

ALİ BEYAZ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2021



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**BETONARME KİRİŞLERDE
ETRİYEYE ALTERNATİF
ÇELİK TEL UYGULANMASI
VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

ALİ BEYAZ

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

TEMMUZ 2021





**BETONARME KİRİŞLERDE ETRİYEYE ALTERNATİF ÇELİK TEL
UYGULANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ali BEYAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2021

Ali BEYAZ tarafından hazırlanan “BETONARME KİRİŞLERDE ETRİYEYE ALTERNATİF ÇELİK TEL UYGULANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Murat BİKÇE

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....
.....

Başkan: Prof. Dr. Murat BİKÇE

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....
.....

Üye: Prof. Dr. İlker Fatih KARA

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....
.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KAÇIN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....
...

Tez Savunma Tarihi: 02/07/2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
 - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Ali BEYAZ

02/07/2021

BETONARME KİRİŞLERDE ETRİYEYE ALTERNATİF ÇELİK TEL
UYGULANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Ali BEYAZ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2021

ÖZET

Kesme dayanımlarını karşılayabilmek için betonarme kolon, perde ve kiriş elemanlarda enine donatı kullanılması gerekmektedir. Enine donatı olarak yaygın bir şekilde etriye kullanılmaktadır. Etriyeler, betonarme elemanların sünek davranışa katkılarının yanı sıra, kesme etkisiyle oluşan asal çekme gerilmelerine bağlı çatlakların büyümesini ve genişlemesini önlemektedir. Etriye etkileri, deneysel çalışmalarda genellikle kirişler üzerinde kontrol edilmektedir. Bu çalışmada, etriye yerine aynı işlevleri görebilecek çelik tel uygulanmasının alternatif olup olamayacağı deneysel olarak kirişler üzerinde incelenmiştir. Bu amaçla, 200x320mm enkesitinde ve 1800 mm uzunluğunda aynı özelliklerde 3 adet deney kiriş numunesi üretilmiştir. Şahit deney kiriş numunesi olarak Ø8 çaplı etriye donatısı yerleştirilmiştir. Diğer iki deney numunesinde, enine donatı olarak Ø4 ve Ø6 çaplı çelik donatı kullanılmıştır. Tüm betonarme numunelerde uygulanan enine donatı miktarının, hacimsel olarak aynı tutulmasına özen gösterilmiştir. Enine donatı çapının azalmasına bağlı olarak enine donatı aralıkları da azalmıştır. Böylece, enine donatı çapı azaldıkça, birim mesafedeki etriye sayısı, şahit deney kiriş numunesine göre artmıştır. Bu şekilde üretilen 3 adet deney kiriş numunesi üzerinde dört noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuş ve enine donatı olarak çelik tel uygulanma alternatifinin, süneklilik ve yük taşıma kapasitesine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, çelik tel uygulanmasının işçilik ve üretim bakımından getirdiği avantaj ve dezavantajlar sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler Betonarme kiriş, Çelik tel, Etriye, Enine donatı, Kesme dayanımı

Sayfa Adedi 40

Danışman Prof. Dr. Murat BİKÇE

APPLICATION AND EVALUATION OF ALTERNATIVE STEEL WIRE FOR IRON IN CONCRETE BEAMS

(M. Sc. Thesis)

Ali BEYAZ

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY

INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

July 2021

ABSTRACT

Stirrups are widely used as transverse reinforcement to meet the shear stresses in reinforced concrete columns, shear walls and beams. They ensure the ductile behavior of reinforced concrete members and also they prevent the growth and expansion of cracks due to the principle tensile stresses caused by the shear effect. In this study, it was experimentally investigated whether steel wire can be used as an alternative to stirrups in reinforced concrete beams. For this purpose, 3 test beam specimens with a cross section of 200x320 mm, a length of 1800 mm and with the same properties were produced. For comparison, a control specimen designed in accordance with standard, with Ø8 diameter stirrup. Steel reinforcement of Ø4 and Ø6 diameter was used as transverse reinforcement in the other two specimens. The volumetric ratio of transverse reinforcement was kept the same in all specimens. Due to the reduction in the diameter of the transverse reinforcement, the spacing of the transverse reinforcement has also decreased. Thus, as the transverse reinforcement diameter decreased, the number of stirrups per unit length increased compared to the control specimen. Three beam specimens produced in this way were subjected to the four-point bending test and the effects of steel wire application alternative as transverse reinforcement on ductility and load carrying capacity have been investigated. The beam specimen using Ø4 diameter steel wire as a stirrup has shown the best performance and It was observed that it behaved 28% more ductile than the control beam sample.

Key Words : Reinforced concrete beam, Steel wire, Stirrup, Transverse reinforcement, Shear stress

Page Number : 40

Supervisor : Prof. Dr. Murat BİKÇE

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Murat BİKÇE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca yanımda olup hiçbir desteğini esirgemeyen değerli aileme teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarımnda bana destek olan Ar. Gör. Muhammet Musab ERDEM'e, Yüksek İnşaat Mühendisi Orhan KAHRAMAN'a, İnş. Müh. Gökhan FIRINCI'ya çok teşekkür ederim.

Sigma Yapı Test Laboratuvarına, kalıp ustası Cuma KALLIOĞU'na, demir ustası Murat KALA'ya ve İlhan KALLIOĞLU'na çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|--------------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| TEŞEKKÜR..... | vi |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ..... | ix |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ..... | x |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | xii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR..... | 3 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM | 10 |
| 3.1. Deneyde Kullanılan Elemanlar..... | 10 |
| 3.1.1. Deney kirişlerinin betonu | 10 |
| 3.1.2. Deney kirişlerinin donatıları..... | 12 |
| 3.1.3. Deney kirişlerinin kalıpları | 16 |
| 3.2. Deney Kirişlerinin Geometrik Özellikleri | 17 |
| 3.3. Deney Kirişlerinin Analitik Özellikleri | 18 |
| 3.4. Kirişlerin Etriye Dizilimleri | 21 |
| 3.5. Beton Dökümü ve Kirişlerin Kürlenmesi | 25 |
| 3.6. Deneyin Uygulanması | 25 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI | 28 |
| 4.1. DYNØ8 Kirişinin Deney Sonuçları | 28 |
| 4.2. DYNØ6 Kirişinin Deney Sonuçları | 30 |

| | Sayfa |
|---|--------------|
| 4.3. DYNØ4 Kirişinin Deney Sonuçları | 31 |
| 4.4. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması | 33 |
| 5. BULGULAR..... | 35 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 37 |
| KAYNAKLAR | 38 |
| ÖZGEÇMİŞ | 40 |



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge | Sayfa |
|---|--------------|
| Çizelge 3.1. Beton karışım oranları | 10 |
| Çizelge 3.2. Beton küp numunelerinin dayanım testi sonuçları | 11 |
| Çizelge 3.3. Ø10'luk ve Ø16'luk donatıların çekme testi sonuçları..... | 12 |
| Çizelge 3.4. TS 708'e göre S420 donatı özelliklerine göre uygunluk..... | 13 |
| Çizelge 3.5. Ø8'lik donatının çekme testi sonuçları..... | 13 |
| Çizelge 3.6. Ø6'luk donatının çekme testi sonuçları | 14 |
| Çizelge 3.7. TS 708'e göre S420 çeliği ile B500A çeliğinin farkları | 14 |
| Çizelge 3.8. Ø4'lük çelik telin çekme testi sonuçları..... | 15 |
| Çizelge 3.9. Kiriş numunelerine uygulanan etriye miktarı..... | 24 |
| Çizelge 4.1. Deney kiriş numunelerinin karşılaştırılması..... | 33 |
| Çizelge 5.1 Deney sonuçları..... | 35 |

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 3.1. Beton pres makinasında beton testi | 11 |
| Şekil 3.2. Deneyde kullanılan çelik tel | 15 |
| Şekil 3.3. Deney kalıbı..... | 16 |
| Şekil 3.4. Deney kirişlerinin ölçeklendirilmesi..... | 17 |
| Şekil 3.5. Kirişte kesme kuvvetinin etkisinin karşılanması (Doğangün, 2008)..... | 18 |
| Şekil 3.6. Deney kirişlerinin kesme ve moment grafiği..... | 20 |
| Şekil 3.7. DYNØ8 etriye dizilimi | 21 |
| Şekil 3.8. DYNØ6 etriye dizilimi | 22 |
| Şekil 3.9. DYNØ4 etriye dizilimi | 23 |
| Şekil 3.10. DYNØ4 etriye mesafesi ayarlama aparatı | 23 |
| Şekil 3.11. Deney numunelerinin kalıba yerleştirilmesi | 24 |
| Şekil 3.12. Beton dökümü ve betonun şişlenmesi | 25 |
| Şekil 3.13. Deney düzeneği | 26 |
| Şekil 3.14. DYNØ8'e yük uygulanması | 26 |
| Şekil 3.15. DYNØ6'ya yük uygulanması | 27 |
| Şekil 3.16. DYNØ4'e yük uygulanması | 27 |
| Şekil 4.1. DYNØ8'in göçmüş hali..... | 28 |
| Şekil 4.2. DYNØ8 Yük - Deplasman grafiği..... | 28 |
| Şekil 4.3. DYNØ6'nın göçmüş hali..... | 30 |
| Şekil 4.4. DYNØ6 çatlak ayrıntıları | 30 |
| Şekil 4.5. DYNØ6 Yük - Deplasman grafiği..... | 31 |

| Şekil | Sayfa |
|---|--------------|
| Şekil 4.6. DYNØ4'ün göçmüş hali | 31 |
| Şekil 4.7. DYNØ4 çatlak ayrıntıları | 32 |
| Şekil 4.8. DYNØ4 Yük - Deplasman Grafiği | 32 |
| Şekil 4.9. Deney kirişlerinin Yük - Deplasman grafiğinin karşılaştırılması..... | 33 |
| Şekil 5.1. Çelik telin pense ile bükümü..... | 36 |



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

| | |
|------------------------|---|
| a | Bloğunun basınç gerilmesi derinliği, mesnetin genişliği |
| A | Alan |
| A_s | Çekme donatısı alanı |
| A_{s1} | Kirişte çekme donatısı alanı |
| A_{s2} | Kirişte basınç donatısı alanı |
| A_{sw} | Kesme donatısı alanı |
| bw | Tablalı kesitte etkili tabla genişliği |
| C | En dış beton lifinden tarafsız eksene olan uzaklık |
| d | Kirişte faydalı yükseklik |
| d' | Pas payı |
| E_s | Donatının elastiklik modülü |
| F | Kuvvet |
| F_c | Beton basınç kuvveti |
| F_s | Donatının çekme kuvveti |
| F_{sw} | Kesme donatısının toplam kuvveti |
| F_x | x yönündeki kuvvetler |
| F₁ | Çekme donatısının toplam kuvveti |
| F₂ | Basınç donatısının toplam kuvveti |
| f_{cd} | Beton tasarım basınç dayanımı |
| f_{ci} | Betonda i nolu betonun basınç dayanımı |
| f_{ck} | Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı |
| f_{cm} | Beton basınç dayanımı ortalaması |
| f_{ctd} | Betonun dizayn çekme dayanımı |
| f_{ctk} | Betonun karakteristik çekme dayanımı |
| f_{su} | Donatının çekme dayanımı |
| f_{yk} | Donatının karakteristik akma dayanımı |
| f_{yd} | Donatının tasarım akma gerilmesi |

| | |
|-----------------|--|
| f_{ywd} | Etriye donatısının dizayn akma gerilmesi |
| f_{ywk} | Etriye donatısının karakteristik akma gerilmesi |
| I | Atalet momenti |
| k_1 | Baton basınç derinliğinin tarafsız eksen derinliğine oranı |
| M | Moment |
| M_d | Kirişin hesaba göre eğilme momenti |
| M_r | Kirişin eğilme momenti taşıma gücü |
| N_d | Kirişin hesap eksenel kuvveti |
| P | Yük |
| s | Etriyeler arası mesafe |
| T | Dikey kuvvetler |
| V | Kesme kuvveti |
| V_{cc} | Kirişin çatlamamış basınç bölgesindeki betonun kesme kuvveti dayanımı |
| V_{cd} | Çekme donatısınca taşınan kesme kuvveti |
| V_{ci} | Kirişin çatlak yüzeyindeki çatlak içi kesme gerilmeleri toplamının düşey bileşke kesme kuvveti |
| V_{cr} | Beton kesitin kesme kuvveti dayanımına katkısı |
| V_d | Tasarım kesme kuvveti |
| V_{deney} | Deney kirişlerinin kesme dayanımı |
| V_e | Enine donatı hesabında dikkate alınacak kesme kuvveti |
| V_{hesap} | Hesaba göre deney kirişlerinin kesme dayanımı |
| V_r | Kirişin kesme dayanımı |
| V_{sw} | Etriyelerin kesme dayanımı |
| x | Tarafsız eksen derinliği |
| ϵ | Birim boy değişimi |
| ϵ_c | Betonun birim kısalması |
| ϵ_{cu} | Betonun ezilme birim kısalması |
| ϵ_s | Donatının birim uzaması |
| ϵ_{su} | Donatının kopma birim uzaması |
| ρ | Kirişteki çekme donatısının oranı |
| ρ_b | Kirişin dengeli donatı oranı |
| ρ_w | Kirişin etriye donatısının oranı |

| | |
|------------|----------------------------------|
| σ | Normal gerilme |
| σ_s | Çekme donatısında oluşan gerilme |

Kısaltmalar

| | |
|--------------|-----------------------------|
| GFRP | Cam Elyaf Takviyeli Polimer |
| DYNØ4 | Ø4 etriyeli deney numunesi |
| DYNØ6 | Ø6 etriyeli deney numunesi |
| DYNØ8 | Ø8 etriyeli deney numunesi |
| FRP | Karbon Lifli Polimer |
| TSE | Türk Standartları Enstitüsü |
| TS | Türk Standardı |

1. GİRİŞ

Beton; dayanıklı, düşük maliyetli, yüksek mukavemetli, kolay işlenebilir, uzun ömürlü ve kolay bulunabilir olduğu için dünyada en çok kullanılan yapı malzemesidir. Bununla birlikte betonun düşük çekme mukavemeti ve gevrek olma gibi kendine özgü dezavantajlarını gidermek üzere, bu açılardan üstünlükleri olan çelik donatılarla genellikle birlikte kullanılır. Betonun ucuz ama çekme dayanımının düşük olması, donatının çekme dayanımının yüksek ama pahalı olması sonucu kompozit bir malzeme olan betonarme teşkil edilmekte ve fiyat ve fayda yönleriyle optimize edilerek yapılarda yaygın bir şekilde tercih edilmektedir.

Betonarme yapılar, genellikle kolon, perde, döşeme, temel ve kirişten oluşmaktadır. Betonarme elemanların davranışı üzerine yapılan deneyler genellikle davranışı temsil eden kirişler üzerinde uygulanmaktadır. Kirişler, kendi yükleri ile birlikte döşemeden gelen ve üzerindeki duvar yüklerini düşey taşıyıcı elemanlara aktaran elemanlardır. Bu yükler altında oluşan eğilme etkisine karşı koymak üzere boyuna donatılar, kesme etkisine karşı koymak üzere de enine donatılar tehzatlandırılır. Enine donatı olarak yaygın kullanılan etriyeler aynı zamanda betonarme elemanın sünekliğini de artırmaktadır.

Betonarme yapıyı oluşturan elemanlar, genelde eğilmeye ek olarak kesme kuvveti de taşıma durumundadırlar. Betonun kesme dayanımı oldukça yüksek olduğundan, betonarme elemanlarda kesme kırılmasına pek rastlanmaz. Buna karşın, kesme ve normal gerilmelerin neden olduğu asal çekme gerilmeleri, betonun çekme dayanımının düşük olması nedeniyle önemli sorunlar doğurur. Betonun kesme ve basınç dayanımı, çekme dayanımından yüksek olduğundan basit kesme durumunda bile kırılma, asal çekme gerilmeleri nedeni ile oluşur. Basit kesme durumunda, asal çekme ve asal basınç gerilmeleri kesme gerilmesine eşit olacağından kırılma, en düşük dayanım olan çekme nedeni ile oluşacaktır. Asal çekme gerilmeleri, kesme gerilmelerinin etkidiği yüzeye 45° lik açı yapan bir düzlem üzerinde etkiyeceğinden, kırılma asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşan eğik bir çatlakla meydana gelecektir. Asal çekme gerilmelerinden oluşan bu tür bir çatlama eğik çatlak, buna neden olan asal gerilme de “eğik çekme” olarak adlandırılır [1].

2018’de yayımlanan ve 2019 yılının ilk ayında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY) göre enine donatı olarak en küçük 8 mm donatı çapının

kullanılması esas alınmıştır. Ayrıca, TBDY-2018'e göre betonarme yapılarda donatı standardı olarak asgari S420 nervürlü donatının kullanılacağı belirtilmektedir. Bu çalışmada, betonarme elemanlarda enine donatı olarak uygulanan 8 mm etriye çapı yerine daha küçük çaplı etriyelerin etkinliği araştırılacaktır. Bu çalışmada 8 mm'den daha küçük enine donatılar için çelik tel terminolojisi de kullanılacaktır. Bu tez kapsamında standart ve yönetmeliğe göre asgari enine donatı çapı olan 8 mm yerine aynı işlevleri görebilecek çelik tel uygulanmasının alternatif olup olamayacağı deneysel olarak incelenmektedir.

Çalışma kapsamında aynı özelliklerin karşılaştırılabilmesi için, aynı boyut, aynı beton sınıfı ve aynı boyuna donatılarda olmakla birlikte enine donatı çapları değişen üç adet kiriş hazırlanmıştır. Kirişlerin geometrik özellikleri; 200x320mm enkesitinde ve 1800 mm uzunluğundadır. Aynı özelliklerdeki kirişlerden biri yaygın şekilde kullanılan, TS500 ve TBDY 2018'e göre minimum enine donatı çapı olan S420 donatı sınıfında Ø8 kullanılmış ve bu numune şahit numune olarak dikkate alınmıştır. Beton sınıfı olarak C25/30 seçilmiştir. Numune kirişlerin üstünde, montaj donatısı olarak Ø10 ve altta boyuna donatı Ø16 kullanılmıştır. Diğer iki deney numunesinde, Ø4 ve Ø6 çaplı çelik donatı kullanılmıştır. Tüm betonarme numunelerde uygulanan enine donatı miktarının, hacimsel olarak aynı tutulmasına özen gösterilmiştir. Yani her üç numunede birim mesafede enine donatı olarak kullanılan miktarları aynıdır. Böylece, enine donatı çapının azalmasına bağlı olarak enine donatı aralıkları da azalmıştır. Enine donatı çapı azaldıkça da birim mesafede şahit deney kiriş numunesine göre etriye sayısı artmıştır. Bu şekilde üretilen 3 adet deney kiriş numunesi üzerinde dört noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuş ve enine donatı olarak çelik tel uygulanması alternatifinin, süneklik ve kesme dayanımı kapasitesine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen çizelgeler yorumlanarak uygulanan yöntemin avantaj ve dezavantajları yorumlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kirişlerde kesme dayanımını arttırmak ve etriyeye pratik bir alternatif geliştirmek için birçok çalışmalar yapılmıştır. Önceki çalışmalarda, betonarme kirişlerdeki etriyeye alternatif olarak çelik lamalar, Karbon Lifli Polimerler, lifler ve benzeri yöntemler kullanılmış olsa da bu yöntemlerin uygulama alanları güçlendirme ile sınırlı kalmıştır. Yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Sharaky, Mohamed, Torres, Emara [2], yaptıkları çalışmada betonda kırıntı kauçuk oranının ve etriyeye ekstradan çelik tel örgü eklenmesinin betonarme kirişlerin eğilme davranışı üzerindeki etkisini değerlendirmek için deneysel çalışma yapmışlardır. Deney kapsamında dokuz adet deney kiriş numunesi üretilmiş ve dört noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. Kirişlerde kullanılan betonun ince agrega hacmi %0, %10 ve %20 oranlarında kauçuk parçaları ile değiştirilmiştir. U şeklinde dizayn edilen çelik tel örgüler tek katmanlı ve çift katmanlı olarak etriyelere kayma takviyesi olarak eklenmiştir. Test sonuçları, ince agreganın %10 ve %20 oranında kauçuk parçaları ile değiştirilmesinin, kirişlerin yük kapasitesini sırasıyla %3,85 ve %6,15 oranında azalttığını ortaya koymuştur. Çelik tel örgülerin kesme takviyesi olarak kullanılması kirişlerin kesme dayanımını ve yük kapasitesini arttırmıştır. Tek katmanlı ve çift katmanlı çelik tel örgü eklenen kirişler sırasıyla %6,2 ve %9,2 oranında daha fazla yük taşımıştır. Ayrıca, kauçuk parçalarının olduğu kirişlerin önemli oranda sünek davranış sergilediğini gözlemlemişlerdir.

Demir [3] yaptığı çalışmada çelik tel örgülerin etriye yerine veya etriye ile birlikte kullanılmasının betonarme kirişlerin davranışına etkilerini incelemiştir. Bu kapsamda 150x300x2000 mm ebatlarında üç adet betonarme kiriş üretilmiştir. Deney numunelerinde kesme donatısı olarak ilk deney numunesine Ø8'lik etriye, ikinci deney numunesine çelik tel örgü ve üçüncü deney numunesine Ø8'lik etriyeyle birlikte çelik tel örgü koyulmuştur. Deney elemanlarına basit mesnetli dört noktalı eğilme testini yapılmıştır. Çalışma sonucunda, çelik tel örgülerin kirişin çatlaklarını iyileştirerek kılcal çatlakları artırıp geniş çatlakları azalttığı görülmüştür. Etriye kullanılmadan çelik tel örgü kullanımı çatlamış kirişin erken göçmesine sebep olmuştur. Kesme donatısı olarak etriyelerle birlikte çelik tel örgülerin kullanılması durumunda ise betonarme kirişlerin yük taşıma kapasiteleri, başlangıç rijitlikleri ve süneklikleri artmıştır.

Abu Maraş, Tayeh, Ziara, Alyousef [4], yaptıkları çalışmada elik tel örgü ve kendiliğinden yerleşen beton kullanarak mantolama ile gclendirilmiş betonarme kirişlerin yük taşıma kapasitelerini ve eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Çalışma kapsamında 18 adet deney kiriş numunesi üretilmiştir. Kirişlerden 7 adet kontrol kirişi mantolanmadan bırakılmıştır ve geri kalan kirişlere ise $\text{Ø}3,5$ mm kesitinde 25 mm açıklığında ve $\text{Ø}5,5$ mm kesitinde 50 mm açıklığında elik tel örgüler farklı Őekillerde bağlanarak mantolama yapılmıştır. Deney kirişleri dört noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda mantolanmamış kontrol kirişlerine göre, $\text{Ø}3,5$ mm kesitinde 25 mm açıklığında elik tel örgü kullanılan kiriş numunelerinin yük taşıma kapasitesinde %110,24 oranında artış, sünekliğinde ise %179,43 oranında artış gözlenmiştir; $\text{Ø}5,5$ mm kesitinde 50 mm açıklığında elik tel örgü kullanılan kiriş numunelerinin yük taşıma kapasitesinde %162,96 oranında artış, sünekliğinde ise %117,67 oranında artış gözlenmiştir. Test sonuçları, elik tel örgünün ve kendiliğinden yerleşen betonun mantolamada kullanımının, kirişleri gclendirmek için uygun, verimli ve etkili bir teknik olduğunu ve kirişlerinin yapısal özelliklerini yükseltebileceğini göstermiştir.

Pearlin, Kesavraman, Velmurugan [5], yaptıkları çalışmada 230x230 mm kesitinde, 1000 mm uzunluğunda 5 adet kiriş üretilmişlerdir. Kontrol kiriş numunesinde $\text{Ø}6$ 'lık etriye kullanılmışlardır. Diğer dört kiriş numunesinde ise 2 mm çaplı ve 12,5 mm aralıklı elik tel örgü, tek ve çift katmanlı olmak üzere; betona %4 ve %6 oranında silis dumanı eklenmesi diğer parametrelerdir. Deney numuneleri dört noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda çift katlı elik tel örgü ve %4 oranında silis dumanı kullanılan kiriş en iyi performansı göstermiştir. elik tel örgü sünekliği artırmış ve çatlak genişliğini azaltmıştır. Silis dumanı oranı artıkaa kirişlerin mukavemetinin önemli oranda azaldığı gözlenmiştir.

Altın, Anıl ve Gökten [6], yaptıkları çalışmada elik levhalar ile gclendirilmiş betonarme kirişlerin eğilmeye karşı dayanımını araştırmışlardır. Yedi adet deney numunesi hazırlanmış ve bu deney numunelerinin  gclendirilerek diğer üç tanesi de hasar verilip sonra onarılarak deneye hazırlanmıştır. Yapılan çalışmada 200x500 mm en kesitli ve 4500 mm uzunluğunda kirişler üretilmiştir. Deney numuneleri dört noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. Kullanılan elik levhanın et kalınlığı, elik levhanın delikli veya deliksiz olması durumu; yan yüz elik levhanın kullanılması; bulon ile desteklemenin veya yapıştırarak uygulanması yönteminin davranışlara etkinliğini araştırmışlardır. Kullanılan yöntemler deney kirişlerinin dayanımı, deplasman kapasitesi, enerji tüketimi ve rijitliği

bakımından kıyaslanmıştır. Deney sonucunda çelik levhalarla güçlendirme uygulanması yönteminin davranış ve dayanım açısından verimli sonuç verdiği ve onarım durumlarında çelik levha kullanımı ile iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir.

Şavluk [7] yaptığı çalışmada çeliğe alternatif olarak geogrid malzemesinin kullanılması ve bu malzemenin farklı açılarda helezonik biçimde yerleştirilmesiyle betonarme kirişleri yapısal davranışlarının etkilerini araştırmıştır. Etriyesiz, çelik donatı etriyeli ve 30 derece, 45 derece, 60 derece, 90 derece olarak bağlanan geogrid etriyeli kirişler üretilmiştir. Hazırlanan kiriş numuneleri dört noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak geogrid malzemesinin elastisite modülü çeliğe göre çok daha düşük olmasına rağmen, yeterli şekil değiştirme değerlerine ulaşabilmiştir. Betonarme kirişte mikro çatlaklar oluşup etriyeye yük binmeye başladığında çelik etriyeler daha mukavim bir davranış sergileyerek daha yüksek performans sağlıyor ve kiriş daha yüksek taşıma kapasitesine ulaşabiliyor. Betonarme elemanlarda sargı donatısının sürekliliği elemanın yapısal davranışlarını iyileştirebildiği gözleniyor. En fazla yükü çelik etriyeli kiriş taşımış olsa da geogrid etriyeli kirişler de iyi performans göstermiştir.

Kadı [8] Cam Elyaf Takviyeli Polimer (GFRP) kompozitlerin betonarme kirişlerde etriye olarak kullanımı üzerine deneysel çalışma yapmıştır. Amaç korozyona uğramayan, çeliğe alternatif bir etriye üretmektir. Deney kirişleri 150x250 mm kesitinde ve 1900 mm boyunda üretilmiştir. Nervürlü ve nervürlü-kumlu yüzey özelliklerine sahip etriyeler kullanılmıştır. Deneysel çalışmada etriye adım mesafesi ve yüzey özellikleri değişken parametreleridir. Kiriş numuneleri kesme dayanımı zayıf, eğilme dayanımı güçlü olacak şekilde tasarlanmış ve her bir deney grubundan üçer adet kiriş numuneleri hazırlanmıştır. Kiriş numuneleri sabit hızlı yükleme ile dört nokta eğilme deneyinde test edilmiştir. Çalışma bulgularına göre, GFRP etriyelerin kesme dayanımında etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca nervürlü-kumlu yüzey özelliklere sahip GFRP etriyeli kirişlerin, kumlanmamış GFRP nervürlü kirişlere kıyasla beton ile daha iyi bir aderans sağladığı ve kesme dayanımında %10 civarında ilave iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

Arıtürk [9] yaptığı çalışmada farklı kesme donatısı dizilimleri ile tasarlanmış betonarme kirişlerin kesme kuvveti üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu deneyde beş farklı betonarme kirişe iki noktadan tekil yük uygulanarak, kirişlerin eğilme altındaki davranışları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda kirişlerin eğilme dayanımı, kesme dayanımı ve basınç

kırılması anındaki, eğilme bölgesinde ve mesnetlerde meydana gelen deplasmanlar ölçülmüştür. Yükleme ve deplasman değerleri incelenerek etriye diziliminin kirişin karakteristik davranışına ve taşıma kapasitesine olan etkisi karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre rijitlik, süneklik ve enerji tüketimleri incelenmiştir. Sonuç olarak yapılan çalışmada sadece mesnet bölgesine etriye konulan deney elemanları benzer davranış sergileyerek kesme bölgesinde oluşan çatlaklardan kesme kırılması gözlemlenmiştir. Kiriş boyunca etriye konulan ve sadece mesnet bölgesinde 45° açı ile etriye konulan deney numunelerinde ise beklendiği gibi kesme çatlakları olduğu gözlenmiş, fakat bu kirişlerin eğilme yükü taşıma kapasitesine ulaşarak kesme bölgesinde göçme meydana gelmeden önce basınç bölgesinde ezilmeler ve eğilme bölgesinde çekme donatılarında akma oluşmuştur.

Mazharı [10] yaptığı çalışmada, kırılmış bazalt lifli etriyesiz betonarme kirişlerde hacimsel bazalt lif oranına bağlı olarak kiriş kesme dayanımındaki değişimi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel araştırmada; kiriş kesme açıklığının etkili yüksekliğe oranı (a/d) 2.5 alınmış, dört kirişten biri bazalt lifsiz (referans) ve üçü farklı hacimsel bazalt lif oranı (%0,5; %1,0; %1,5) içeren kirişlerdir. Kirişlere yük açıklık ortasında ve yerdeğiştirme kontrollü uygulanmıştır. Çalışma sonucunda deney numunelerinin maksimum yüke erişmesi sonrası ani kesme kırılması ile kirişlerin güç tükenmesine ulaştığı görülmüştür. Hacimsel bazalt lif oranının beton basınç dayanımı üzerinde olumsuz etki oluşturduğu, fakat kiriş kesme dayanımına ve kirişin daha sünek davranış sergilemesine neden olduğu görülmüştür.

Özgen [11] yaptığı çalışmada; farklı hacimsel oranlarda hazırlanan bazalt lif katkısının, etriyesiz betonarme kirişlerde eğilme dayanımına olan etkisini araştırmıştır. Kirişlerdeki temel parametreler; kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı 3,5; 4,5 ve 6,0; hacimsel bazalt lif oranı %0, %0,5; %1,0 ve %1,5'tur. Bu amaçla, orta noktalarından tekil yük etkisinde yer değiştirme kontrollü test edilen kirişlerin eğilme dayanımları incelenmiştir. Yapılan test çalışmaları sonucunda bazalt lif oranı arttıkça kirişlerin eğilme dayanımı azalmakta, maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirme artmakta ve kirişlerin göçme mekanizması kesmeden eğilmeye dönmektedir. Betona hacimsel bazalt lif oranı %0,5 ve üzerinde katılması durumunda, betonun basınç dayanımı azaldığı görülmüştür. Kiriş eğilme ve kesme kapasitesinde artış elde etmek amacıyla kirişe bazalt lif ilavesinin,

beton basınç dayanımında kayba neden olduğundan betona bazalt lif katılmasının dayanıma önemli bir katkısı olmadığı ifade edilmiştir.

Tokgöz ve Dündar [12], yapılan çalışmada betonarme kirişlerin eğilme etkisinden ötürü çekme gerilmelerinin en çok olduğu kirişin alt yüzeyinde ve kesme gerilmelerinin olduğu L/4 mesafedeki kirişin yan yüzeylerinde karbon lifli polimerler (CFRP) tekstilleri ile sargılama yapılmıştır. Dokuz adet 150x250x2200 mm boyutlarında kiriş numunesi üretilmiştir. Bütün kiriş numunelerinde her kirişte 21 adet etriye 100 mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Deney kiriş numunelerinde boyuna donatı olarak 8 mm'lik nervürlü ve kesme donatısı olarak 6 mm'lik nervürlü çelik donatı kullanılmıştır. Deney numunelerinde CFRP tekstilleri kullanılarak güçlendirme yapılmıştır. CFRP tekstilleri dıştan epoksi ile yapıştırılmıştır. Kesme yönünde zayıf olarak dizayn edilen üçer adet kirişin kesme bölgelerine 90° ve 45° açı oluşturacak şekilde CFRP tekstilleri yapıştırılmıştır. Bu güçlendirme sayesinde deney kirişlerindeki kesme kapasitesinin %60 oranında arttığı gözlemlenmiş ve CFRP uygulamalarının 45° veya 90° olarak yerleştirilmesi arasında kayda değer bir fark olmadığı gözlenmiştir.

Kasapoğlu [13], beton traverslerde çelik lif katkılı beton kullanarak, traverslerin enerji yutma kapasitesini, dayanımını ve dayanıklılığını arttırmayı hedefleyen deneysel bir çalışma yapmıştır. Katkısız ve çelik lif katkılı C40 sınıfı beton ile 2,40 m boyunda 24 adet beton traversler üretilmiştir. Numuneler uygun kür şartlarında bekletilmiştir. Numuneler iki noktadan statik eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Farklı oranlarda çelik lif eklenmiş betonlara silindirik basınç dayanımı testi yapılmıştır. Traverslerde kullanılan katkısız ve farklı oranlarda çelik lif katkılı betonların basınç dayanımları, elastisite modülleri, eğilme etkisinde taşıma güçleri ve enerji yutma kapasiteleri belirlenmiştir. Ard-germeli betonarme kiriş olarak değerlendirilen traversinler; beton mukavemeti, donatı özellikleri ve boyutları parametreleri ile taşıyabileceği maksimum eğilme momenti teorik olarak hesaplanmıştır ve deney sonucunda çıkan değerlerle karşılaştırılmıştır. Tüm deney numuneleri eğilmede çekme kırılmasından ötürü göçmüştür. Çelik lif katkısız betondan üretilen referans numunenin taşıdığı deneysel yük hesap yükünün 1,34 katı çıkmışken, 40 kg/m³ dozajlı çelik lifli numune için deneysel yük hesap yükünün 1,6 katı çıkmıştır. Deney sonuçlarında, 40 kg/m³ dozajlı çelik lifli betondan üretilen travers tokluğunun referans numuneye göre %25 oranında arttığı gözlenmiştir. Sonuç olarak uygun oranlarda çelik lif ilave edilmiş beton traverslerin mukavemeti daha yüksek ve sünek olacağı, çatlak oluşumu azalacağı

için daha dayanıklı ve daha uzun ömürlü olacağı, böylece çelik lif katkısının ekonomi, dayanım ve güvenlik açısından avantajlı olacağı kanaatine varılmıştır.

Taşkan, Gündüz ve Şahin [14], çelik tel donatılı betonlarda kanca ucu tipinin betonun mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında 13 adet 150x150 mm kesitinde 550 mm boyunda beton numuneleri üretmişlerdir. Betonlara 15 kg/m³ ve 60 kg/m³ arasında değişen oranlarda farklı kanca ucu tipine sahip ve farklı çekme dayanımlarına sahip tellerin eklenmesi karışımlar oluşturulmuş ve karışımlardaki çelik tel miktarları arttıkça agreganın miktarları azaltılmıştır. Her karışımda çimentoyla su miktarları aynı tutularak beton dayanımının her numunede aynı olması sağlanmıştır. Numunelere dört noktalı eğilmede çekme dayanımı testine tabi tutulmuşlardır. Deney sonucunda betona çelik tel eklenmesiyle yarmada çekme dayanımlarında %30,6 ve eğilme dayanımlarında %71,9 oranlarında artış gözlenmiştir. Çelik tellerin kanca ucu tipi ve miktarının betonların basınç dayanımları ve elastisite modülleri üzerinde kayda değer bir etkisi görülmemiştir. Çelik tel kanca ucu tipinin taze betonun özelliklerinde belirgin bir etkisi görülmemiştir ancak; tel miktarının artırılmasıyla betonun işlenebilirlik özelliği olumsuz etkilemiştir.

İnce [15] yaptığı çalışmada ultra yüksek performanslı lifli beton ile üretilmiş etriyesiz kirişlerin davranışında kesme açıklığının etkisini deneysel olarak incelemiştir. Çalışma kapsamında 2500 mm boyunda gövde kalınlığı 5 cm olan I en kesitli etriyesiz 8 kiriş üretilmiştir. Deney kirişlerinde iki farklı lif tipi, dört farklı donatı oranı ve iki farklı a/d değeri kullanılmıştır. Deney kirişleri 150 MPa dayanıma sahip ultra yüksek performanslı lifli beton ile üretilmiştir. Deneysel çalışma A ve B grubu olmak üzere 2 bölümde incelenmiştir. A grubu kirişlerden %2 30 mm kancalı makro life sahip ve B grubu kirişlerden %2 13 mm mikro düz life sahip dört farklı donatı oranında kirişler üretilmiştir. Kirişler dört noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda A grubu kirişlerde a/d=4,45 olması durumunda tüm lifsiz etriyesiz kirişlerde kesme kırılması gözlenmiştir fakat; %2 oranında 13 mm mikro lif bulunan tüm enine donatısız kirişler eğilme dayanımından göçmüştür. Maksimum donatı oranından daha yüksek donatıya sahip ($\rho=2,2$) kirişlerde bile eğilme davranışı gözlenmiştir. %2 oranında 30 mm kancalı lif bulunan kirişlerde ise sadece $\rho=2,2$ donatı oranına sahip kiriş kesmeden ötürü göçmüştür. Buna dayanarak %2 oranında 13 mm mikro lif bulunan a/d oranı 4,45 olan kirişlerde etriye yerine ultra yüksek performanslı lif kullanılabilceğini göstermiştir. B grubu kirişler

incelendiğinde ise $a/d=3,12$ olması durumunda tüm lifsiz etriyesiz kirişlerde kesme kırılması gözlenmiştir. %2 oranında 13 mm mikro lif bulunan tüm enine donatısız kirişlerde ($2\phi 10$, $2\phi 12$, $2\phi 14$ ve $2\phi 16$) kırılma şekli eğilmedir. Yani TS500 de verilen maksimum donatı oranından daha yüksek donatıya sahip ($2\phi 16$ $\rho=2,2$) kirişlerde bile eğilme davranışı gözlenmiştir. %2 oranında 30 mm kancalı lif bulunan kirişlerde ise sadece $\rho=1,7$ ve $\rho=2,2$ donatı oranına sahip kirişte kırılma şekli kesme olmuştur. Bu da %2 oranında 13 mm mikro lif bulunan a/d oranı 3,12 olan kirişlerde enine donatı yerine kullanılabilceğini göstermiştir.

Daghash ve Özbulut [16] yaptıkları çalışmada bazalt fiber katkı ile güçlendirilmiş beton kirişlerin eğilme momenti artışındaki değişimi görüntü işleme sistemi kullanarak araştırmışlardır. Deney kirişleri olarak beş kiriş üretilmiştir. Bu kirişlerin hacimsel çelik lif oranları farklıdır. Bu kirişler ikinci aşamada farklı oranlarda bazalt lif ile güçlendirilmiştir. Sonra dört noktalı eğilme testine tabi tutulmuşlardır. Yükleme sırasında, deformasyon ölçerler ile çekme gerilmeleri ölçülmüştür. Çalışma neticesinde, bazalt lif katkılı kirişler referans kirişler ile kıyaslandığında, yükleme kapasitesinde artış gerçekleşmiştir. Ayrıca deney numuneleri daha fazla sehim yapmış ve daha sünek davranmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, etriye yerine aynı işlevleri görebilecek çelik tel uygulanmasının alternatif olup olamayacağı deneysel olarak incelenmektedir. Bu bölümde deneysel olarak dikkate alınan elemanların geometrik, mekanik özellikleri ile deneyde uygulanan yöntem açıklanmıştır.

3.1. Deneyde Kullanılan Elemanlar

Çalışmada üç adet deney kiriş numunesi üretilmiştir. Bu deney kiriş numunelerinin geometrik ve mekanik özellikleri aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

3.1.1. Deney kirişlerinin betonu

Deney numunelerinde TBDY 2018’de betonarme yapılarda kullanılacak asgari beton sınıfı olan C25/30 seçilmiştir. Kullanılan beton, hazır beton firmasından alınmış ve tüm deney elemanlarının beton özelliklerinin aynı olabilmesi için aynı mikserden bir seferde döküm gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada enine donatılar arası mesafe her numunede daha da azalmaktadır. TS500’e göre iki donatı arasındaki mesafe en az; iç veya dış kiriş olmasına göre asgari 20-25mm, en az donatı çapı ve agrega çapının 4/3’ü olarak sınırlandırılmaktadır. Numunelerde boşluk sorununun bir parametre olarak etkisinden arınmak için, beton üretilirken ince agrega tercih edilmiştir. Beton karışım oranları Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Beton karışım oranları

| Malzeme | Karışım oranları kg/m ³ |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| 4-11,2 mm Kırma Taş | 728 |
| 0-4 mm Kırma Kum | 1140 |
| Çimento | 300 |
| Kül | 70 |
| Su | 185 |
| Katkı Malzemesi (Akışkanlaştırıcı) | 4,44 |

Çizelge 3.1’de karışım özellikleri görülen betonun dayanımını kontrol etmek için, TS EN 206 standardına göre 15x15x15 cm boyutlarında üç adet küp beton numunesi alınmıştır. Beton numuneler ve betonarme kirişler, standartta öngörülen koşullarda 28 gün oluşturulan özel kür havuzunda bekletilmiştir. Beton basınç mukavemetlerinin belirlenmesi için, numuneler 28. gün sonunda beton test cihazına yerleştirilmiştir. Küp numuneler, beton test cihazında 0,67 MPa/sn ile tek eksen altında yüklenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Beton pres makinasında beton testi

Çizelge 3.2. Beton küp numunelerinin dayanım testi sonuçları

| NUMUNELER | BASINÇ DAYANIMLARI N/mm ² |
|-----------|---|
| 1 | 29,96 |
| 2 | 30,69 |
| 3 | 31,67 |
| Ortalama | 30,77 |

Küp beton numuneleri basınç dayanımı test sonuçları ortalaması 30,77 MPa çıkmıştır (Çizelge 3.2). Numunelerin test sonuçları TS EN 206-1’e göre ‘Deney sonucu, tek numunede bulunan veya aynı harmandan alınan iki veya daha fazla sayıda numunede, aynı yaşta bulunan sonuçların aritmetik ortalamasıdır. Aynı taze beton numunesinden hazırlanmış, iki veya daha fazla sayıda numuneden elde edilen deney sonuçlarının, en büyük ile en küçüğü arasındaki farkın ortalama sonuçtan sapmasının %15'den daha fazla

olması durumunda, inceleme sonucunda deney sonuçlarından herhangi birinin atılması için kabul edilebilir sebep görülmesi hariç, deney sonuçları reddedilir.' [17]. Beton numunelerinin test sonuçları TS EN 206-1'de sunulan beton sınıfı şartları açısından 3.1 ve 3.2 eşitliklerini karşılamıştır.

$$1. \text{ Kriter: } f_{ort} \text{ (MPa)} = 30,77 \geq f_{ck}+5 = 30 \text{ (MPa)} \quad \checkmark \quad (3.1)$$

$$2. \text{ Kriter: } 31,67 (f_{maks}) - 29,96 (f_{min}) = 1,71 \text{ (MPa)} \leq 0,15 * f_{ort} = 4,62 \text{ (MPa)} \quad \checkmark \quad (3.2)$$

Numunelerde planlanan beton sınıfı C25/30'un 3.1-3.2 ifadelerine göre küp numune açısından sağlandığı görülmüştür. Buna göre tasarlanan ve uygulanan beton sınıfları tutarlıdır.

3.1.2. Deney kirişlerinin donatıları

Bu çalışmada, etriye yerine aynı işlevleri görebilecek çelik tel uygulanmasının alternatif olup olamayacağı deneysel olarak inceleneninceğinden 3 adet deney kiriş numunesinin boyuna donatılarının tüm özellikleri aynı olacak şekilde üretimleri gerçekleştirilmiştir.

Boyuna donatılar: Numunelerde, S420A boyuna donatı sınıfı kullanılmıştır. Numune kirişlerin üstünde, montaj donatısı olarak Ø10 ve altta boyuna donatı Ø16 kullanılmıştır. Numune kirişlerin içine yerleştirilen bu donatılardan 3'er adet deney numunesi seçilmiş ve çekme testi uygulanmıştır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Ø10'luk ve Ø16'lık donatıların çekme testi sonuçları

| Donatı | | | Akma Dayanımı, f_{yk} | Çekme Dayanımı, f_{su} |
|----------|--------|--------|-------------------------|--------------------------|
| Çapı | Konumu | No.'su | MPa | MPa |
| Ø10 | Üstte | 1 | 472,3 | 582,2 |
| | Üstte | 2 | 479,2 | 584,3 |
| | Üstte | 3 | 462,1 | 566,9 |
| Ortalama | | | 471,2 | 577,8 |
| Ø16 | Altta | 1 | 448,6 | 596,7 |
| | Altta | 2 | 442,2 | 592,7 |
| | Altta | 3 | 446,4 | 598,1 |
| Ortalama | | | 445,7 | 595,8 |

Ø10'luk ve Ø16'lık donatıların çekme dayanımları ortalaması sırasıyla 471,2 MPa ve 445,7 MPa olarak elde edilmektedir (Çizelge 3.3.). Kullanılan boyuna donatılar TS 708'e göre S420 donatı kriterlerini karşılamaktadır (Çizelge 3.4.).

Çizelge 3.4. TS 708'e göre S420 donatı özelliklerine göre uygunluk

| Özellikler | S420 | Ø16 | Ø10 | Ø8 | Ø4 |
|--|------|-------|-------|-------|-------|
| Akma dayanımı (en az) R_e (N/mm ²) | 420 | 445,7 | 471,2 | 465,2 | 436,0 |
| Çekme dayanımı (en az) R_m (N/mm ²) | 500 | 595,8 | 577,8 | 571,3 | 549,8 |
| Çekme dayanımı/akma dayanımı oranı R_m/R_e | 1,15 | 1,33 | 1,23 | 1,23 | 1,26 |
| Deneysel akma dayanımı/karakteristik akma dayanımı oranı $R_e \text{ act}/R_e \text{ nom}$ (max) | 1,30 | 1,06 | 1,12 | 1,11 | 1,04 |
| Kopma uzaması (en az) (%) | 10 | 26,7 | 31,3 | 37,3 | 35,6 |

Enine donatılar: Enine donatı olarak her bir numunede ayrı olmak üzere üç farklı çapta donatı kullanılmıştır.

Çizelge 3.5. Ø8'lik donatının çekme testi sonuçları

| Donatı Çapı | Akma Dayanımı f_{yk} (MPa) | Çekme Dayanımı f_{su} (MPa) |
|-------------|------------------------------|-------------------------------|
| Ø8 | 474,0; | 578,9 |
| | 444,5 | 552,9 |
| | 477,1 | 582,1 |
| Ortalama | 465,2 | 571,3 |

Birinci deney numunesinde (DYNØ8) Ø8'lik S420 sınıfı nervürlü donatı kullanılmıştır. Dayanım kontrolü için 3 adet çekme testi yapılmıştır. Dayanım testi sonucu akma dayanımı ortalaması 465,2 MPa bulunmuştur (Çizelge 3.5.). Ø8'lik donatının test sonuçları TS 708'e göre S420 standartlarına uygundur (Çizelge 3.4.).

İkinci deney numunesinde (DYNØ6) enine donatı olarak Ø6'lık B500A nervürlü hasır donatı çubuğu kullanılmıştır. S420a sınıfında Ø6'lık demir piyasaya arz edilmediğinden bu şekilde bir seçimde bulunulmuştur. Dayanım kontrolü için 3 adet çekme testi yapılmıştır. Dayanım testi sonucu akma dayanımı ortalaması 577 MPa bulunmuştur (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Ø6'lık donatının çekme testi sonuçları

| Donatı Çapı | Akma Dayanımı f_{yk} (MPa) | Çekme Dayanımı f_{su} (MPa) |
|-------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Ø6 | 613,8 | 615,6 |
| | 605,3 | 605,3 |
| | 513,1 | 513,1 |
| Ortalama | 577,3 | 578 |

Çizelge 3.7. TS 708'e göre S420 çeliği ile B500A çeliğinin farkları

| Sınıf | S420 | B500A |
|---|------|-------|
| Akma dayanımı (en az) R_e (N/mm ²) | 420 | 500 |
| Çekme dayanımı (en az) R_m (N/mm ²) | 500 | 550 |
| En az çekme dayanımı/akma dayanımı oranı R_m / R_e | 1,15 | - |
| Deneysel akma dayanımı/karakteristik akma dayanımı oranı $R_{e act} / R_{e nom}$ (max) | 1,30 | - |
| Kopma uzaması (en az) (%) | 10 | 5 |
| Maksimum yükte toplam uzama (en az) (%) | - | 2,5 |

DYNØ6'da kullanılan Ø6'lık donatı çubuğu B500A standartlarını karşılamaktadır (Çizelge 3.7). Normal S420 sınıfı çeliğine göre bazı farklı özellikleri vardır. Akma mukavemeti minimum 500 MPa, çekme mukavemeti minimum 550 MPa'dır. Normal S420 çeliğinin kopma uzaması minimum %10 iken hasır donatısının kopma uzaması minimum %5'tir (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.8. Ø4'lük çelik telin çekme testi sonuçları

| Donatı Çapı | Akma Dayanımı f_{yk} (MPa) | Çekme Dayanımı f_{su} (MPa) |
|-------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Ø4 | 441,3 | 533,4 |
| | 429,5 | 554,3 |
| | 437,1 | 561,7 |
| Ortalama | 436,0 | 549,8 |

Üçüncü deney numunesinde (DYNØ4) etriye olarak Ø4'lük S420 sınıfı kısmi nervürlü çelik donatı kullanılmıştır (Şekil 3.2). Test sonuçlarında akma dayanımı ortalaması 436,0 MPa bulunmuştur (Çizelge 3.8). Ø4'lük donatının test sonuçları TS 708'e göre S420 standartlarına uygundur (Çizelge 3.4).



Şekil 3.2. Deneyde kullanılan çelik tel

3.1.3. Deney kirişlerinin kalıpları

200x320mm enkesitinde ve 1800 mm uzunluğunda kiriş numunelerin boyutlarına göre dikdörtgen kesitli kiriş kalıpları hazırlanmıştır. Kiriş deney numunelerinin boyutlarının

istenilen boyutlarda üretilebilmesi için kalıp tahtalarının düz olmasına dikkat edilmiştir. Kiriş yüzeylerinin pürüzsüz çıkabilmesi için plywood malzeme ile kalıp hazırlanmıştır. Plywood, kiriş numunelerinin kalıptan kolay ayrılmasını ve betonun kalıp yüzeyine yapışmamasını sağlamıştır. Donatılar kalıba yerleştirildikten sonra, betonun kalıba yapacağı basıncın kalıbın şeklini bozmasını önlemek için kalıbın üstüne destek parça eklenmiştir (Şekil 3.3).



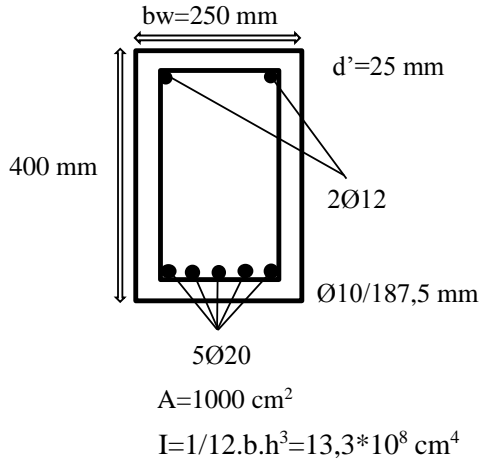
Şekil 3.3. Deney kalıbı

Şahit deney kiriş numunesi olarak $\text{Ø}8$ çaplı etriye donatısı yerleştirilmiştir. Diğer iki deney numunesinde, $\text{Ø}4$ ve $\text{Ø}6$ çaplı çelik donatı kullanılmıştır. Tüm betonarme numunelerde uygulanan enine donatı miktarının, hacimsel olarak aynı tutulmasına özen gösterilmiştir. Böylece, enine donatı çapının azalmasına bağlı olarak enine donatı aralıkları da azalmıştır. Enine donatı çapı azaldıkça da, birim mesafede şahit deney kiriş numunesine göre etriye sayısı artmıştır. Bu şekilde üretilen 3 adet deney kiriş numunesi üzerinde dört noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuş ve enine donatı olarak çelik tel uygulanması alternatifinin, süneklik ve yük taşıma kapasitesine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, çelik tel uygulanmasının işçilik ve üretim bakımından getirdiği avantaj ve dezavantajlar sıralanmıştır.

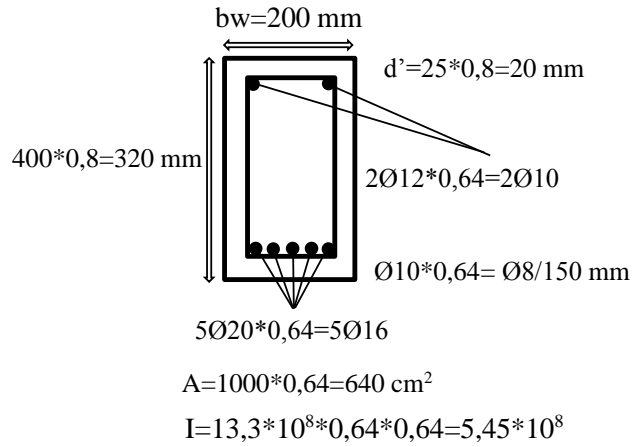
3.2. Deney Kirişlerinin Geometrik Özellikleri

Çalışma kapsamında 1800 mm uzunlukta 200x320 mm kesitinde 3 adet betonarme kiriş numunesi üretilmiştir. Kiriş kesit boyutları 250x400 mm kesitindeki kirişin her kenarının 4/5 oranında küçültülmesiyle oluşturulmuştur. Dolayısıyla alan 0,64 ve atalet momenti 0,4096 oranında küçülmüştür (Şekil 3.4).

250x400 mm'lik kiriş



200x320 mm'lik deney kirişleri



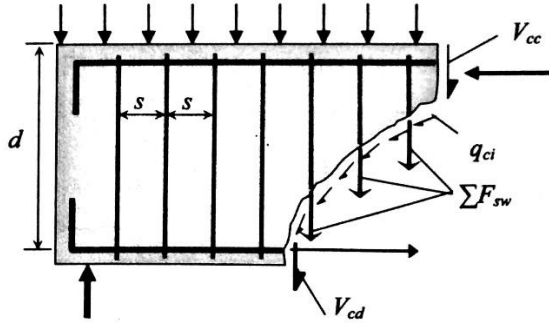
Şekil 3.4. Deney kirişlerinin ölçeklendirilmesi

Deney kirişlerinin kesme dayanımından geçmesi istenildiğinden ötürü, kirişler eğilme dayanımının kesme dayanımından yüksek olacağı şekilde hesaplar yapıp dizayn edilmiştir. Bu yüzden kirişlerde basınç donatısı (üst donatı) olarak 2Ø10; çekme donatısı (alt donatı) olarak 5Ø16 kullanılmış ve a/d oranının 3 ile 1,5 arasında olması istenmiştir ve a/d oranı 1,92 olarak belirlenmiştir. İki donatı arası net uzaklıkların donatının çapından, en büyük agrega boyutunun 4/3'ünden ve 20 mm'den az olmama koşulunu sağlayabilmesi için her donatı arasında 20 mm boşluk bırakılmıştır. Pas payının 20 mm'den az olmamasına özen gösterilmiştir.

3.3. Deney Kirişlerinin Analitik Özellikleri

Kesme dayanımı hesabı:

Betonarme kirişlerde kesme kuvveti etkisini V_{cc} , V_{cd} , V_{ci} ve ΣF_{sw} kuvvetleri karşılamaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Kirişte kesme kuvvetinin etkisinin karşılanması (Doğangün, 2008)

$$V_r = V_{cc} + V_{cd} + V_{ci} + \Sigma F_{sw} \quad (3.3)$$

Eş. 3.3'te görüldüğü gibi betonarme kirişin kesme kapasitesi (V_r); çatlamaş betondaki kesme dayanımının (V_{cc}), çekme donatısınca taşınan kesme dayanımının (V_{cd}), çatlak yüzeyindeki sürtünme nedeniyle oluşan kesme dayanımının (V_{ci}) ve eğik çatlakın kestiği etriyelerdeki çekme kuvvetlerinin (ΣF_{sw}) toplamına eşittir (Eş. 3.4).

$$V_{cr} = V_{cc} + V_{cd} + V_{ci} \approx 0,65 f_{ctk} * b_w * d \quad (3.4)$$

3.4 ifadesi beton kesitinin etriyesiz kesme dayanımının (V_{cr}) yaklaşık hesabını vermektedir.

$$V_{sw} = \Sigma F_{sw} = \Sigma A_{sw} * \sigma_{sw} = A_{sw} * f_{yw} * d/s \quad (3.5)$$

3.5 ifadesinde etriye donatısının kirişin kesme dayanımına sağlayacağı kuvvet değeri hesaplanmaktadır.

$$V_{cr} = 0,65 * 1,15 * 200 * 300 = 44,85 \text{ kN} \quad (3.6)$$

3.6 ifadesinde görüleceği üzere, beton kesitinin etriye etkisi dışındaki kesme dayanımı 44,85 kN olarak hesaplanmıştır.

$$V_{sw} = 100,5 * 365 * 2 = 73,4 \text{ kN} \quad (3.7)$$

Etriyelerin beton kesitine katacağı kesme dayanımı 3.7 eşitliğinde görüleceği üzere 73,4 kN olarak hesaplanmıştır.

$$V_r = 44,85 + 73,4 = 118,3 \text{ kN} \quad (3.8)$$

3.8 eşitliğinde beton kesitinin ve etriyelerin kesme dayanımının toplanması ile kirişin güvenli bir şekilde karşılayabileceği kesme dayanımı bulunmuştur.

$$P = 2*V=236,6 \text{ kN} \quad (3.9)$$

Şekil 3.5'te görüleceği üzere kesme grafiğinden yola çıkılarak kirişin kesme dayanımına erişeceği yük miktarı, kirişin kesme dayanımının iki katına eşittir. Kiriş 236,6 kN yüke kadar kesme dayanımını güvenli bir şekilde karşılayabileceği görülmektedir.

Taşıma gücü momenti hesabı:

Hesap yapılırken sonuca ulaşabilmek için bazı kabullerde bulunup sonuçlara göre uygulanan kabullerin doğruluğu kontrol edilir. Kontroller sonucu kabuller doğru çıkmazsa kabuller değiştirilip tekrar yeni kabullere göre işlem yapılır. İlk kabulümüz basınç ve çekme donatısının akmış olduğudur. Yani moment hesabı yapılırken çekme ve basınç donatılarının 365 MPa dayanımında olduğu varsayılıp sonuçlara göre kontroller yapılacaktır.

$$\sum F_x = 0 \quad F_c + F_2 - F_1 = 0 \quad (3.10)$$

3.10 eşitliğinde görüleceği üzere, kuvvet denge denkleminizden yola çıkarak beton kuvveti ve basınç donatısının kuvvetinin toplamını çekme donatısının kuvvetine eşitleriz. Böylece en dış beton lifi ile tarafsız eksen uzaklığını yani c'yi bulmuş oluruz.

$$0,85*f_{cd}*k_1*c*b_w + A_{s2}*\sigma_2 - A_{s1}*f_{yd} = 0 \quad (3.11)$$

$$0,85 \cdot 17 \cdot 0,85 \cdot c \cdot 200 + 157 \cdot 1.365 - 1005,3 \cdot 365 = 0$$

$$2456,5 \cdot c + 57341,5 - 366934,5 = 0$$

$$c = 126 \text{ mm}$$

Eş 3.11'in sonucuna göre c 'yi yani betonun en dış lifi ile tarafsız eksen uzaklığı 126 mm bulunmuştur. C bulunduğuna göre yapılan kabulün doğruluğunu 3.12 ve 3.13 eşitliğine göre kontrol edebiliriz.

$$\epsilon_{s2} = 0,003 \cdot (1 - 20/126) = 0,002524 \geq 0,001825 \quad \checkmark \quad (3.12)$$

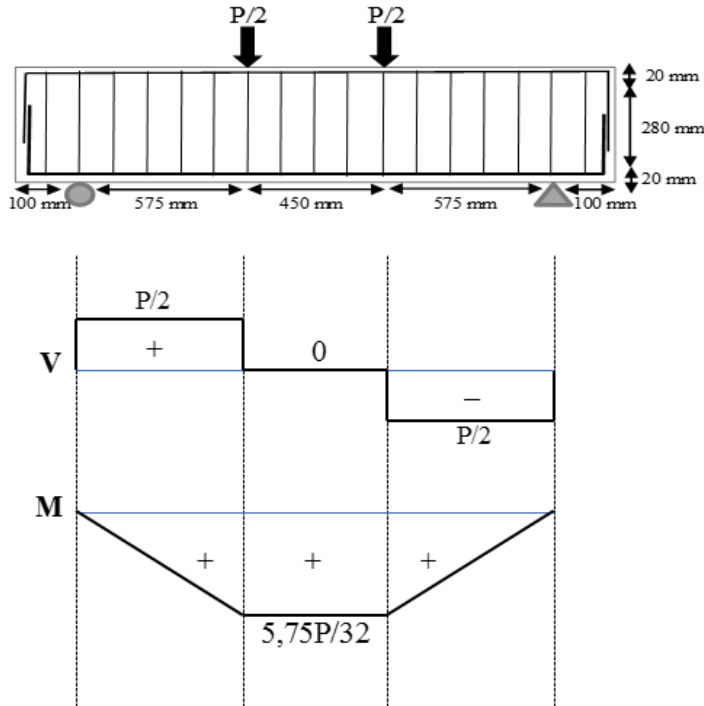
$$\epsilon_{s1} = 0,003/126 \cdot (300 - 126) = 0,004143 \geq 0,001825 \quad \checkmark \quad (3.13)$$

Eş 3.12 ve Eş 3.13'te yapılan hesaba göre basınç donatısı ve çekme donatısı akmıştır yani kabul doğrudur. Kabul doğru olduğuna göre deney kirişinin taşıma gücü momenti hesabı yapılabilir (Eş. 3.14).

$$M_r = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot k_1 \cdot c \cdot (d - k_1 \cdot c/2) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (d - d') \quad (3.14)$$

$$= 0,85 \cdot 17 \cdot 200 \cdot 0,85 \cdot 126 \cdot (300 - 0,85 \cdot 126/2) + 157,1 \cdot 365 \cdot (300 - 20)$$

$$M_r = 92,34 \text{ kNm}$$



Şekil 3.6. Deney kirişinin kesme ve moment grafiği

Deneyde kirişlerin kesme dayanımından göçmesi istendiği için deney kirişlerinin uzunluğu ve yükleme noktalarının mesafeleri Şekil 3.6'daki gibi ayarlanmıştır. Şekil 3.6'daki moment grafiğinde görüldüğü gibi maksimum moment noktası $5,75P/32$ 'ye eşittir.

$$5,75P/32 = 92,34 \text{ kN.m} \quad 321,2 \text{ kN} \quad (3.15)$$

$$P = 513,9 / 1,6 = 321,2 \text{ kN} > 236,6 \quad \checkmark \quad (3.16)$$

3.15 eşitliğinde yapılan hesaplarda deney kirişlerinin göçmesini sağlayacak P yükü minimum 321,2 kN olmalıdır. Fakat deney kirişlerinin kesme dayanımı 236,6 kN olduğu için yani eğilme momentinden daha küçük olduğu için deney kirişleri kesme dayanımından göçecektir (Eş. 3.16).

3.4. Kirişlerin Etriye Dizilimleri

DYNØ8'de minimum etriye koşulu baz alınarak $d/2$ aralıklarla yani 15 cm'de bir Ø8'lik etriye konulmuştur (Şekil 3.7). Toplamda 12 tane etriye konulmuştur ve konulan etriyelerin toplam ağırlığı 5,2 kg olarak belirlenmektedir.



Şekil 3.7. DYNØ8 etriye dizilimi

DYNØ6'da Ø6'lık etriye kullanılmıştır. DYNØ8 ile aynı oranda etriye konulabilmesi için Ø8'lik etriyenin kesit alanı ile Ø6'lık etriyenin kesit alanının oranları doğrultusunda etriye aralıkları belirlenmiştir ve etriye aralığı Eş. 3.16'nın sonucundaki gibi 8,4 cm olarak belirlenmektedir (Şekil 3.8).

$$\frac{6*6*\pi/4}{8*8*\pi/4} * 15 = 8,4cm \quad (3.16)$$

DYNØ6'da toplamda 20 adet etriye uygulanmıştır. Yerleştirilen etriyelerin toplam ağırlıkları 4,9 kg'dır.



Şekil 3.8. DYNØ6 etriye dizilimi

DYNØ4'te Ø4'lük etriye kullanılmıştır. DYNØ8 ile aynı oranda etriye olabilmesi için Ø8'lik etriyenin kesit alanının 4'te 1'i olan Ø4'lük etriye 15 cm'nin 4'te 1'i aralıkta yani 3,75 cm aralıklarla bağlanmıştır (Şekil 3.9). Toplamda 48 adet etriye bağlanmıştır ve etriyelerin toplam ağırlığı 5,2 kg'dır.



Şekil 3.9. DYNØ4 etriye dizilimi

Ø4'lük etriyelerin arasındaki mesafeyi kolayca ayarlayabilmek için Şekil 3.10'daki gibi bir tahta parçası testere ile 3,75 cm aralıklarla kesikler oluşturularak pratik bir aparat oluşturulmuştur. Böylelikle etriyeler kesiklerin içerisine girmesiyle rahatça mesafeler ayarlanmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. DYNØ4 etriye mesafesi ayarlama aparatı

Böylelikle Çizelge 3.9’da görüldüğü gibi deney kirişlerinin her birinde aynı oranda ve aynı miktarda donatı konulmuştur. Ancak Şekil 3.11’de görüldüğü gibi deney kirişleri etriyelerinin dizilimleri, toplam yüzey alanları ve çapları farklıdır.

Çizelge 3.9. Kiriş numunelerine uygulanan etriye miktarı

| Deney kiriş numunesi | Etriye çapı (mm) | Kesit alanı (mm ²) | Uygulanan etriye adeti | Toplam etriye kesit alanı (mm ²) |
|----------------------|------------------|--------------------------------|------------------------|--|
| DYNØ8 | 8 | 50,27 | 12 | 603,2 |
| DYNØ6 | 6 | 28,27 | 20 | 565,5 |
| DYNØ4 | 4 | 12,57 | 48 | 603,2 |



Şekil 3.11. Deney numunelerinin kalıba yerleştirilmesi

3.5. Beton Dökümü ve Kirişlerin Kürlenmesi

Numunelerde kullanılan beton, hazır beton santralinden elde edilmiş ve istenilen karışım oranlarına göre talep yapılmıştır. Beton mikser aracından el arabası ile alınıp kürek yardımıyla dikkatlice kalıp içine dökülmüştür. Beton yerleştirmesi şişleme ve tokmaklama yöntemleriyle yapılmıştır (Şekil 3.12). Şişleme işleminden sonra numunelerin yüzeyleri mala ile düzeltilmiştir.



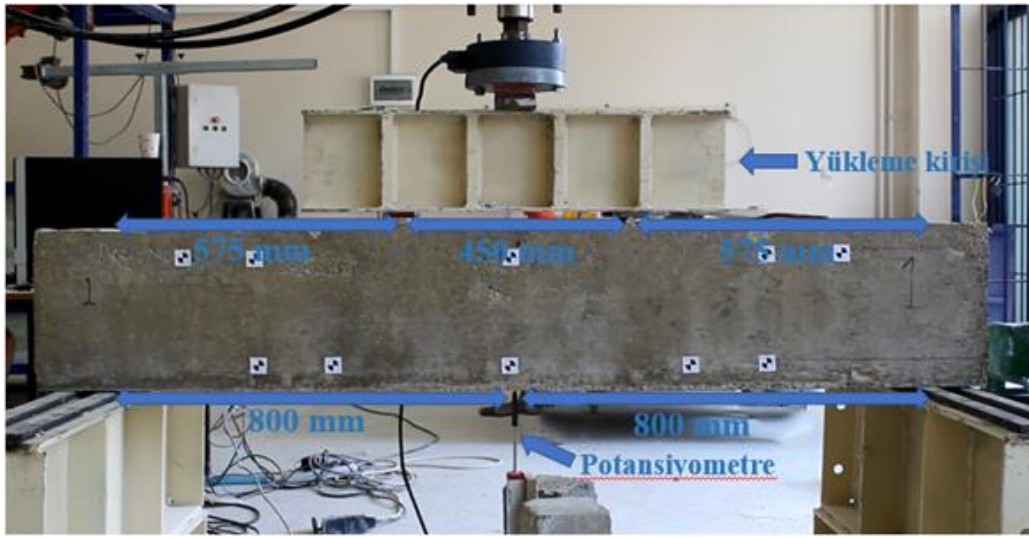
Şekil 3.12. Beton dökümü ve betonun şişlenmesi

Bu işlemlerden sonra betonun priz alması için 24 saat beklenmiştir. Hava çok sıcak olduğu için bu 24 saat içerisinde rötre ve çatlakları önlemek için beton her 6 saatte bir dikkatli bir şekilde ıslatılmıştır. 24 saatin sonunda kalıp sökülüp beton kür havuzuna konulmuştur.

3.6. Deneyin Uygulanması

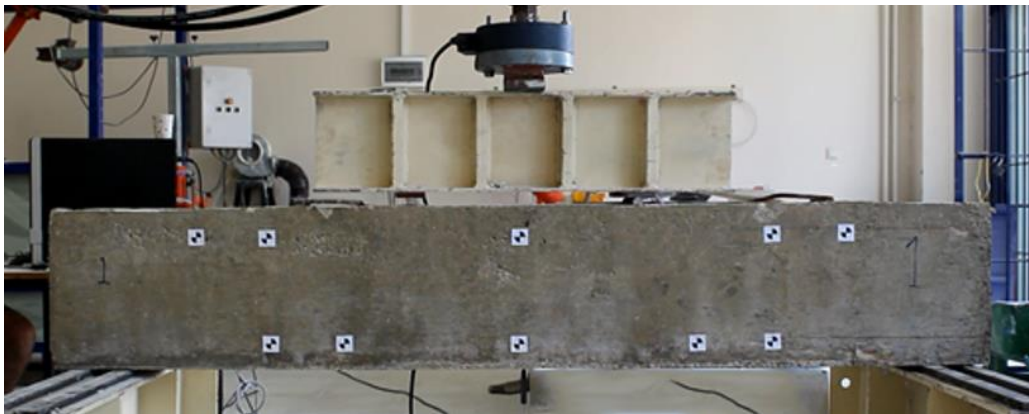
Kiriş numuneleri dört nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 3.13). Deneyde İskenderun Teknik Üniversitesi (İSTE) Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarındaki eğilme deney çerçevesi kullanılmıştır. Eğilme çerçevesi ekipmanları ile kirişlerin kırılma yükleri ve oluşan sehim miktarları ölçülmüştür. Yükleme çerçevesindeki iki mesnet arası açıklık 1600 mm olarak ayarlanmıştır. Deney esnasında kirişlerin üstüne 450 mm aralıkla iki basit mesnete sahip I profil kiriş yerleştirilmiştir. Hidrolik silindir pompasından profil kirişe aktarılan P tekil yük böylelikle P/2 olarak iki eşit tekil yük olarak deney kirişlerine aktarılmıştır. Yükleme sıfırdan başlamış ve kirişler tamamen

göçene kadar yükleme devam etmiştir. Göçme oluştuktan sonra yük boşaltılmıştır. Yük değişiminin okunabilmesi için elektronik yük hücresi (Load cell) kullanılmıştır. Yükleme esnasında kirişte oluşacak deplasmanı ölçmek için kiriş numunelerinin alt açıklığının tam orta noktasına bir adet 0.01 mm hassasiyetli olan elektronik deplasman ölçer cetveli (Doğrusal potansiyometre) yerleştirilmiştir. Yükleme sistemine bağlı olarak veri toplama sistemiyle, veriler kanallardan her saniye kaydedilip veri toplama sistemine bağlı olarak bilgisayar ortamında depolanmıştır ve kayıt süresince veri toplama sistemi dijital ekrandan izlenmiştir.



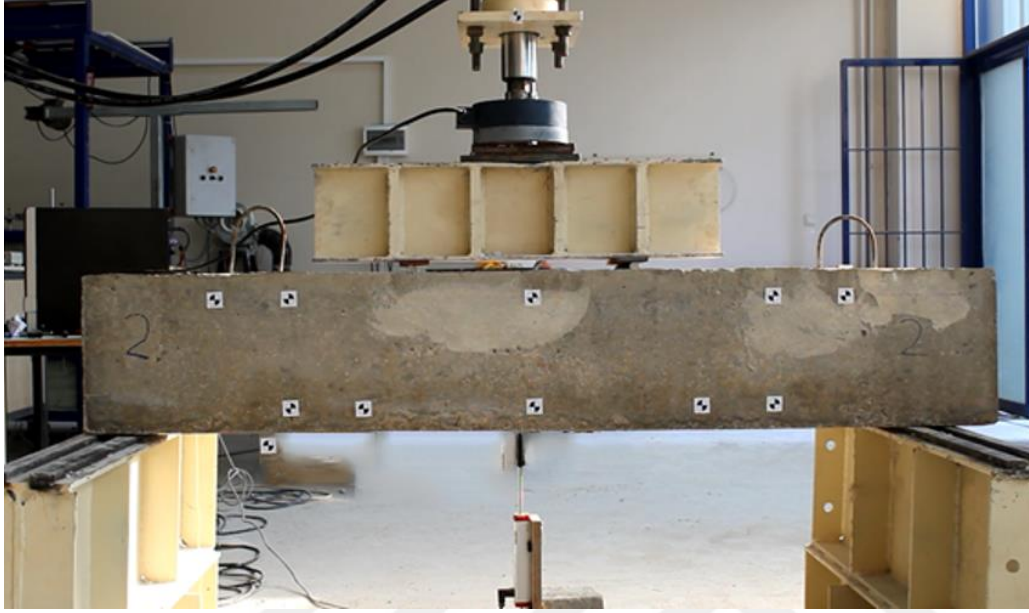
Şekil 3.13. Deney düzeneği

DYNØ8 kirişi TS 500 standardına uygun olarak tasarlanmış ve minimum etriye kullanım şartlarına uygun olarak her $d/2$ 'de yani 15 cm'de bir Ø8 kesitli etriye kullanılmıştır. Kirişi yük uygulama öncesi mesnet koşulları ve yükleme görünümü Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



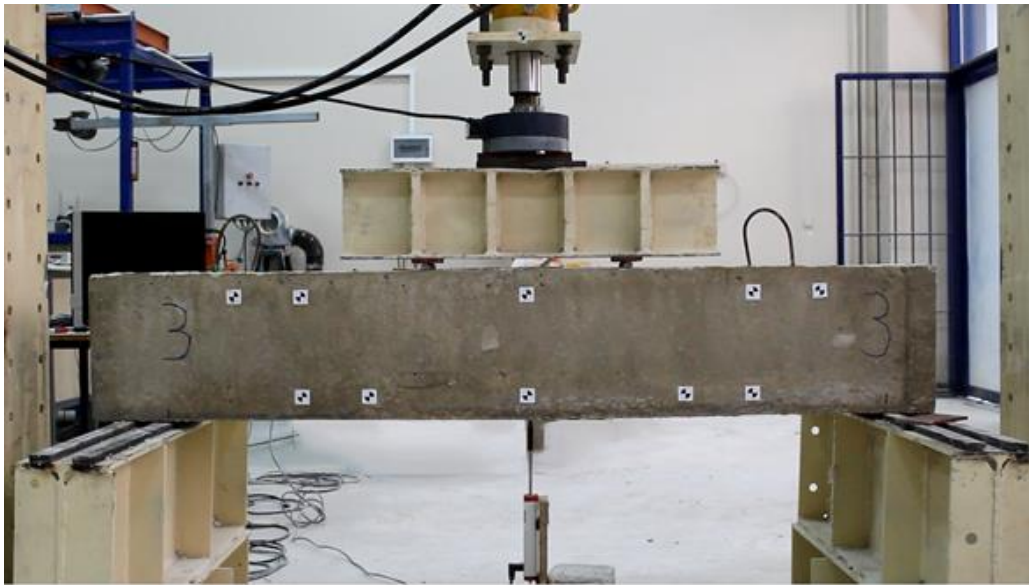
Şekil 3.14. DYNØ8'e yük uygulanması

DYNØ8 ve DYNØ6’da aynı oranda etriye kullanılmıştır. Etriyeler 8,4 cm aralıklarla konulmuştur. DYNØ6 kirişinin yük uygulama öncesi mesnet koşulları ve yükleme görünümü Şekil 3.15’te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. DYNØ6’ya yük uygulanması

Ø4 etriyeli kiriş numunesinde etriyeler 3,75 cm aralıklarla konulmuştur. Tüm kirişlerde aynı oranda etriye vardır. Kirişi yük uygulama öncesi mesnet koşulları ve yükleme görünümü Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. DYNØ4’e yük uygulanması

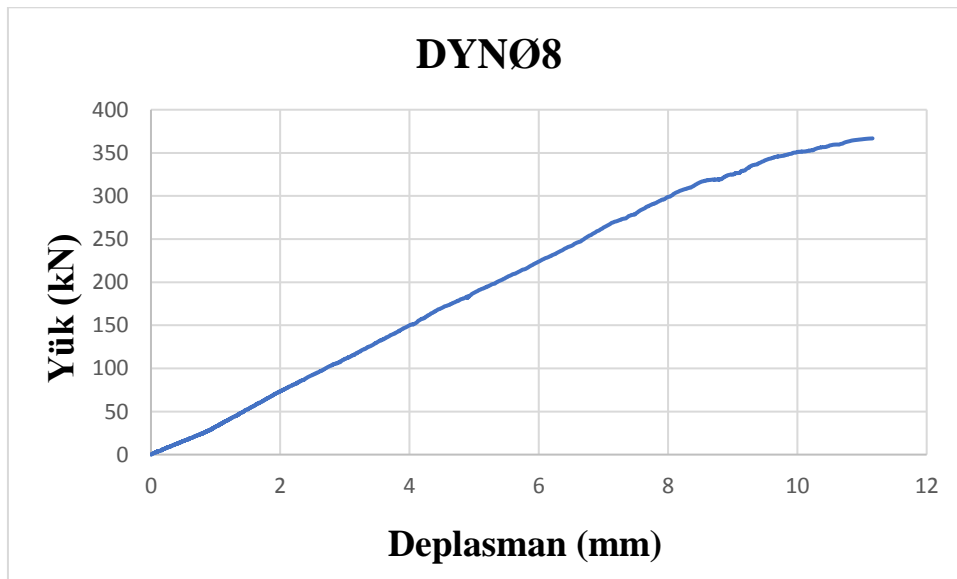
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. DYNØ8 Kirişinin Deney Sonuçları

DYNØ8 kirişi tahmin edilen yük değerleri arasında göçmüştür. Şekil 4.1’de görüldüğü ve planlandığı gibi kesme dayanımından göçtüğü anlaşılmaktadır. Göçme sonucu bir etriyenin koptuğu da gözlemlenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. DYNØ8’in göçmüş hali



Şekil 4.2. DYNØ8 Yük – Deplasman grafiği

Deney sırasında veriler bilgisayar ortamında toplanmıştır. Yük-deplasman grafiğine göre DYNØ8 numunesinin göçme yükü 366,75 kN ve göçtüğü anda en büyük deplasman 11,16 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 4.2).

Ø8/150 etriyeli kiriş numunesinin donatı çekme testi ve beton basınç dayanım testi sonuçlarına göre kesme dayanımı hesabı tekrar yapılmıştır. Formülde f_{yw} değeri Ø8'lik etriyelerin çekme testi sonucundaki akma dayanımı ortalaması yani 465,2 MPa olarak yazılmıştır (Eş. 4.3). f_{ctk} değeri ise beton basınç dayanım testi sonucundaki ortalama değer TS 500 de verilen Eş. 4.1'de yerine konulması ile 1,94 Mpa bulunmuştur.

$$f_{ctk} = 0,35 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,35 \cdot \sqrt{30,77} = 1,94 \quad (4.1)$$

$$V_{cr} = 0,65 f_{ctk} \cdot b_w \cdot d = 0,65 \cdot 1,94 \cdot 200 \cdot 300 = 75,66 \text{ kN} \quad (4.2)$$

Beton kesitinin kesme dayanımı hesaplanırken betonun test sonucundaki karakteristik dayanımı kullanılarak 1,15 MPa yerine 4.1 eşitliğinden elde edilen 1,94 MPa yazılarak hesap yapılmıştır (Eş. 4.2).

$$V_{sw} = A_{sw} \cdot f_{yw} \cdot d/s = 100,5 \cdot 465,2 \cdot 2 = 93,55 \text{ kN} \quad (4.3)$$

Eş. 4.3'te etriye donatısının kesme dayanımına kattığı kuvvet hesaplanırken Ø8 donatısının çekme testi sonucu ortalaması yazılmıştır.

$$V_r = V_{cr} + V_{sw} = 75,66 + 93,55 = 169,21 \text{ kN} \quad (4.4)$$

$$P = 338,42 \text{ kN} \quad (4.5)$$

Hesap sonucu kiriş numunesinin göçmesi için gereken yük 338,42 kN olarak elde edilmiştir (Eş. 4.5). Ancak yapılan deneyde numune 366,75 kN'de göçmeye ulaşmıştır. Gerçek yük hesap yükünden %8 fazla çıkmıştır.

4.2. DYNØ6 Kirişinin Deney Sonuçları

DYNØ6 kirişi tahmin edilen yük değerleri arasında göçmüştür. DYNØ6 kirişi görüldüğü ve planlandığı gibi kesme dayanımından göçtüğü anlaşılmaktadır (Şekil 4.3, Şekil 4.4). Göçme sonucu iki adet etriyenin de koptuğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.4.).

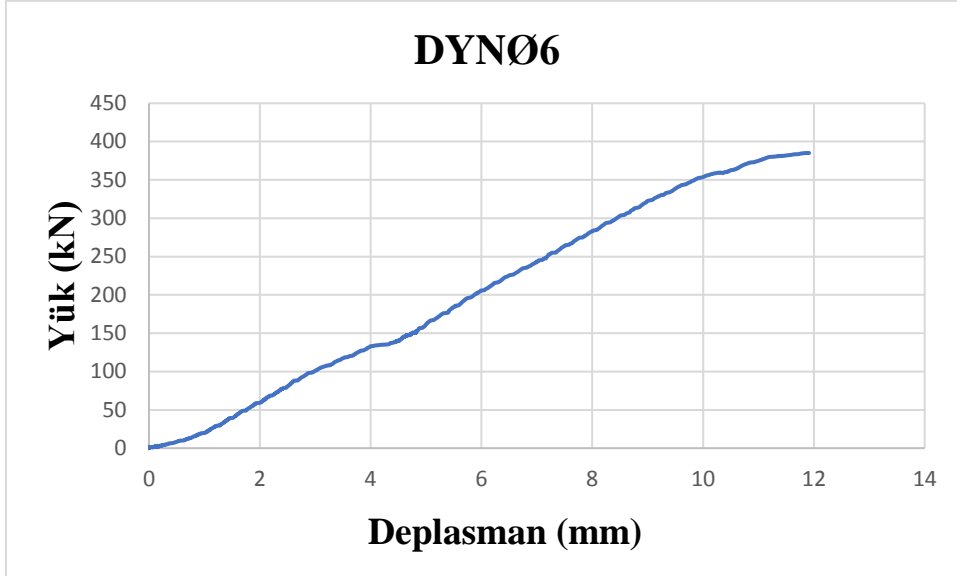


Şekil 4.3. DYNØ6'nın göçmüş hali



Şekil 4.4. DYNØ6 çatlak ayrıntıları

Deney sırasında veriler bilgisayar ortamında toplanmıştır. Yük-deplasman grafiğine göre DYNØ6 numunesinin göçme yükü 385,12 kN ve göçtüğü anda en büyük deplasman 11,91 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. DYNØ6 Yük – Deplasman grafiği

Hesapta kiriş numunesinin geçmesi gereken yük 383,12 kN 'dir fakat numune 385,12 kN'de geçmiştir. Gerçek yük hesap yükünden %1 oranında fazla çıkmıştır.

4.3. DYNØ4 Kirişinin Deney Sonuçları

DYNØ4 kirişi tahmin edilen yük değerleri arasında geçmiştir. DYNØ4 kirişi görüldüğü ve planlandığı gibi kesme dayanımından geçtiği anlaşılmaktadır (Şekil 4.6, Şekil 4.7). Geçme sonucu altı adet etriyenin de koptuğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.7.).

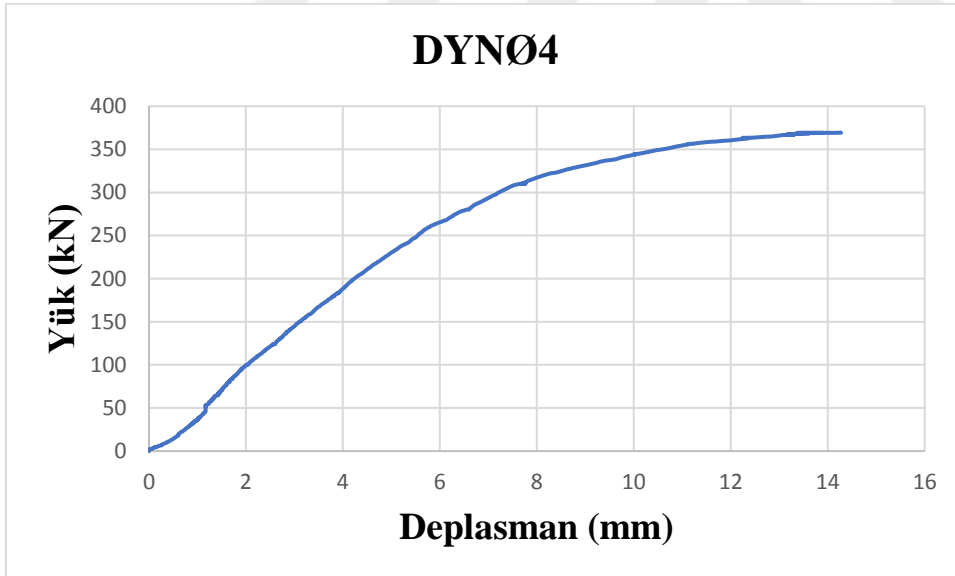


Şekil 4.6. DYNØ4'ün geçmiş hali



Şekil 4.7. DYNØ4 çatlak ayrıntıları

Deney sırasında veriler bilgisayar ortamında toplanmıştır. Yük-deplasman grafiğine göre DYNØ4 numunesinin göçme yükü 369,24 kN ve göçtüğü anda en büyük deplasman 14,28 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. DYNØ4 Yük – Deplasman grafiği

Hesapta kiriş numunesinin göçmesi gereken yük 326,62 kN 'dir fakat numune 369,24 kN'de göçmüştür. Gerçek yük hesap yükünden %13 oranında fazla çıkmıştır.

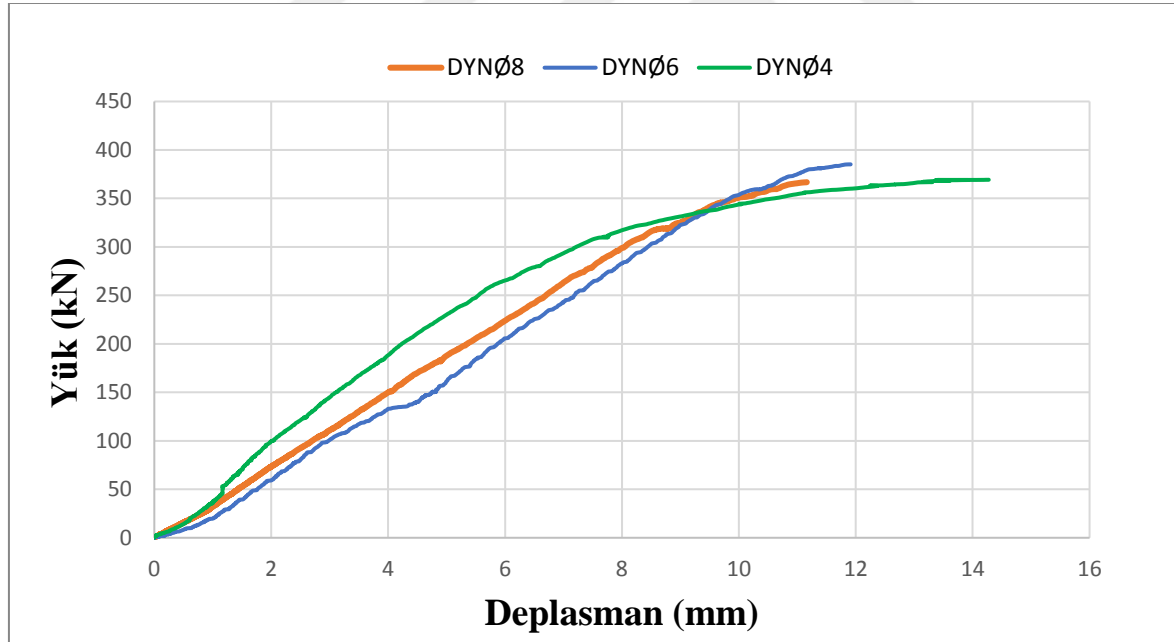
4.4. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

DYNØ4, DYNØ6 ve DYNØ8 numunelerinin hesap ve deney verilerine ait sonuçlar Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Deney kiriş numunelerinin karşılaştırılması

| DENEY K. | P (kN) | Deplasman (mm) | $f_{yw(ort)}$ MPa | V_{Deney}/V_{Hesap} | (Etriye adeti) x (Etriye çapı) (mm) |
|----------|-----------|-------------------|----------------------|-----------------------|--|
| DYNØ8 | 366,75 | 11,16 | 465,2 | 1,08 | 96 |
| DYNØ6 | 385,12 | 11,91 | 577,23 | 1,01 | 120 |
| DYNØ4 | 369,24 | 14,28 | 436,00 | 1,13 | 192 |

DYNØ4, DYNØ6 ve DYNØ8 numunelerinin yük-deplasman grafiklerine dair sonuçlar Şekil 4.9’da sunulmuştur.



Şekil 4.9. Deney kirişlerinin Yük – Deplasman grafiğinin karşılaştırılması

Bu çalışmada, enine donatı olarak kullanılan Ø8’e karşı Ø4 ve Ø6 donatı çaplarının alternatif olarak kullanılıp kullanılmayacakları ve etkinlikleri DYNØ4, DYNØ6 ve DYNØ8 isimli numunelerin deneyleri yapılarak incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- Enine donatılardan en fazladan en aza deplasman sıralaması DYNØ4 > DYNØ6 > DYNØ8 şeklinde elde edilmiştir (Şekil 4.9).
- Yük taşıma kapasitesi sıralaması DYNØ6 > DYNØ4 > DYNØ8 olmakla birlikte değerlerin oldukça yakın oldukları söylenebilir. Birim alandaki enine donatı miktarı üç numunede de oldukça yakın olmasından dolayı taşıyacağı yükünde yakın olması zaten beklenmektedir.
- Etriyelerin akma dayanımı sıralaması Ø6 > Ø8 > Ø4 tür (Çizelge 4.1).
- Kiriş yüzeyine etkiyen toplam etriye çapı (etriye sayısı * etriye çapı) DYNØ4 > DYNØ6 > DYNØ8 dir.
- Deney sonucunda elde edilen yükün hesap yüküne oranı Ø4 > Ø8 > Ø6 dır.
- Deney sonucu enine kopma sayısı bakımından Ø4 > Ø6 > Ø8 şeklinde bir sıralama olmuştur. Bu durum enine donatı çapı ve aralıkları azaldıkça süneklik ve kesme dayanımı artmaktadır.

5. BULGULAR

Bu çalışmada, enine donatı olarak kullanılan Ø8'e karşı Ø4 ve Ø6 donatı çaplarının alternatif olarak kullanılıp kullanılmayacakları ve etkinlikleri DYNØ4, DYNØ6 ve DYNØ8 isimli numunelerin deneyleri yapılarak incelenmiştir. Bu çalışma sırasında yapılan deneylerden enine donatı çap değişiminin avantaj ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır.

Çizelge 5.1. Deney sonuçları

| DENEY K. | P (kN) | Deplasman (mm) | Uygulanan etriye sayısı |
|----------|-----------|-------------------|----------------------------|
| DYNØ8 | 366,75 | 11,16 | 12 |
| DYNØ6 | 385,12 | 11,91 | 20 |
| DYNØ4 | 369,24 | 14,28 | 48 |

- ❖ Ø8'lik etriye yerine Ø4'lük çelik tel kullanımı sünekliği artırmıştır (Çizelge 5.1).
- ❖ Ø4'lük çelik tel kullanımı kesme dayanımını artırmıştır (Çizelge 5.1).
- ❖ Ø8 kesitli donatının çapı Ø4'lük çelik telden 4 mm fazla olduğu için, etriye olarak Ø4'lük çelik tel kullanıldığında kalıp ile etriye arasında 4 mm ekstradan pas payı bırakılmış sayılır ve çekirdek betonun daha iyi korunması sağlanabilir.
- ❖ Kirişte aynı oranda etriye olabilmesi için Ø8'lik etriyeye göre sayısal adet bakımından 4 kat fazla Ø4'lük çelik tel konulması gerekir. Bu kadar sayıda ilave enine donatının üretilmesi için ek işçiliğe ihtiyaç duyulmaktadır.
- ❖ Ø4'lük çelik tel kullanıldığında etriyeler arası mesafe küçük olacağından etriyeler arası mesafeyi ayarlamak zor olacaktır. Bu çalışmada deneye tabi tutulan numuneler için pratik bir yöntem kullanılmış tahta üzerine işaret konularak etriyelerin bu hizaya gelmesi sağlanmıştır (Bkz. Şekil 3.10).
- ❖ Enine donatı çapı azaldığından etriye şeklinde deformasyon ihtimali söz konusu olduğundan bu duruma dikkat edilmelidir.
- ❖ Kiriş güçlendirme uygulamalarında Ø8'lik etriyenin elle bükülmesindeki güçlük yerine Ø4'lük gibi daha küçük çaplı etriye kullanılabilir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Çelik telin pense ile bükümü

- ❖ Şantiyede beton döküm öncesi donatı-kalıp kontrolü esnasında kirişlerde eksik etriye farkedilmesi durumunda kalıbın sökülüp tezgahta baştan etriye bükmek yerine, kirişin üzerine diğer etriyetlerin kesit alanına denk gelecek sayıda küçük çaplı enine donatı kolaylıkla elle bükülüp koyulabilir. Böylelikle pratiklik sağlanmış olur.
- ❖ Bu çalışmada, iki donatı arası agregaların geçebilmesi için ince agreganın kullanılması gerekeceğinden, normal agreganın granülometri eğrisini değiştireceğinden nispeten çimento miktarında artış gerekecektir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kirişlerdeki etriye çapının küçültülerek daha küçük çaplı enine donatı kullanılabilirliği ile ilgili deneysel bir çalışma yapılmıştır. Betonarme yapılarda enine donatı olarak yaygın bir şekilde kullanılan Ø8'e karşı Ø4 ve Ø6 donatı çaplarının alternatif olarak kullanılıp kullanılmayacakları ve etkinlikleri DYNØ4, DYNØ6 ve DYNØ8 isimli numunelerin deneyleri yapılarak incelenmiştir. Çalışmada, birim mesafede hacimsel olarak aynı oranda enine donatı kullanılmıştır. Etriye çapı azaldıkça etriyeler arası mesafe de küçülmüştür. Bu şekilde elde edilen kirişlerin performansları kıyaslanmıştır.

- ✓ DYNØ4 kirişi DYNØ8 kirişine göre %28 daha sünek davranmıştır (Şekil 4.9). DYNØ6 kirişi ise DYNØ8 kirişinden %7 daha sünek davranmıştır (Şekil 4.9). Etriye oranı aynı olduğu müddetçe etriye çapı küçülüp etriye sayısı artınca deney kirişlerinin daha sünek davranış sergiledikleri gözlenmiştir (Bkz. Çizelge 5.1).
- ✓ En yüksek yükte göçen DYNØ6 kirişidir. Sebebi akma dayanımı en yüksek olan donatının Ø6 kesitli etriye olmasıdır. Fakat gerçek yükün hesap yüküne oranı DYNØ8 kirişinden düşük olmasının sebebi, Ø6'lık etriyenin akma dayanımının Ø8'lik etriyeden %24 fazla olduğu halde, kiriş yüzeyine temas eden toplam etriye çapının aynı oranda fazla olmamasıdır.
- ✓ DYNØ4 kirişinin V_{Deney} / V_{Hesap} oranının en iyi çıkmasının sebebi, kiriş yüzeyine temas eden toplam etriye çapının fazla olmasıyla birlikte daha homojen ve daha sık bir sargılama olmasıdır.
- ✓ Kiriş yüzeyine temas eden toplam etriye çapı arttıkça süneklilik artmaktadır.
- ✓ Ø4 donatısının akma dayanımı Ø6 donatısından %25 oranında daha düşük olmasına rağmen en iyi performansı DYNØ4 kirişi göstermiştir. Bu da sargılama etkisinin, akma dayanımı yüksek donatı kullanmaktan daha etkili olduğunu göstermektedir.
- ✓ Numunelerde oluşan çatlağı ne kadar fazla etriye karşılarsa kesme kırılmasına karşı o kadar iyi performans sağlandığı gözlenmiştir. En çok kopan etriye sayısı DYNØ4 kirişinde olmuştur.
- ✓ Ø3 ve Ø2 kesitli kesme donatısı ve fretli sargı uygulanıp daha da sünek bir kiriş elde etmek için çalışmalar yapılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

1. Ersoy, U. ve Özcebe, G. (2001). Betonarme: Temel İlkeler, TS500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap, Evrim Yayınevi, 2. basım, İstanbul, 459-517.
2. Sharaky, I. A., Mohamed, H. A., Tores, L. and Emara, M. (2020). Flexural Behavior Of Rubberized Concrete Beams Strengthened İn Shear Using Welded Wire Mesh, Composite Structures, Volume 247, 1 September 2020, 112485.
3. Demir, S. (2019). Çelik Tel Örgülerin Betonarme Kirişlerin Kesme Davranışına Etkisi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, no:7, 477-487.
4. Abu Maraq, M. A., Tayeh, B. A., Ziara, M. M. and Alyousef, R. (2020). Flexural Behavior Of RC Beams Strengthened With Steel Wire Mesh And Self-Compacting Concrete Jacketing - Experimental Investigation And Test Results, Journal of Materials Research and Technology, Volume 10, January–February 2021, Pages 1002-1019.
5. Pearlin, C. P., Kesavraman, S. and Velmurugan, M (2020). Experimental Investigation On Flexural Behaviour Of Flowable Rc Beam Using Welded Wire Mesh As Shear Reinforcement, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), Volume 11, Issue 6, June 2020, pp. 8-17.
6. Altın, S., Anıl, Ö. ve Gökten, Y. (2004). Betonarme Kirişlerin Kesmeye Karşı Güçlendirilmesinde Bir Kelepçe Uygulaması, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 49, No 4, 415-422.
7. Şavluk, M.E. (2019). Betonarme Kirişlerde Helezonik Biçimli Geogrid Etriye Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan.
8. Kadı, M.E. (2019). Cam Elyaf Takviyeli Polimer Etriye Donatılı Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerinin Kesme Davranışının İncelenmesi, Yüksek lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
9. Arıtürk, N. (2019). Kesme Donatısı Türleri Farklı Olan Betonarme Kirişlerin Davranışları, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, KTO Karatay Üniversitesi, Konya.
10. Mazharı, S.Z. (2018). Etriyesiz Bazalt Lifli Betonarme Kirişlerin Kesme Dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
11. Özgen, U. (2018). Etriyesiz Bazalt Lifli Betonarme Kirişlerin Eğilme Dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
12. Tokgöz, H. ve DüNDAR, B. (2014). Kesme Yönünden Yetersiz Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin CFRP İle Güçlendirilerek Kesme Kapasitelerinin Arttırılması, Journal of Advanced Technology Sciences, Vol 3 No 2 87-97.

13. Kasapoğlu, E. (2010). Çelik Tel Kullanımının Beton Traverslerin Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
14. Taşkan, E., Gündüz, Y., ve Şahin, Y. (2019). Kanca Ucu Tipinin Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 035601, (796-803).
15. İnce, M. (2019). Betonarme Uyplb'lu Etriyersiz Kirişlerin Davranışında Kesme Açıklığının Etkisinin Deneysel İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.
16. Daghash. S. M. ve Ozbulut. O. E., (2017). "Flexural Performance Evaluation of NSM Basalt FRP-Strengthened Concrete Beams Using Digital İmage Corelation System". Composite Structures. 176 :748-756.
17. TS500 (2000) "Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları" Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
18. TS EN 206-1 (2002). Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 30.
19. TS 708 (2010) Betonarme İçin Donatı Çeliği, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
20. TBDY (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
21. Bıkçe, M. (2010). Betonarme Çözümlü Örnekler (2. Baskı), Mustafa Kemal Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı, Hatay.
22. Doğangül, A. (2008). Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı (4. Baskı), Birsen Yayınevi, İstanbul, 472-502.
23. Özkal, F.M., (2017) "Kesme Açıklığı Küçük Olan Betonarme Kirişlerin Etriye Düzeni ve Kenetlenme Yönünden İncelenmesi", 20. Ulusal Mekanik Kongresi, Bursa, 551-561.
24. Celep, Z. Ve Kumbasar N., (1998) "Betonarme Yapılar" Sema Matbaacılık, 2. Baskı, İstanbul, 182-199.
25. Gündüz, A., (1980) "Betonarme, taşıma gücü ilkesine göre hesabı", Kazmaz Matbaası, İstanbul.

26. Doğan M., 2009. Betonarme Yapılardaki Deprem Hasarlarına Korozyonun Etkisi, Eskisehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt: 22, Sayı:1, 147–168
27. Hasan ÖZKAYNAK, Deprem Bölgelerindeki Betonarme Yapılarda Donatı Düzenleme İlkeleri, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2002
28. İpek M., Canbay M. Ve Yılmaz K., (2015) ‘‘Çelik ve Polipropilen Liflerin Yalın ve Kombinasyonlu Olarak Kullanılmasının Sifconun Mekanik ve Fiziksel Özelliklerie Etkisi ’’ SAU Fen Bilimleri Dergisi 19(1) : 41-52.
29. Mehmet Said SERTKAYA, Betonarme Ve Öngerilmeli Beton Kirişlerin Kesme Kapasitelerinin Tahminine Yönelik Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Ekim 2017
30. Erki, M.A. and S.H. Rizkalla, (1993) ‘‘FRP Reinforcement for Concrete Structures’’, Concrete International, 15(6), 48–53.
31. Günnur Yavuz, 2011. Lif Takviyeli Polimerlerin Betonarme Kirişlerde Donatı Olarak Kullanımı. New World Sciences Academy
32. Mohammed, A. ve Ali, H. 2016. Shear Strength And Behavior Of Circular Concrete Members Reinforced
33. Nagasaka, T., Fukuyama, H. ve Tanigaki, M. 1993. Shear Performance Of Concrete Beams Reinforced With FRP sitrups. 1993, Detroit, Michigan
34. Özşahin, B., Mülayim, A. ve Arkoç, O. 2015. the Use of Fiber Reinforced Polymers As the Reinforcement of Reinforced Concrete Structures
35. Sarıbiyık, M., Aydın, F. ve Sarıbiyık, A., 2018. Elyaf takviyeli kompozit çubukların betonda donatı olarak kullanımının araştırılması, PROJE NO: 0449.STZ.2013-2

DİZİN

A

Abstract · v
Araştırma · 2, 4, 20

B

Bölüm 2, 6, 20

C

Cam 3, 4

Ç

Çelik 3, 9, 11, 13, 14, 24, 25

D

Donatı 1, 3, 4, 5, 7, 10, 11, 13,
16, 19, 24, 25

G

Giriş · 1
Grafik · 14, 21, 24, 26, 27

H

Hacimsel · 2

L

literatür · 2

N

Numune · 6, 7, 11, 15, 16, 17, 18,
25, 26,

Ö

Özet · iv
Özgeçmiş · 42

S

Simgeler ve Kısaltmalar · xv
Sonuç ve öneriler · 28

Ş

şekil · 7, 10, 12, 14, 15,



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

