 donatısındadır.



Şekil 23. (Φ10-Φ12-Φ14)-C300-200mm numunelerinin çekme gerilmesi-sıyrılma eğrileri.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Farklı kenetlenme boyları ve donatı çapları kullanılarak üretilen kiriş deney elemanları üzerinde gerçekleştirilen mafsallı kiriş deneylerinin bulgularının değerlendirilmesiyle elde edilen bazı sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

- Kenetlenme boyundaki artış beton-donatı aderansını oldukça artırmaktadır. Ulaşılan maksimum çekme gerilmelerinde 100 mm, 150 mm ve 200 mm kenetlenme boyunun kullanıldığı Φ10 donatısı için %14, Φ12 %40 ve Φ14 için ise %75'e kadar artış olduğu görülmüştür. Buna karşılık donatıda oluşan sıyrılmalar da azalmıştır.
- Aynı kenetlenme boyu için farklı çapların aderans davranışları değerlendirildiğinde büyük çaplı donatıların aderans dayanımlarının küçük çaplara göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu farkın düşük kenetlenme boylarında daha belirgin olduğu görülmüştür. Zira 100 mm kenetlenme boyu için Φ10, Φ12 ve Φ14 donatıları için ulaşılan maksimum çekme gerilmeleri sırasıyla 520 MPa, 411 MPa ve 319 MPa olarak belirlenmiştir. Bunun yanında, kesitin emniyetle taşıdığı çekme gerilmesine

karşılık gelen sıyrıлма değeri olan 0.25 mm sıyrıлма değeriinde oluşın çekme gerilmeleri ise $\Phi 10$, $\Phi 12$ ve $\Phi 14$ donatıları için yine sırasıyla 420 MPa, 338 MPa ve 253 MPa olarak ölçülmüştür.

- Düşük çaptaki donatılar için, TS 500-2000’de önerilen 20 Φ kenetlenme boyunun fazla olduğu ancak yapılar da daha çok kullanılan $\Phi 12$ ve $\Phi 14$ donatıları için uygun olduğu sonucu ortaya konmuştur.

Farklı kenetlenme boyu ve donatı çapı için gerçekleştirilen bu çalışmanın yanında, farklı beton sınıfları ve daha büyük çapta donatıların kullanıldığı deneysel çalışmaların da yapılması gerekmektedir. Bu şekilde, TS 500-2000’de [17] sadece geleneksel betonları kapsayan bağıntılara ilave olarak yüksek performanslı betonlar için de geçerli olan bağıntıların sunulması için yeterli veri elde edilebileceği de belirtilmelidir.

6. Kaynaklar

1. Arda, T.S. (1968). Betonarmede Aderans Konusunda Bir Derleme, 1. Baskı, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
2. Arslan, M. E. (2007). Eğilmede Taşıyıcı Hafif Beton-Donatı Aderansının Geleneksel Beton-Donatı Aderansı ile Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü 104s.
3. Arslan M. E. and Durmuş, A. (2011). Investigation of bond behavior between lightweight aggregate concrete and steel rebar using bending test. *Computers & Concrete*, **8(4)**: 465-472.
4. Ersoy, U. ve Özcebe, G. (2001). Betonarme: Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap, Genişletilmiş Yeni Baskı, Evrim Yayınevi, İstanbul.
5. Dahil, H. (2001). Yüksek Performanslı Beton-Donatı Aderansının Geleneksel Beton-Donatı Aderansı ile Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü, 93s.
6. Hüssem, M. ve Durmuş A. (1995). Hafif Beton-Donatı Aderansının Geleneksel Beton Donatı Aderansı ile Karşılaştırılması Olarak İncelenmesi, *Türkiye İnşaat Mühendisliği XIII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı*, İstanbul, s. 341-354
7. Kankam, C. K. (2004). Bond Strength of Reinforcing Steel Bars Milled From Scrap Metals. *Materials and Design*, **25**: 231-238.
8. MacGregor, J. G. (1997). Reinforced Concrete : Mechanic and Design”, Third Edition, Prentice Hall, New Jersey.
9. Yeih, W., Chang, J. J. and Tsai C.L. (2004). Enhancement of the Bond Strength of Epoxy Coated Steel by the Addition of Fly Ash. *Cement & Concrete Composites*. **26**: 310-321.
10. El-Hawary, M. M. (1999). Evaluation of Bond Strength of Epoxy-Coated Bars in Concrete Exposed to Marine Environment. *Construction and Building Materials*. **13**: 357-362.
11. Arel, H. Ş. (2012). Değişik Parametrelerin Beton ile Çelik Donatı Aderansına Etkisi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 223s.
12. Benli, A. (2007). Kendiliğinden sıkışın betondaki donatı aderansının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 121s.
13. A. Beyciođlu (2013). Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Beton İle Donatı Aderansı İlişkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
14. Guneyisi, E., Gesođlu, M. and Ipek, S. (2013). Effect of steel fiber addition and aspect ratio on bond strength of cold-bond ed fly ash light weight aggregate concretes. *Construction and Building Materials*. **47**: 358-365.
15. Beyciođlu, A., Arslan, M.E., Sallı Bideci, Ö., Bideci A., Emirođlu, M. (2015). Bond Behavior of Lightweight Concretes Containing Coated Pumice Aggregate: Hinged Beam Approach. *Computers and Concrete*, **16**, 6, 911-920.
16. TS EN 197-1 (2002). Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara.
17. BS 4449:2005+A2:2009 (2009). Steel for the reinforcement of concrete: Weldable reinforcing steel: Bar, coil and decoiled product, London.
18. TS 500-2000 (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara.