

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

**KONSOL KİRİŞLERDE DEMİR TOZU KATKI
MADDESİ YÜZDESİNİN SÜNEK VE GEVREK
KIRILMAYA OLAN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mertcan ÖZTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
**Tez Danışmanı : Dr. Öğretim Üyesi Muhammet
Zeki ÖZYURT**

Şubat 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KONSOL KİRİŞLERDE DEMİR TOZU KATKI
MADDESİ YÜZDESİNİN SÜNEK VE GEVREK
KIRILMAYA OLAN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mertcan ÖZTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 11/02/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Dr. Öğretim Üyesi
Muhammet Zeki
ÖZYURT
Jüri Başkanı**

**Dr. Öğretim Üyesi
Necati MERT
Üye**

**Dr. Öğretim Üyesi
Tahir AKGÜL
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mertcan ÖZTÜRK

25.01.2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Muhammet Zeki ÖZYURT' a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Emrah DOĞAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca 2020-7-24-23 proje numaralı çalışmamın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. İlgili Çalışmalar	1
BÖLÜM 2.	
GENEL TANIMLAMALAR	11
2.1. Kiriş	11
2.1.1. Yapılarda kiriş çeşitleri	11
2.1.1.1. Destek koşullarına göre.....	11
2.1.1.1.1. Basit kiriş	11
2.1.1.1.2. Sabit kiriş	12
2.1.1.1.3. Konsol kiriş	12
2.1.1.1.4. Sürekli kiriş	13
2.1.1.1.5. Yapı malzemelerine göre.....	13
2.1.1.1.5.1. Betonarme kirişler	13
2.1.1.1.5.2. Çelik kirişler.....	13
2.1.1.1.5.3. Ahşap kirişler	14
2.1.1.1.5.4. Kompozit kirişler.....	14

2.1.1.1.6. Kesit şekillerine göre.....	15
2.1.1.1.7. Geometrisine göre	16
2.1.1.1.8. Denge durumuna göre	16
2.1.1.2. Kirişlerin davranışları	17
 BÖLÜM 3.	
BASİT EĞİLME ALTINDA DİKDÖRTGEN KESİTLER	19
3.1. Dengeli Donatılı Kirişlerde Basit Eğilme	20
3.2. Denge Altı Donatılı Kirişlerde Basit Eğilme	24
3.3. Denge Üstü Donatılı Kirişlerde Basit Eğilme	27
3.4. Çift Donatılı Dikdörtgen Kesitlerde Basit Eğilme	28
3.5. Çift Donatılı Dikdörtgen Kesitlerin Hesap ve Tasarımı	28
3.6. Kirişlerde Kesme Kuvveti Etkisi.....	28
3.6.1. Kesme donatısız kirişler	29
3.6.2. Kesme donatılı kirişler	29
 BÖLÜM 4.	
DENEYSEL VERİLERİN ELDE EDİLMESİ	30
4.1. Deneyin Tanıtımı	30
4.2. Deney Düzeneği	30
4.3. Deney Malzemelerinin Hazırlanması ve Temini.....	32
4.3.1. Demir tozu katkılı beton.....	32
4.3.1.1. Çimento	32
4.3.1.2. Kum.....	33
4.3.1.3. Mıcır.....	33
4.3.1.4. Su	34
4.3.1.5. Demir tozu.....	34
4.3.1.6. Akışkanlaştırıcı	35
4.3.2. Donatının hazırlanması	36
4.3.2.1. Gerinim pulları	39
4.3.3. Kalıpların hazırlanması	39
4.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması	40
4.4.1. Gerinim pullarının donatılara bağlanması	40

4.4.2. Betonun hazırlanması	41
4.4.3. Donatıların kalıplara yerleştirilmesi.....	43
4.4.4. Betonun kalıplara dökülmesi	43
4.4.5. Betondan silindir numune alınması.....	44
4.4.6. Kirişlerin dayanımının sağlanması ve silindir numunelerin kürlenmesi	45
4.4.7. Silindir numunelerin kırığa hazır hale getirilmesi	45
 BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARININ ELDE EDİLMESİ.....	47
5.1. Kirişlerin İsimlendirilmesi	48
5.2. Slump (Çökme) Deneyi Sonuçları.....	50
5.3. Numunelik Donatıların Çekme Sonuçları.....	51
5.4. Silindir Numunelerinin Basıncı Deneyi Sonuçları	50
5.5. Kirişlerin Kırılması.....	52
5.5.1. Çatlak tespiti	55
5.5.2. Süneklik katsayısının elde edilmesi	58
5.5.3. Yük-Yer değiştirme grafiklerinin elde edilmesi	61
 BÖLÜM 6.	
DENEY SONUÇLARININ KIYASLANMASI	68
6.1. Süneklik Katsayısına Göre Kıyaslama	70
6.2. Maksimum Yüklere Göre Kıyaslama	71
6.3. Denge Altı ve Denge Üstü Duruma Göre Kıyaslama.....	72
6.4. Etriye Kanca Açısına Göre Kıyaslama	78
6.5. Demir Tozu Yüzdesine Göre Kıyaslama	83
 BÖLÜM 7.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	86
 KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ.....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ε_{cu}	: TS500-2000'de verilen sargısız beton etkili birim kısalması
ΔM	: Moment değişimi
ε_{su}	: Donatı çeliği kopma birim şekil değiştirmesi
μ	: Süneklik katsayısı
A_{sb}	: Dengeli donatı alanı
A_{sw}	: Etriye alanı
b	: Deney numunesinin genişliği, (mm)
b_w	: Kiriş genişliği
cm	: Santimetre
d	: Deney numunesinin kalınlığı, (mm)
EN	: Avrupa Standartları
E_s	: Elastisite modülü
E_s	: Elastisite modülü
F	: Kırılmaya neden olan yük, (N)
F_c	: Beton basınç kuvveti
f_{ck}	: Karakteristik beton basınç dayanımı
F_s	: Donatı çekme kuvveti
f_{yk}	: Karakteristik çelik akma dayanımı
f_{ys}	: Çeliğin akma dayanımı
gr	: Gram
kg	: Kilogram
L	: Deney numunesinin mesnetler arasındaki mesafesi, (mm)
M_b	: Dengeli donatıya karşılık gelen moment
mm	: Milimetre
P	: Yük
s	: Etriye aralığı

TS	: Türk Standartları
TS-500	: Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları
$u_{\max}$	: Maksimum ötelenme
u_y	: Akma anındaki ötelenme
u_y	: Akma anındaki ötelenme
δ	: Deplasman
δ	: Deplasman
Δ_u	: Maksimum yer değiştirme
Δ_y	: Akma anındaki yer değiştirme
ρ	: Çekme donatısı oranı
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
σ_c	: Kirişin eğilme dayanımı, (N/mm ²)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Basit kiriş modellenmesi	12
Şekil 2.2. Sabit kiriş modellemesi	12
Şekil 2.3. Konsol kiriş modellemesi	12
Şekil 2.4. Sürekli kiriş modellemesi	13
Şekil 2.5. Betonarme kiriş modellemesi	13
Şekil 2.6. Çelik kiriş modellemesi	14
Şekil 2.7. Ahşap kiriş modellemesi	14
Şekil 2.8. Kompozit kiriş modellemesi	15
Şekil 2.9. Dikdörtgen kesitli kiriş	15
Şekil 2.10. Çelik profilli kirişler	16
Şekil 2.11. Geometrisine göre kiriş örnekleri	16
Şekil 2.12. Denge durumuna göre kiriş örnekleri	17
Şekil 2.13. Düzgün yayılı yük altında kiriş	17
Şekil 3.1. Eğilme etkisinde eleman enkesiti ve boyutları	19
Şekil 3.2. Dengeli donatı durumu	20
Şekil 3.3. Dengeli donatılı kesitte birim şekil değiştirme	22
Şekil 3.4. Denge altı donatıya ait kesitte oluşan birim şekil değiştirme dağılımı	25
Şekil 3.5. Denge üstü donatılı kesitte oluşan birim şekil değiştirme dağılımı	27
Şekil 4.1. Tasarıma esas kiriş-düzenek modellenmesi	31
Şekil 4.2. Deney düzeneğine ait görseller	31
Şekil 4.3. Kullanılan çimento ile ilgili görseller	33
Şekil 4.4. Kullanılan kum ile ilgili görseller	33
Şekil 4.5. Kullanılan mıcır ile ilgili görseller	34
Şekil 4.6. Demir tozu toplanma makinesi ve demir tozu ile ilgili görseller	35

Şekil 4.7. Akışkanlaştırıcı ile ilgili görseller	36
Şekil 4.8. Donatı imalatı.....	37
Şekil 4.9. Kirişlerin eğilme durumları	38
Şekil 4.10. Denge altı duruma ait konsol kiriş donatı tasarımı	38
Şekil 4.11. Strain Gauge.....	39
Şekil 4.12. Oluşturulan kalıplar	40
Şekil 4.13. Gerinim pullarının ilgili donatılara yapıştırılması.....	41
Şekil 4.14. Demir tozunun hazırlanması	42
Şekil 4.15. Malzemeleri beton mikserine koyulması.....	42
Şekil 4.16. Beton mikserindeki betonun karıştırılma esnasındaki görüntüsü	43
Şekil 4.17. Donatıların kalıplara yerleştirilmesi ve paspaylarının konulması.....	43
Şekil 4.18. Betonun kalıplara yerleştirilme işlemi.....	44
Şekil 4.19. Slump deneyi	45
Şekil 4.20. Numunelerin sulanması ve kür havuzuna konulması.....	46
Şekil 4.21. Kükürt başlık işlemi	47
Şekil 5.1. Çökme deneyinin sonuçlarının alınması	50
Şekil 5.2. Numunelik donatıların çekme deneyi işlemi	50
Şekil 5.3. Basınç deneyi ile ilgili görseller.....	52
Şekil 5.4. Potansiyometre.....	53
Şekil 5.5. Kırılma işlemi başlamadan ve başladıktan sonraki durumlar	54
Şekil 5.6. Çatlak tespiti ile ilgili görseller	55
Şekil 5.7. Süneklilik grafiği.....	59
Şekil 5.8. A-10-a-1-w numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği.....	61
Şekil 5.9. A-10-b-1-w numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği.....	60
Şekil 5.10. B-10-a-1-w numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği	60
Şekil 5.11. B-10-b-1-w numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği.....	61
Şekil 5.12. A-10-a-2-y numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği.....	63
Şekil 5.13. A-10-b-2-y numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği	64
Şekil 5.14. B-10-a-2-y numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği.....	64
Şekil 5.15. B-10-b-2-y numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği.....	65
Şekil 5.16. A-10-a-2-x numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği.....	65
Şekil 5.17. A-10-b-2-x numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği	66

Şekil 5.18. B-10-a-2-x numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği.....	66
Şekil 5.19. B-10-b-2-x numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği.....	67
Şekil 5.20. A-10-a-2-z numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği.....	67
Şekil 5.21. A-10-b-2-z numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği.....	68
Şekil 5.22. B-10-a-2-z numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği	68
Şekil 5.23. B-10-b-2-z numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği.....	69
Şekil 6.1. A-10-a-1-w ve B-10-a-1-w numunelerinin karşılaştırma grafiği.....	73
Şekil 6.2. A-10-b-1-w ve B-10-b-1-w numunelerinin karşılaştırma grafiği	73
Şekil 6.3. A-10-a-2-x ve B-10-a-2-x numunelerinin karşılaştırma grafiği	73
Şekil 6.4. A-10-b-2-x ve B-10-b-2-x numunelerinin karşılaştırma grafiği.....	74
Şekil 6.5. A-10-a-2-y ve B-10-a-2-y numunelerinin karşılaştırma grafiği	74
Şekil 6.6. A-10-b-2-y ve B-10-b-2-y numunelerinin karşılaştırma grafiği.....	74
Şekil 6.7. A-10-a-2-z ve B-10-a-2-z numunelerinin karşılaştırma grafiği.....	75
Şekil 6.8. A-10-b-2-z ve B-10-b-2-z numunelerinin karşılaştırma grafiği	75
Şekil 6.9. A-10-a-1-w ve A-10-b-1-w numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri	78
Şekil 6.10. B-10-a-1-w ve B-10-b-1-w numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri	78
Şekil 6.11. A-10-a-2-x ve A-10-b-2-x numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri	79
Şekil 6.12. B-10-a-2-x ve B-10-b-2-x numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri	79
Şekil 6.13. A-10-a-2-y ve A-10-b-2-y numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri	80
Şekil 6.14. B-10-a-2-y ve B-10-b-2-y numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri	80
Şekil 6.15. A-10-a-2-z ve A-10-b-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri	80
Şekil 6.16. B-10-a-2-z ve B-10-b-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri	81
Şekil 6.17. A-10-a-1-w, A-10-a-2-x, A-10-a-2-y ve A-10-a-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri	83

Şekil 6.18. A-10-b-1-w, A-10-b-2-x, A-10-b-2-y ve A-10-b-2-z numunelerinin	
Yük-Yer Değiştirme grafikleri	84
Şekil 6.19. 10-a-1-w, B-10-a-2-x, B-10-a-2-y ve B-10-a-2-z numunelerinin	
Yük-Yer Değiştirme grafikleri	84
Şekil 6.20. B-10-b-1-w, B-10-b-2-x, B-10-b-2-y ve B-10-b-2-z numunelerinin	
Yük-Yer Değiştirme grafikleri	84



TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Dengeli donatı oranları.....	22
Tablo 3.2. Donatı cinsine göre hesaplanan değerler	23
Tablo 4.1. Kullanılan malzeme ve miktarları.....	32
Tablo 4.2. Kullanılan donatı ile ilgili bilgiler.....	37
Tablo 5.1. Denge altı donatılı kirişlerin isimlendirilmesi	49
Tablo 5.2. Denge üstü donatılı kirişlerin isimlendirilmesi.....	49
Tablo 5.3. Slump sonuçları	50
Tablo 5.4. Çekme deneyi sonuçları	51
Tablo 5.5. Basınç deneyi sonuçları.....	52
Tablo 5.6. Katkı maddesi olmayan kirişlerin kırılma yük değerleri.....	54
Tablo 5.7. %10 demir tozu katkılı kirişlerin kırılma yük değerleri	55
Tablo 5.8. %20 demir tozu katkılı kirişlerin kırılma yük değerleri	55
Tablo 5.9. %40 demir tozu katkılı kirişlerin kırılma yük değerleri	55
Tablo 5.10. Kiriş çatlak özellikleri	56
Tablo 5.11. Katkısız kirişlere ait süneklilik değerleri.....	59
Tablo 5.12. %10 katkılı kirişlere ait süneklilik değerleri.....	60
Tablo 5.13. %20 katkılı kirişlere ait süneklilik değerleri.....	60
Tablo 5.14. %40 katkılı kirişlere ait süneklilik değerleri.....	61
Tablo 6.1. Süneklilik tablosu.....	68
Tablo 6.2. Maksimum yük değerleri.....	71
Tablo 6.3. Denge altı ve denge üstü duruma göre yüzdesel artış değerleri	76
Tablo 6.4. Etriye kanca açısının süneklilik ve maksimum yük açısından yüzdesel artışları durumları	81
Tablo 6.5. Demir tozu katkısının süneklilik ve maksimum yük açısından yüzdesel artışları.....	85

ÖZET

Anahtar kelimeler: Demir tozu katkı yüzdesi, etriye kanca açısı, süneklilik, konsol kiriş, moment taşıma kapasitesi

Bu çalışmada, konsol olarak tasarlanmış betonarme bir kirişe demir tozu katkısı ve bu katkı yüzdesinin moment taşıma kapasitesine olan etkisi incelenmiştir. Konsol kiriş tasarımı ve uygulanması hakkında bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmış ve projelendirme yaparken bu bakış açısı ile konsol kiriş birçok deneye tabi tutulması hedeflenmiştir. Elde edilen çalışmalar sonrasında yönetmeliklerde konsol kirişlerin tasarımı ile ilgili olarak verilen bilgi düzeylerinin, konsol kiriş elemanları için yetersiz kalabileceği düşünülmüştür. Bu kapsamda konsol kirişlerin eğilme dayanımlarına demir tozu katkı maddesinin etkisi araştırılmıştır. Seçilen parametrelerin etkisi altında betonarme konsol kirişlerin yapısal davranışı deneysel olarak incelenmesi, sünek ve gevrek kırılma için gerekli sınır donatı oranının kırılmaya olan etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemde eğilme davranışı için değişik parametrelerle tasarlanan 32 adet betonarme konsol kirişin uç bölgesinde uygulanan tekil yük (P) etkisi altında, betonarme konsol kirişin davranış durumu test edilmek istenmiştir. Deney elemanlarının üretiminde malzeme, kesit, mesnet genişliği, paspayı ve etriye adım mesafesi sabit tutularak, etriye kanca açısı, sünek ve gevrek kırılma için gerekli sınır donatı oranı ve katkı yüzdesi değişken kabul edilerek üretilmiştir. Deney malzemelerinden kalıp, donatı ve beton imalatı şantiye ortamında yapılmıştır. Hazırlanan numunelere 28 gün boyunca kür işlemi uygulanmıştır. Konu ve kapsamın belirlenmesinde ayrıntılı olarak literatür çalışması yapılmıştır. Elde edilen teorik bilgiler ışığında literatür de konsol kiriş hakkındaki deneysel verilerin azlığı dikkat çekmiştir. Karar verilen konsol kiriş eğilme deneyi için en verimli sonuçları alabilmek adına deney düzeneğinin ankastre mesnet olarak çalışması amaçlanmıştır. Deneysel ve analitik sonuçlar elde edilerek kıyaslamaları yapılmıştır.

THE EFFECT OF THE PERCENTAGE OF IRON POWDER ADDITIVES ON DUCT AND CROSS BREAKS IN BRACKET BEAMS

SUMMARY

Keywords: Iron powder additive percentage, stirrup hook angle, ductility, cantilever beam, moment carrying capacity

In this study, iron powder contribution to a reinforced concrete beam designed as cantilever and the effect of this contribution percentage on the moment carrying capacity were investigated. It is aimed to develop a method about cantilever beam design and implementation, and with this point of view, cantilever beams are aimed to be subjected to many tests while designing. After the studies obtained, it is thought that the knowledge level given in the regulations regarding the design of cantilever beams may be insufficient for cantilever beam elements. In this context, the effect of iron powder additive on the bending strength of cantilever beams was investigated. Experimental study of the structural behavior of reinforced concrete cantilever beams under the influence of selected parameters, ductile and determination of the effect of limit reinforcement ratio required for brittle fracture on fracture. In this method, the behavior of the reinforced concrete cantilever beam under the effect of the single load (P) applied in the end region of 32 reinforced concrete cantilever beams designed with different parameters for bending behavior was tried to be tested. In the production of the test elements, the material, cross-section, support width, cover and stirrup step distance were kept constant, the stirrup hook angle, the limit reinforcement ratio required for ductile and brittle fracture and the contribution percentage were considered variable. Formwork, reinforcement and concrete were manufactured from the experimental materials in the construction site environment. The prepared samples were cured for 28 days. A detailed literature study has been conducted in determining the subject and scope. In the light of the obtained theoretical information, the scarcity of experimental data on cantilever beams has drawn attention in the literature. In order to get the most efficient results for the decided cantilever beam bending test, it is aimed that the test setup will work as a built-in support. Experimental and analytical results were obtained and comparisons were made.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Bir ucu ankastre diğer ucu boşta kalan kirişlere konsol kiriş denir. Genel kullanım alanları olarak balkonlar, çıkmalar ve betonarme merdivenler karşımıza çıkmaktadır. Konsol kiriş elemanında çekme gerilmesinin önlenebilmesi için normal kirişlerde uygulananın aksine çekme donatısı üst tarafa, montaj donatıları ise alt tarafa konularak tasarım yapılır. Yönetmelikler gereği kirişin ankastre kısmı taşıyıcı duvar veya betonarme elemana en az 20 cm gömülür.

Ülkemizde pek çok yapı, kat alanının arttırılmasının sağlanması amacıyla, zemin kattan sonra konsol çıkmalar üzerine yapılmaktadır. Bundan dolayı, bu yapılarda konsol kiriş elemanlarının sehim yapmasına neden olmaktadır. Bu sehim dolayısıyla kirişlere oturan duvarlarda zamanla deformasyonlar olduğu görülmüştür. Bahsedilen hasarlar ülkemizde çok fazla can ve mal kaybına neden olsa da konsol kiriş elemanları ile ilgili bugüne dek geniş çerçevede bir çalışma yapılmamıştır.

Çalışmalar kapsamında, konsol kirişlerin tasarımı ile ilgili olarak yönetmeliklerde verilen bilgiler ışığında tasarlanan ve yapılan konsol kirişlerin, zamanla ciddi sıkıntılara yol açacağı konusunda bir yargının oluşması kaçınılmaz olacaktır. Benzer durumlarda inşa edilmiş ve deformasyon oluşmuş birçok binanın olması ve ekonomik durumlara bağlı olarak oluşan mali kayıplar hesaplandığında, konsol kiriş tasarım ve uygulanması kriterlerinin gözden geçirilmesinin önemi daha iyi anlaşılabilir.

1.2. İlgili Çalışmalar

Aydemir ve ark. (2017) betonarme kirişlerin hasar sınırlarının deneysel verilerle incelenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır.

Bu çalışmada üç farklı kiriş derinliğine sahip konsol kiriş imal ederek, numunelerin deprem yükleri etkisinde davranışlarını çevrimsel yüke benzeterek çalışma yapmıştır. Deney sonucundaki hasar durumları, plastik mafsallık bölgeleri ve şekil değiştirme özellikleri; Türk Deprem Yönetmeliği' ne göre kıyaslanmıştır. Sonuç olarak yönetmelik gereği hasar sınırı yaklaşımı dedikleri yaklaşımın donatı aralığı arttıkça boyuna donatıdaki burulma etkisini taşımakta yetersiz olduğu belirlenmiştir. Basınç donatısındaki burulmanın da etkisini araştırarak bir hasar sınırına yönelik yapılan hesaplamayla, basınç donatısı ve burkulma şekil değiştirme, davranış durumlarına göre ifade edilmiş ve geliştirilen bağlantı deneysel sonuçlar ışığında kıyaslanmıştır [1].

Özkal ve Uysal (2017) yapı elemanlarında en uygun donatı konumlandırmasının ne olacağı üzerine konsol tasarımlı bir çalışma yapılmıştır. Yapı elemanlarında yüksek oranda kesme kuvveti içinde bulunduğu alanlardaki hesap ve tasarım ile ilgili sıkıntılardan kurtulmak için çubuk benzeşimi yöntemiyle donatı sıralamasının belirlenmesi üzerine bir inceleme yapılmıştır. Kullandıkları topoloji eniyilemesi algoritması, çubuk benzeşimi yöntemiyle eşleştirilmek üzere betonarme olarak imal edilmiş konsol kirişe uygulanmıştır. Deneysel aşamada hem uygulanması gereken hem de tümleşik tasarım yöntemiyle konsol elemanların donatı sıralaması yapılmış ve yapısal davranışlarının nasıl değişeceği üzerine kıyaslamalar yapılmıştır. Sonuç olarak, topoloji eniyilemesi ve çubuk benzeşiminin bir arada kullanılması, yapı elemanlarını tasarlarken yapılan yöntemlere nazaran daha başarılı sonuçlara ulaşıldığı ve önerilen yöntemin kullanılmasıyla, büyük kolaylıklar sağlanacağı düşünülmektedir [2].

Özbaşaran (2013) konsol olarak tasarlanmış kirişlerin burkulma momentinin hesaplanmasında sonlu farklar yaklaşımının konsol elemanlarının üzerindeki davranışı ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Çelik yapılarda kirişler, malzemesinin ekonomik kullanılması için genellikle eğilme etkisinde güçlü bir davranış sergileyecek vaziyette koyulurlar. Bu kirişlerin tasarımında 2 büyük problem ortaya çıkmaktadır. Birincisi kesitte herhangi bir yükleme durumu için, çelik kirişte akma gerilmesinin aşılması ve dış kısmındaki lifte akma gerilmesinin karşılanamamasıdır. İkincisi ise

dayanıklılığının yitirilmesidir. Eğilme etkisindeki kirişlerde, yükleme durumunda güçlü tarafın, zayıf tarafa göre burulmanın olacağı bir olayda söz konusu olabilir. Buna yanal burulmalı burkulma ismi verilir. Özbaşaran'a göre konsol kirişin tasarımında, ilk olarak akma momenti yerine yanal burulmalı burkulma momentinin hesaplanması gerekmektedir. Sonuç olarak kayma merkezinden yüklenmiş konsol I kesitli kirişlerin kritik yanal burulmalı burkulma momentinin bulunmasında sonlu farklar yöntemi uygulanması tanıtılmıştır. Sonuçlar ABAQUS yazılımı ile kıyaslanmış ve elde edilen I boyutlu model ile ABAQUS yazılımından elde edilen sonuçların benzeştiği görülmüştür [3].

Ersoy (1998) kiriş ve kolonların moment taşıma gücünün hesaplanması üzerine bir çalışma yapmıştır. Ersoy Yeni Deprem Yönetmeliğinde kesme kuvvetinin hesabı için gerek duyulan pekleşme momentini bilgisayar yazılımı ile belirlenebileceğini belirtmiştir. Oluşturulan yazılım ile yapılan işlemlerde, donatıdaki pekleşme miktarının ve betondaki sargı durumunun, yapısal davranış üzerindeki durumları incelenmektedir. Makalede, Deprem Yönetmeliği'nde önerilen yaklaşık denklem ve yazarın önerdiği yaklaşımlar irdelenerek öneriler yapılmaktadır [4].

Kara ve Dünder (2008) kiriş içinde bulunan donatıların sayıları ve farklı yükleme durumlarında, atalet momenti üzerindeki değişimlerinin etkisinin incelenmesi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada kiriş ve kolonlarda meydana gelen çatlaklar incelenmiştir. Çatlaklara bakılarak betonarme bir yapının analizi için geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla farklı yükleme durumlarında ve farklı donatı miktarlarının betonarme kirişte atalet momentleri üzerine olan değişimi incelenmiştir. Yapıya gelen yatay ve düşey yüklerin etkisiyle kirişlerin çatlaması durumunda atalet momentlerinin hesabında ACI, CEB ve olasılığa bağlı etkili rijitlik model sistemleri kullanılmıştır. Elemanların etkili atalet momenti program sonucunda oluşturulan modelleme sonuçları ile deney sonuçları kıyaslanmıştır. Oluşturulan bilgisayar programı ile deneysel çalışması yapılmış farklı yüklemelerdeki kiriş örneklerinin etkili atalet momenti hesabının benzeştiği görülmüştür. Kirişin ortasında tekil yük bulunması halinde donatı miktarının, bilhassa düşük donatı miktarına sahip kirişlerin üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir [5].

Tekin ve ark. (2004) serbest ucundan P yüküyle yüklenmiş kirişin, fiber eklenmesiyle oluşan polimer matriksli kompozit ankastre bir kiriş için anizotrop elastisite teorisini kullanarak elasto-plastik gerilme analizi yapmışlardır.. 0° , 30° , 45° , 60° ve 90° açılan için akma noktaları araştırılarak σ_x kalıntı gerilme bileşenleri oluşturmuşlardır. Akma durumu, 0° ve 90° oryantasyon açıları için kirişin en alt ve en üst yüzeylerinde aynı anda başlamaktadır. 30° , 45° ve 60° oryantasyon açıları için ise kirişin en üst yüzeyinde akmanın daha önce başladığı görülmüş kirişin en alt ve en üst yüzeylerinde σ_x kalıntı gerilme bileşeninin maksimum olduğu anlaşılmıştır. Sonuçlar tek yönlü fiberlerle oluşturulmuş polimer matriksli kompozit kiriş için ulaşılan σ_x kalıntı gerilme bileşenleri, daha önce yapılmış örgü fiberlerle takviye edilmiş termoplastik matriksli kompozit kiriş için elde edilmiş olan σ_x kalıntı gerilme bileşenleri ile kıyaslanmıştır [6].

Aykaç ve ark. (2011) betonarme yapılarda oluşturulan konsol kirişlere gelen yükler üzerine çalışmışlardır. Konsol elemanların üzerlerine gelen yüklerin kat alanını büyütme adına artması nedeniyle yapı konsollarında gerilmelere bağlı olarak çatlaklar oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmada, oluşan bu çatlakların oluşma nedenleri incelenmiştir. Konsollarda oluşan çatlakların nedenlerinden birinin de dolgu duvarların konsol kirişlere yüklemiş olduğu fazla yükler olduğu deneysel olarak ifade edilmiştir. Çalışmanın sonunda bir üst kattaki konsol kiriş yüklerinin yaklaşık %25 inin dolgu duvarlar aracılığı ile aşağıdaki konsol kirişe aktarıldığı ortaya koyulmuş ve önerilerde bulunulmuştur [7].

Pekediş ve Yıldız (2009) lineer elastik, dolu kesitli çubuklar seçip, farklı yük durumları iki örnek üzerinde incelenmiştir. Problem olarak, $f(x)=x$ ve $f(x)=0$ [$f(l)=1$] aksenal yüklerle yüklenmiş ankastre çubuklar, tek boyutlu lineer elastik olarak incelenmiştir. Şekil fonksiyonu olarak hareketli en küçük kareler yaklaşımı kullanılmışlardır. Bu çalışmada yaklaşık çözüm için önerilen eleman bağımsız Galerkin yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme değerleri, sayısal verilerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak eleman bağımsız Galerkin metodunun etkili ve güvenilir bir yöntem olduğu belirlenmiştir [8].

Koç (2007a) lifli beton malzemesiyle hazırlanmış konsol elemanları, konsol eksenlerine paralel doğrultuda basınç yükleriyle yüklemiştir. Deney elemanlarının kalınlıkları sabit, diğer iki boyutta geometrik olarak benzer ve benzerlik oranları 1:2:4 olacak şekilde, $t=40$ ve 50 mm kalınlıklarında iki farklı şekilde üretmiştir. Her seriden, $e=c/5$ ve $e=c/1$ O dış merkezlikleri ile yüklenmek üzere ikişer adet, bu serilerdeki her bir elemandan da üçer adet hazırlamıştır. Toplam 36 adet numune üretilmiş ve üzerlerinde deneyler yapılmıştır. Her deneyde biri düşey ve ikisi yatay olmak üzere yer değiştirme miktarları ölçülmüş, konsol uçlardaki yatay yer değiştirmelerin toplamından yatay açılma değerleri elde edilmiştir. Deney sonuçlarının boyut etkisi çözümlemeleri yapılmış ve boyut etkisi eğrileri çizilmiştir [9].

Koç (2007b) dış merkezlik değişiminin beton boyut üzerine etkisi adlı çalışma yapmıştır. Bu çalışmanın amacı beton malzeme göçmesinde çatlamların oluşturduğu boyut etkisinin incelenmesi ve farklı yükleme durumu ve eleman şekline bağlı olarak, betonda boyut etkisinin belirlenmesidir. Bu amaçla hazırlanan iki ayrı seri çift konsol elemanlara, konsol eksenlerine paralel basınç yüklemesi yapılmıştır. Yükleme iki farklı dış merkezlikte uygulanmış, birbirleriyle kıyaslanmıştır. Her bir seri ve dış merkezliğe ait sonuçlar boyut etkisi eğrileri şeklinde hazırlanmış ve boyut etkisi grafikleri çizilmiştir. Sonuç olarak dış merkezliğin küçülmesinin, elemanı basınç/kesme göçmesi moduna yaklaştırdığı ve davranışın gevrekleştiği görülmüştür [10].

Arsan ve Polat (2004) yüksek dayanımlı kirişlerde uygun sonlu elaman boyutları ile ilgili çalışma yapmışlardır. Açıklık ortasına yüklenmiş P yükü ile kirişlerin kesme ve eğilme dayanımları; doğrusal olmayan çözüm yöntemleri ele alınarak deneysel verilerle kıyaslanmış ve benzeştiği görülmüştür. Bu çalışmada; kesme kuvvetini araştırmak için kiriş ortasından tekil yükle yüklenmiş, yüksek dayanımlı beton kirişlerde, deney sonuçları ile yük-yer değiştirme eğrisini veren uygun sonlu eleman boyutları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan kirişlerde beton basınç dayanımı, kesme açıklığının kiriş etkili derinliğine oranı (a/d) ve enine donatı oranı değişken olarak kabul edilmiş hesaplamalar buna göre yapılmıştır. Kirişler doğrusal olmayan

çözümlemeyle incelenmiş ve sonlu eleman boyutlarının ne olacağı ile ilgili uygun değerler araştırılmıştır [11].

Kiracı ve ark. (2010) betonarme elemanda eğrilik sünekliliğinin değişken parametreleri baz alınarak ele almışlardır. Bu çalışmada, betonarme bir elemanın eğrilik sünekliliği ve bu sünekliliği etkileyen faktörlerin neler olması gerektiği incelenmiştir. Bu sebeple sargılı ve sargısız beton modelleri farklı çalışmalardan alınarak incelenmiştir. Betonarme kesitlerdeki sünekliliği incelemek üzere SEMAp adında bir programdan yararlanılmışlardır. SEMAp programında 51 adet numunenin, değişik parametreler etkisinde, moment-eğrilik diyagramlarından süneklilik değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında, SAS denilen bir program yardımıyla sünekliliği hesaplamak için bir denklem elde etmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda ve yapılan kontroller sonucunda elde edilen bu denklemin süneklilik hesabında kullanılabilir olduğu kanısına varmışlardır [12].

Aldemir (2018) çift oluklu betonarme kiriş sistemi ele almış ve bu sistemde boşluk derinliğinin yapısal davranışa olan etkisini incelemiştir. Aldemir, çift oluklu betonarme kiriş sistemlerinde, tekil yükleme etkisi altında sonlu eleman analizleri aracılığıyla oluk derinliğinin yapısal davranışa olan etkisini ele almıştır. Literatürde ulaşılan, deneysel olarak incelenmiş üç adet sisteminin 3 boyutlu doğrusal olmayan sonlu eleman analizleri yapılmış ve numerik şekilde oluşturulmuş modellerin deneysel çalışma sonuçları ile kıyaslamasının yapılması amaçlanmıştır. Araştırmanın diğer bölümünde, numerik model vasıtasıyla, incelenen numunelerin oluk derinliği artırılmış ve oluk derinliğinin kirişin davranışına etkisi incelenmiştir. Oluk derinliği/ Kiriş yüksekliğinde, 0,25, 0,150, 0,20, 0,300 ve 0,400 oranları kullanılmıştır. Numerik çalışmada sadece oluk derinliğinin yapısal davranışa olan etkisini anlamak amacıyla tüm kesit ve donatılar sabit olarak kabul edilmiştir. Analizler yapılırken, kolondaki düşey yükün etkisi ve konsol kiriş ucundaki yer değiştirme dikkate alınarak veriler elde edilmiştir. Modellerin performansı karşılaştırılırken yük- deplasman ve dönme kapasiteleri incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar ışığında tüm plastik mafsallık noktaları için Oluk derinliği/ Kiriş yüksekliği 0,300 olan kirişlerin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [13].

Kaya ve Yalçın (2017) ağır hasar almış yapısal elemanların kolon ile kirişin birleştiği bölgenin kimyasal harçlar ile kapatılarak bu kimyasal harçların yapısal davranışa olan etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada eski yönetmeliklere uygun olarak tasarlanıp yapılmış, kolon kiriş birleşim numunelerinin deprem etkisi altında vermiş oldukları davranışlar deneysel olarak ele alınmış ve sonra hasarlı numune çeşitli kimyasal harçlar ile onarılarak tekrar deneyler yapılmıştır. Sonuç olarak, kimyasal harçlar ile tamir edilen numunenin yatay yük-ötelenme davranışında, rijitliğinde ve enerji tüketim kapasitesinde önemli derecede bir artış olduğu sonucuna ulaşılmıştır [14].

Aydın ve Bayrak (2017) kirişlerde oluşan burulma momentini deneysel ve teorik olarak ele alıp incelemişlerdir. Kirişlerde etriye miktarı, beton sınıfı ve beton tipi değişken olarak kabul edilmiş ve yapısal davranışa olan etkisi incelenmiştir. Deneylerde beton basınç dayanımı 20 MPa ile 40 MPa, beton tipi geleneksel beton ile kendiliğinden yerleşen beton ve etriye aralığı 80 mm ve 100 mm olarak belirlenmiştir. 12 adet normal betonlu 8 adet kendiliğinden yerleşen betonlu 250x300x1500 mm boyutlarında kiriş numunesi hazırlanmıştır. Burulma momentine etkisindeki kiriş numunelerinin burulma momenti kapasiteleri, bu değere karşılık gelen dönme açısı, kritik burulma momenti değerleri, bu değerlere karşılık gelen kritik dönme açıları, burulma çatlakları deneysel olarak ele alınıp incelenmiştir. Sonuç olarak düşük etriye aralığının, yüksek dayanımlı betonun ve beton tipi olarak belirlenen kendiliğinden yerleşen betonun burulma davranışı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu deneysel olarak belirlenmiştir [15].

Tayfur ve ark. (2018) üç noktalı statik yük altındaki çelik fiber katkılı iki kiriş ile çelik fiber katkısı olmayan bir kiriş, değiştirilmiş basınç alanı teorisine dayanan bir doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edip bu sonuçları karşılaştırmışlardır. Bu yöntemde çatlamış betonda çatlak yüzeyleri arasında çelik fiberlerin ilettiği çekme gerilmelerinin modellenmesinde Basitleştirilmiş Kapsamlı Gömülme Modeli seçilmiştir. Teorik sonuçlar deney sonuçlarıyla karşılaştırılmış kullanılan sonlu elemanlar yönteminin kirişlerin eğilme kapasitelerini ve oluşan ana çatlakları yüksek hassasiyetle belirlediği, ancak kirişlerin deplasman kapasitelerini olduğundan çok

daha düşük bulunduğu tespit edilmiştir. Hassas czmler için elik fiber katkısının modellenmesinde daha gelişmiş modellere ihtiyaç duyulduğu grlmştir [16].

Saatçi ve Batarlar (2017) elik fiber katkısı eklenmiş kirişlerin davranışını incelemişlerdir. Bu çalışmada elik fiber katkısının farklı boyuna donatı oranlarına sahip etriyesiz betonarme kirişlerin eğilme davranışına olan etkileri deneysel ve analitik olarak incelemişlerdir. Deneylerde düşük ve yüksek boyuna donatı miktarına sahip iki grup kiriş tasarlanmıştır. Sonuç olarak kirişler analitik yöntemlerle ele alındığında literatür de yaygın kullanılan ve çatlakta elik fiberlerin taşıdığı çekme gerilmesini sabit kabul eden yaklaşımın güvenli tarafta olmasına karşın eğilme kapasitesinin olduğundan düşük hesaplanmasına yol açtığı, çekme gerilmelerini çatlak genişliği ile ilişkilendiren daha hassas modellerinin daha güzel sonuç verebilecekleri grlmştir [17].

Tre (2013) plastik şekil değiştirmenin deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışmada geniş kirişlerin yatay yük dayanımındaki değişme, çatlak gelişimi, göçme şekilleri ve süneklikleri hesaplanmış ve bu değerleri incelenmiştir. Bu amaçla farklı donatı düzenlemesine sahip dört adet konsol kiriş numunesi tekrarlı yük etkisinde test edilmiştir. Bütün numuneler gnmş koşullarında önceden yapılmış yapılarda yüksek oranda bulunması nedeniyle yetersiz sargılıdır. Deneylerinde numunelerin kuvvet- yer değiştirme ve moment eğrilik değerleri hesaplanmıştır. Numunelerin çevrimsel davranışları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yetersiz sargı ve montaj ve çekme donatısı arasındaki oransal farkın yüksek olması, çift etriye kullanılmasının çevrimsel davranışa etkisinin sınırlı kaldığı, TDY (2007)'de belirtilen hasar sınırlarının ve bölgelerinin deney sonucunda elde edilen verilerle uyumlu olduğu belirlenmiştir [18].

Taş ve ark. (2013) endüstriyel demiş talaşı atığının beton kp numunelerde farklı oranlarda kullanılıp bu katkı maddesinin numuneler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Demir talaşlı küp numuneler, referans betonların 0–2 mm aralığındaki agrega miktarının %50 oranında azaltılması kapsamında hazırlanmıştır. Deney

sonucunda %50 demir talaşı atığı kullanılan numunelerin referans numunelere oranla daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür [19].

Uzun ve ark. (2018) cam tozlarının beton numunelere katılması ile dayanım üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Deneyde çimento ağırlığının %10, %15 ve %20 oranlarında cam tozu katılması ile beton küp numuneler üretilmiştir. Deney sonucunda %10 cam tozu oranlı numunelerin dayanımının referans numuneye oranla düştüğü fakat %15 ve %20 cam tozu oranlı numunelerin şahit numuneye oranla yaklaşık %20 daha iyi dayanım gösterdikleri görülmüştür [20].

Çakıroğlu ve ark. (2011) teneke ambalaj atıklarının beton üretiminde kullanılması konulu çalışma yapmışlardır. 40mm/5mm, 50mm/5mm, 60mm/5mm boyutlarında kesilen teneke ambalajları kalay/krom yapılı olup 30 kg/m³, 40kg/m³ ve 60 kg/m³ oranlarında beton harcına katmışlardır. Deney sonucunda 60mm/5mm boyutlu 30 kg/m³ oranlı numunelerde referans numunelere oranla daha yüksek dayanım görülmüştür [21].

Dilbas ve ark. (2014) yapıların yıkılması sonucu çıkan beton atıkları ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu kapsamda yıkılmış binalardan çıkarılan molozlar belirli oranlarda geri kazanılmış agregalar şeklinde kullanılarak 15 adet beton karışımı üretmişlerdir. Betonlar numunelerinde silis dumanı katkısı kullanılmış ve numuneler konsol giriş şeklinde üretilmiştir. Deney sonucunda %30 oranına kadar katkı maddesi kullanımının eğilme davranışına olumlu etkisi olduğunu görmüşlerdir [22].

Kara ve ark.(2018) kömür külünün beton üretiminde katkı maddesi olarak kullanmışlardır. Çimentoya %5, %10, %15 oranlarında kömür külü maddesinden katmışlardır. Katkılı beton numuneler üzerinde basınç deneyleri yapmışlardır. Deney sonuçlarında %5 katkılı betonların referans numunelere göre yaklaşık %20 daha iyi basınç dayanımında bulunduğunu görmüşlerdir. Bu katkının %15 oranına kadar beton içerisinde kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır [23].

Mesçi ve ark. (2007) endüstriyel atıkların tekrar kullanılması amacıyla birçok çalışma yapmışlardır, bu kapsamda bakır flotasyon atıklarının beton içerisinde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Farklı oranlarda beton içerisine bakır flotasyon atığını katkı olarak eklemişlerdir. Beton içerisine eklenen katkı miktarı arttıkça dayanımın daha da düştüğünü gözlemlemişlerdir. Dayanımdaki bu azalmanın nedeninin bakır atığında bulunan puzolanik özelliğin, çimentoda bulunana göre daha düşük olmasından kaynaklandığının farkına varmışlardır [24].

Özel ve ark. (2011) pet şişelerin betonda fiber katkı olarak kullanılabilir olup olmadığını ele almışlardır. PET miktarını 300 gr/m³, 600 gr/m³, 900 gr/m³ olarak belirlemişler ve deney sonuçlarında PET kullanım miktarına göre PET katkılı numunelerin betonda dayanımı düşürdüğü fakat PPF fiber katkılı numunelere yakın sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Bunun sonucunda polipropilen fiberlere alternatif olarak PET kullanılabileceği kanısına varmışlardır [25].

BÖLÜM 2. GENEL TANIMLAMALAR

2.1. Kiriş

Kiriş boyu doğrultusundaki eksenine dik kuvvetlerin etkisi altında bulunan döşemeden gelen yükleri düşey taşıyıcı sistemlere aktaran eğilmeye dayanıklı yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır [26].

Bina ve inşaat yapımında farklı kiriş tipleri kullanılır. Kirişler düşey yüklere, kayma kuvvetlerine ve burulma momentlerine dayanabilen yatay yapısal elemanlardır [26].

Kirişler, uzunlukları boyunca uç noktalarına getirdikleri yükleri duvarlara kolonlara ve temellere aktarır.

2.1.1. Yapılarda kiriş çeşitleri

Yapılarda kiriş çeşitleri 5 farklı şekilde tanımlanmış ve tanımlamalar aşağıda belirtilmiştir.

2.1.1.1. Destek koşullarına göre

2.1.1.1.1. Basit kiriş

Bir ucu sabit ve bir ucu kayıcı mesnete sahip kirişlerdir. Daha basit bir tanımlama ile iki ucundan moment aktarmayan bir birleşim ile bağlanmış kirişlerdir. Basit kirişlerde mesnet momenti sıfırdır [26].

Basit kirişe ait modelleme Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Basit kiriş modellenmesi

2.1.1.1.2. Sabit kiriş

Her iki ucu da desteklenir ve dönmeye direnmesi için sabitlenir. Kirişin herhangi bir dikey hareketine ve dönmesine izin verilmez. Sadece kesme gerilmesi altındadır ve moment üretmez [26].

Sabit kirişe ait modelleme Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.

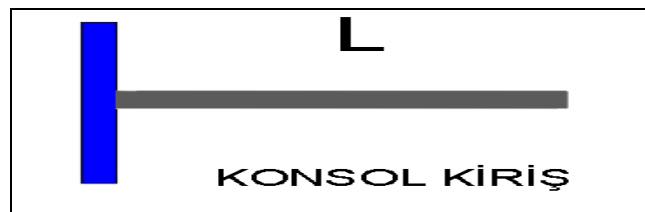


Şekil 2.2. Sabit kiriş modellemesi

2.1.1.1.3. Konsol kiriş

Bir ucu sabit diğer ucu serbest kalacak şekilde tasarlanmış kirişlere konsol kiriş adı verilir. Konsol kiriş esas olarak üzerine uygulanan yükü moment etkisi ile taşıyan yapısal bir elemandır. Konsol elemanlar yapı endüstrisinde özellikle köprülerde sıklıkla bulunmaktadır.

Konsol kirişe ait modelleme Şekil 2.3.'de verilmiştir.

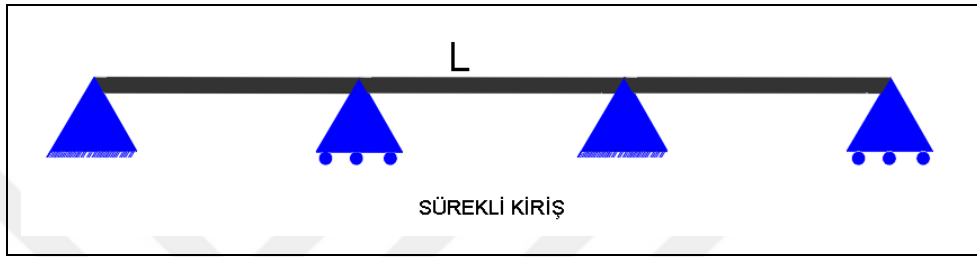


Şekil 2.3. Konsol kiriş modellemesi

2.1.1.1.4. Sürekli kiriş

Birden fazla açıklığı bulunan biri sabit veya ankastre diğerleri hareketli mesnetler üzerine oturan sistemlere sürekli kiriş denir. Kısaca uzunluğunca dağılmış ikiden fazla mesnete sahip kirişlere denir [26].

Sürekli kirişe ait modelleme Şekil 2.4.'de verilmiştir.

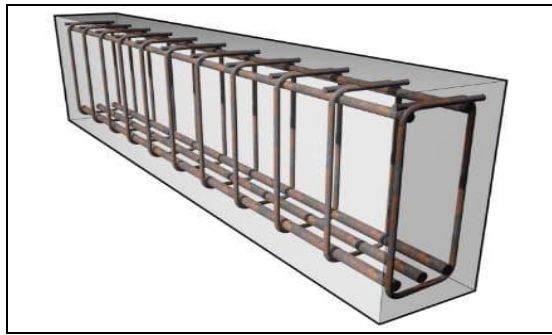


Şekil 2.4. Sürekli kiriş modellemesi

2.1.1.1.5. Yapı malzemelerine göre

2.1.1.1.5.1. Betonarme kirişler

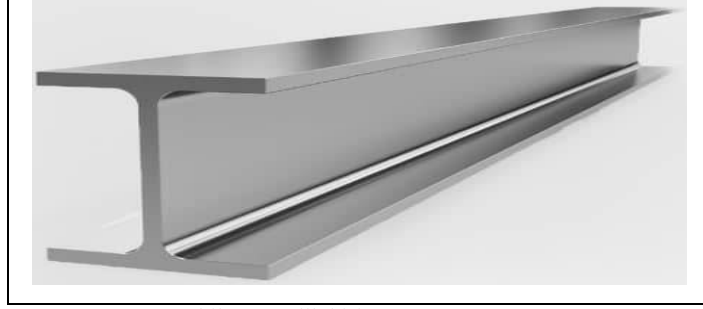
Beton ve donatıdan oluşan kirişlere betonarme kiriş adı verilir. Betonarme kirişe ait model Şekil 2.5.'de verilmiştir.



Şekil 2.5. Betonarme kiriş modellemesi [26]

2.1.1.1.5.2. Çelik kirişler

Tamamen çelik malzemeden üretilmiş kirişlere denir. Çelik kirişe ait model Şekil 2.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Çelik kiriş modellemesi [26]

2.1.1.1.5.3. Ahşap kirişler

Bu tür kirişler ahşap malzemesinden yapılmış olup geçmişte sıklıkla yapılmıştır fakat günümüzde çeşitli dezavantajları dolayısıyla tercih edilmemektedir.

Ahşap kirişlere ait görsel Şekil 2.7.'de verilmiştir.

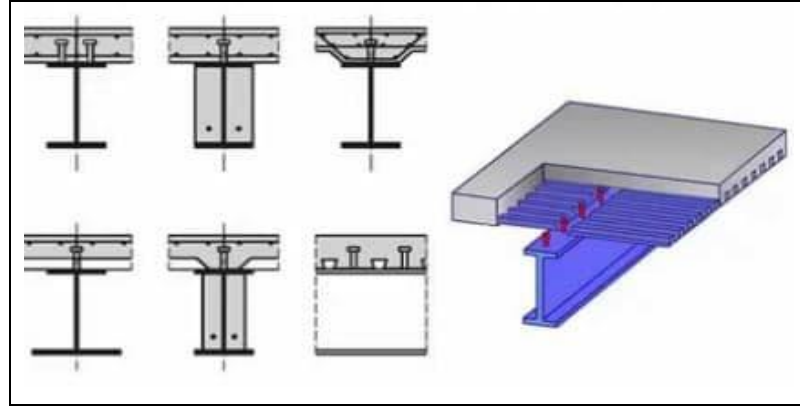


Şekil 2.7. Ahşap kiriş modellemesi [26]

2.1.1.1.5.4. Kompozit kirişler

Çelik ve beton gibi iki veya daha fazla farklı türde malzemeden oluşur. Bu tür tasarlanmış kirişlere kompozit kirişler adı verilir.

Kompozit kirişlere ait modelleme Şekil 2.8.'de verilmiştir.



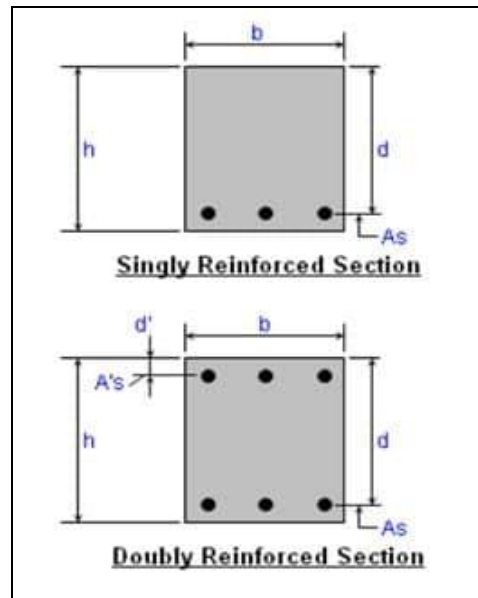
Şekil 2.8. Kompozit kiriş modellemesi [26]

2.1.1.1.6. Kesit şekillerine göre

Kirişlerin çeşitli enine kesit şekilleri mevcuttur ve yapıların farklı bölümlerinde kullanılır. Genel olarak teorikte ve pratikte betonarme ve çelik malzemelerin kesit şekil durumları ele alınır ve uygulanır [26].

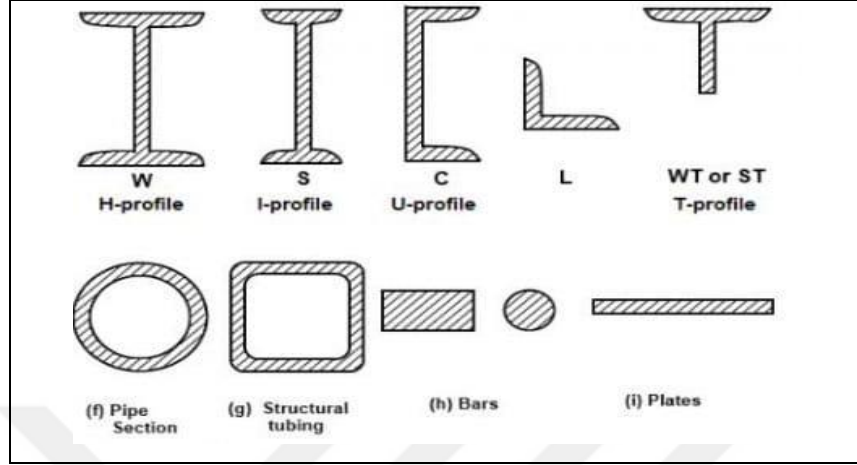
Betonarme yapı elemanlarında kiriş genelde dikdörtgen kiriş olarak tasarlanır.

Bu tasarım Şekil 2.9.'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Dikdörtgen kesitli kiriş [26]

Çelik yapılarda ise kiriş türleri oldukça fazladır ve buda çelik yapılarını kiriş elamanı bakımından zengin kılmaktadır. Şekil 2.10.'da çelik kesit örnekleri verilmiştir.

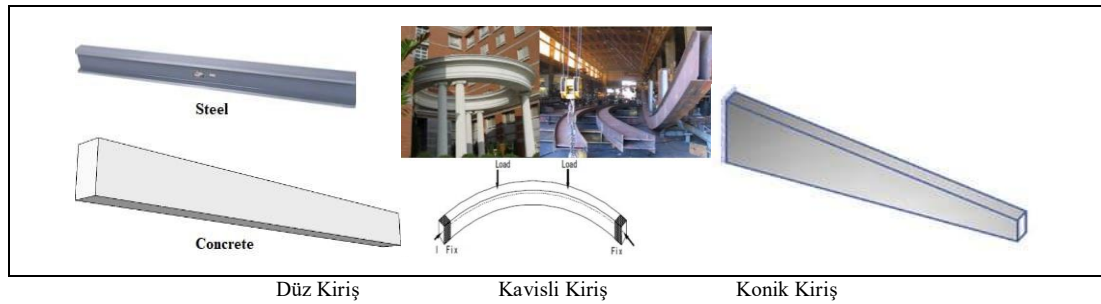


Şekil 2.10. Çelik profilli kirişler [26]

2.1.1.1.7. Geometrisine göre

Geometrisine göre kirişler en çok kullanım durumuna göre düz kirişler, kavisli kirişler ve konik kirişler olarak tanımlanabilir [26].

Bu kirişlere ait örnekler Şekil 2.11.'de belirtilmiştir.

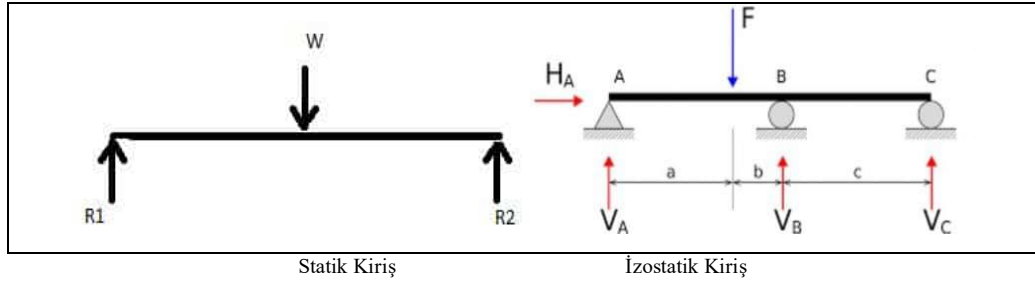


Şekil 2.11. Geometrisine göre kiriş örnekleri [26]

2.1.1.1.8. Denge durumuna göre

Denge durumuna göre kirişler statik ve izostatik olmak üzere 2 sınıfta incelenmektedir.

Bu duruma ait kiriş örnekleri Şekil 2.12.'de gösterilmiştir.



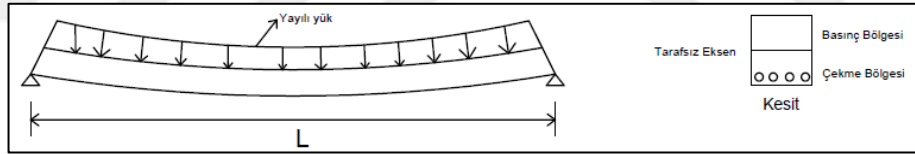
Şekil 2.12. Denge durumuna göre kiriş örnekleri [26]

2.1.1.2. Kirişlerin davranışları

Basit eğilme altındaki bir kirişte tarafsız eksen gerilme bakımından kesiti iki bölgeye ayırır.

Bölgelerin birinde basınç, diğerinde ise çekme gerilmeleri oluşur.

Şekil 2.13.'de düzgün yayılı yük altında kirişin davranışı gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Düzgün yayılı yük altında kiriş

Küçük yük altında kirişte çatlak oluşumu görülmez. Artan yükler altında en dış çekme bölgesindeki birim uzamanın, betonun çekmedeki birim uzama sınırına ulaşması ile ilk çatlaklar oluşmaya başlayacaktır.

Betonun çekme dayanımı düşük olduğundan donatı kullanmadan çekmeyi tamamen betona taşıtmayı sağlayacak şekilde kiriş tasarlamak uygun olmayacaktır. Bu nedenle çekme gerilmelerini karşılamak için donatı kullanılması zorunlu olmaktadır. Kirişlere konulacak donatının adedi, oranı ve düzeni, kirişe gelen yüke bağlı olarak kirişin davranışını etkileyecektir.

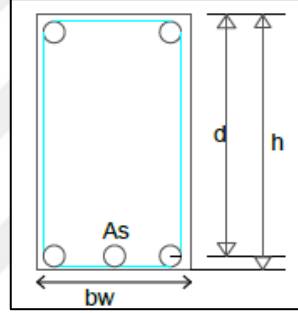
Kiriş kesitleri basınç ve çekme bölgesinde bulunan donatı hesaplarına bağlı olarak tek ve çift donatılı kesit şeklinde iki sınıfa ayrılmaktadır. Tek donatılı kesitlerde boyuna donatı sadece kirişin çekme bölgesinde, çift donatılı kesitlerde ise boyuna donatının, hem çekme hem de basınç bölgesinde bulunur.

Uygulamada kirişler için bu tipte donatı düzenlenmesine izin verilmez.TS500 ve Deprem Yönetmeliğinde boyuna donatılara getirilen sınırlamalar ve şartlar nedeniyle kiriş boyunca çekme ve basınç bölgelerinin her tarafında da boyuna donatının sürekli olarak bulunması mecburidir.

Fakat tek donatılı kesit hesabının kirişler için pratik anlamı basınç bölgesinde konstrüktif amaçlı olarak koyulan donatının basınç dayanımına katkısının ihmal edilmesi olarak tanımlanabilir.

BÖLÜM 3. BASİT EĞİLME ALTINDA DİKDÖRTGEN KESİTLER

Basit eğilme ile zorlanan kesitlerde basınç ve çekme gerilmeleri ortaya çıkmaktadır. Gerilmeler arttıkça betonun çekme dayanımı aşılabacak ve beton çekme bölgesinden çatlayıp gerilme alamaz duruma gelecektir. Bu durumda tüm çekme kuvveti çelik donatı tarafından karşılanmak zorunda kalacaktır. Basit eğilme etkisi altında dikdörtgen betonarme kirişin en kesiti ve boyutları Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Eğilme etkisinde eleman enkesiti ve boyutları

Burada b_w kesit genişliği, A_s çekme bölgesi donatısı, h kesit yüksekliği ve d faydalı yükseklik olarak tanımlanmaktadır.

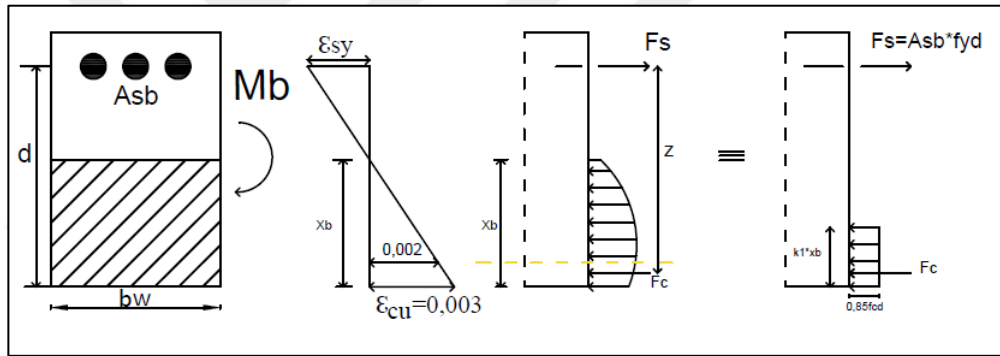
Eğilmeye zorlanmış betonarme kesitlerdeki donatı oranına bağlı gerilme durumu 3 farklı şekilde olabilir. Dengeli kırılmayı sağlayacak donatı oranına dengeli donatı oranı denir ve ' ρ_b ' ile gösterilir.

Donatısı dengeli donatıdan fazla olana ($\rho > \rho_b$) denge üstü, az olan donatılı kesit ise ($\rho < \rho_b$) denge altı donatılı kiriş denir.

3.1. Dengeli Donatılı Kirişlerde Basit Eğilme

Basınç bölgesinde bulunan betonun ezilmesiyle birlikte çekme bölgesindeki donatının akmaya başlaması aynı anda gerçekleşmekte ve ani kırılma meydana gelmektedir. Diğer bir deyişle donatının birim uzama değerinin, akma birim uzama değerine eşitlenmesiyle birlikte dengeli kırılma gerçekleşir [27].

Şartnameler gereği bu tür kırılma çeşidi bizim istediğimiz bir kırılma çeşidi olmamakla birlikte, dengeli donatılı kirişler sınır durumunda olması dolayısıyla taşıma gücü hesabı yapılabilir [27]. Dengeli donatılı kirişlerde deformasyon ve kuvvet diyagramları yaptığımız eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu kabulü ile birlikte Şekil 3.2.'de verilmiştir. Taşıma gücüne ait hesaplamalar şekil altında belirtilmiştir.



Şekil 3.2. Dengeli donatı durumu [27]

As_b : Dengeli donatı oranı

M_b : Kesite etki eden eğilme momenti

ϵ_{sy} : Donatının akma mukavemeti

ϵ_{cu} : Betonun kırılma anındaki birim deformasyonu

x_b : Tarafsız eksen

F_c : Tarafsız eksen üzerindeki beton basınç bölgesinde oluşan basınç gerilmeleri bileşkesi

F_s : Çekme bölgesindeki donatıya uygulanan çekme kuvveti

Z : Manivela kolu, beton basınç gerilmeleri bileşkesi ile donatı çekme kuvveti arasındaki mesafe

F_{yd} : Donatının hesap dayanımı

k_z : Manivela kolu katsayısı

k_1 : Malzemeye bağılı katsayı

k_x : Donatıya bağılı tarafsız eksen katsayısı olmak üzere;

$\sum x = 0$ Yatay denge denklemi:

$$F_c = F_s \quad (3.1)$$

$$F_c = 0,85 * f_{cd} * k_1 * x_b * b_w \quad (3.2)$$

$$F_s = A_{sb} * f_{yd} \quad (3.3)$$

Beton ve çekme donatısı kullanılarak kesitin taşıma gücü momenti araştırılacaktır.

$$A_{sb} * f_{yd} = 0,85 * f_{cd} * k_1 * x_b * b_w \quad (3.4)$$

$$A_{sb} = 0,85 * (f_{cd} / f_{yd}) * k_1 * x_b * b_w \quad (3.5)$$

$$\rho_b = A_{sb} / b_w * d \quad (3.6)$$

$$A_{sb} = \rho_b * b_w * d \quad (3.7)$$

$$\rho_b * b_w * d = A_{sb} = 0,85 * (f_{cd} / f_{yd}) * k_1 * x_b * b_w \quad (3.8)$$

$$\rho_b = 0,85 * (f_{cd} / f_{yd}) * k_1 * (x_b / d) \quad (3.9)$$

$k_x = (x_b / d)$ olarak elde edilir ve tarafsız eksenini verir.

Tarafsız eksen;

$$x_b = k_x * d \quad (3.10)$$

$$\text{Dengeli donatı oranı } \rho_b = 0,85 * (f_{cd} / f_{yd}) * k_1 * k_x \quad (3.11)$$

Dengeli donatı miktarı ise;

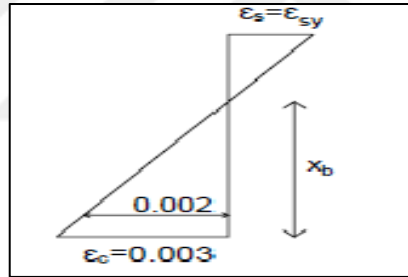
$$A_{sb} = \rho_b * b_w * d \quad (3.12)$$

Aşağıdaki Tablo 3.1.' de donatı ve beton sınıfına göre elde edilmiş dengeli donatı oranları verilmiştir.

Tablo 3.1. Dengeli donatı oranları

Malzeme	C18	C20	C25
S220	0.03156	0.03730	0.04878
S420	0.01354	0.01600	0.02092
S500	0.01059	0.01252	0.01637

Aşağıdaki Şekil 3.3.'de dengeli donatı oranına ait oluşan birim şekil değiştirme dağılımı verilmiştir.



Şekil 3.3. Dengeli donatılı kesitte birim şekil değiştirme

$\Sigma M = 0$ Moment denge denklemi:

$$M_b = F_s * z = F_c * z \quad (3.13)$$

$$z = d - (k_1 * x_b) / 2 \quad (\text{Benzerlikten çıkarılabilir}) \quad (3.14)$$

$$x_b = k_x * d \quad (3.15)$$

$$z = d - (k_1 * k_x * d) / 2 \quad (3.16)$$

$$z = d [1 - (k_1 * k_x) / 2] \quad (3.17)$$

$z = k_z * d$ olarak bulunur.

(Denklem 3.13) ifadesinde F_c , F_s , z parametreleri yerine yazılırsa Denge durumundaki moment aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$M_b = 0.85 * f_{cd} * k_1 * x_b * b_w * z \quad (3.18)$$

$$M_b = A_{sb} * f_{yd} * z \quad (3.19)$$

Yukarıdaki denklemler sonucu dengeli donatı ile taşınabilen moment; malzeme, kesit ve tarafsız eksenin yerine bağlıdır.

Tarafsız eksen uzunluğunun bulunması:

(Denklem 3.15) verilen ifade birim deformasyon diyagramı üzerinde thales ifadesi yazılırsa;

$$\epsilon_{cu} / x_b = \epsilon_{sy} / d - x_b \text{ bulunur.} \quad (3.20)$$

Deformasyon diyagramındaki oran orantıdan;

$$\begin{aligned} \epsilon_{cu} / x_b &= \epsilon_{sy} / (d - x_b) = (\epsilon_{sy} + \epsilon_{cu}) / d & \epsilon_{cu} / x_b &= (\epsilon_{sy} + \epsilon_{cu}) / d \\ x_b / d &= \epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} + \epsilon_{sy}) \text{ yazılabilir.} \end{aligned} \quad (3.21)$$

Aşağıda Tablo 3.2.'de donatı cinsine göre maksimum hesap akma gerilmeleri (f_{yd}), k_x ve k_z katsayıları verilmiştir.

Tablo 3.2. Donatı cinsine göre hesaplanan değerler			
Donatı	S220	S420	S500
F_{yd}	191	365	435
k_x	0.7585	0.6218	0.5797
k_z	0.6776	0.7358	0.7536

Betonun ezilme durumunda deformasyon oranı $\epsilon_{cu} = 0.003$ ve çelikteki Hooke kanunu akma durumunda;

$$\sigma_s = \epsilon_s * E_s \quad f_{yd} = \epsilon_{sy} * E_s \quad \epsilon_{sy} = f_{yd} / E_s \text{ denklemleri uygulanır} \quad (3.22)$$

$$x_b / d = \epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} + \epsilon_{sy}) \quad (3.23)$$

$$x_b / d = 0.003 / (0.003 + f_{yd} / E_s) \quad (3.24)$$

$$x_b / d = 0.003 * E_s / (0.003 * E_s + f_{yd}) \quad (3.25)$$

$$k_x = x_b / d \quad (3.26)$$

$$k_x = 0.003 * E_s / (0.003 * E_s + f_{yd})$$

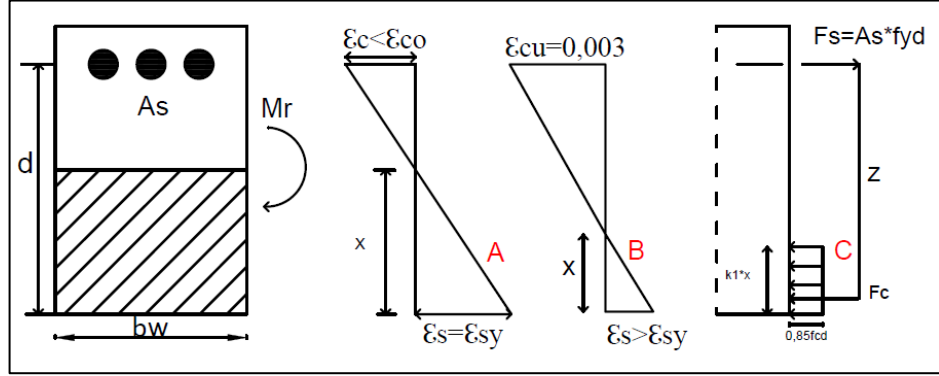
Tarafsız eksenin bulunmasını sağlayan k_x ve tarafsız eksen mesafesi x_b bulunur.

$$E_s = 2 * 10^5 \text{ N/mm}^2 \text{ olduğu kabulüyle } k_x = 600 / (600 + f_{yd}) \text{ olarak da bulunabilir.} \quad (3.27)$$

3.2. Denge Altı Donatılı Kirişlerde Basit Eğilme

Denge altı donatılı kesitli kirişlerde, çekme bölgesindeki asal donatının birim uzama değeri (ϵ_s), akma birim uzama değerine ulaşmaktadır. Sonrasında ise basınç bölgesindeki betonun birim kısılması (ϵ_c) sonuç birim kısılma değerine ulaşır. Bu davranışı gösteren donatı oranına sahip kesitlere denge altı donatılı kiriş denir. Böyle donatı oranına sahip kesitlerde kırılma sünek olup buna çekme kırılması adı verilir. Bu yüzden bu tür kesitler sünek özellik göstermesi bakımından bu tür donatı oranına sahip kirişler tasarlamak gerekir. Sonuç olarak dengen altı donatı oranına sahip kirişlerde, donatı daha önceden akma birim uzama değerine çıkacağından ve büyük deplasmanlar meydana geleceğinden göçme öncesi ani kırılma yerine daha uzun soluklu bir kırılma ve bu kırılmaya ait belirtileri de bizlere önceden göstermiş olacaktır. Tüm

yönetmelikler sadece bu tür donatı oranına izin vermektedir. Şekil 3.4.'de bu denge altı donatıya ait kesitte oluşan birim şekil değiştirme dağılımı verilmiştir [27].



Şekil 3.4. Denge altı donatıya ait kesitte oluşan birim şekil değiştirme dağılımı [27]

Şekil A birim deformasyon diyagramı; donatının akma durumuna eriştiği anda, basınç bölgesindeki betonun ϵ_{co} birim deformasyonuna ulaşmadığı andaki durumdur. Bu durumda donatının karşılayabileceği çekme kuvveti en üst seviyede olup; $F_s = A_s * f_{yd}$ ifadesiyle hesaplanacaktır. Bu safhadan sonra F_s kuvvetinde bir artma meydana gelmeyecektir, fakat henüz kiriş taşıma gücüne erişmemiştir, biraz daha moment taşıyabilecektir [27].

Şekil B'den de görüldüğü gibi donatının akmasıyla beton basınç bölgesi küçülecektir. Bileşke kuvvet değişmeyeceğine göre gerilmenin değeri artacaktır. Beton basınç bölgesine tesir eden gerilmenin değeri artması ve beton basınç bölgesinde tarafsız eksene en uzak lifteki birim deformasyonun, betonun ezilmedeki birim deformasyonuna ($\epsilon_{cu} = 0.003$) erişmesiyle kesit taşıma gücüne erişecektir [27].

Şekil C iç kuvvetler üzerinde yatay denge denklemi yazılır. Sonra dış kuvvetlerin momenti iç kuvvetlerin momentine eşitlenir. Bu şekilde kesitin taşıma gücü momenti olan M_r bulunur.

$\Sigma x = 0$ Yatay denge denklemi yazılacak olursa:

$$F_c = F_s \quad (3.28)$$

$$F_c = 0,85 * f_{cd} * k_1 * x * b_w \quad (3.29)$$

$$F_s = A * f_{yd} \quad (3.30)$$

$$A_s * f_{yd} = 0,85 * f_{cd} * k_1 * x * b_w \quad (3.31)$$

$$x = k_x * d \text{ uygulanacak olursa;} \quad (3.32)$$

$$A_s * f_{yd} = 0,85 * f_{cd} * k_1 * k_x * d * b_w \quad (3.33)$$

$$A_s / (b_w * d) = 0,85 * (f_{cd} / f_{yd}) * k_1 * k_x \quad (3.34)$$

$$A_s / (b_w * d) = \rho \quad (3.35)$$

$$\rho = 0,85 * (f_{cd} / f_{yd}) * k_1 * k_x \quad (3.36)$$

$$k_x = \rho * (f_{yd} / f_{cd}) * 1 / (0,85 * k_1) \quad (3.37)$$

$\Sigma M = 0$ Moment şartı yazıldığında;

$$M_r = F_s * z \quad (3.38)$$

$$F_s = A_s * f_{yd} \quad (3.39)$$

$$z = d - (k_1 * x / 2) \quad z = d * [1 - (k_1 / 2) * (x / d)] \quad z = d * [1 - (k_1 / 2) * k_x] \quad (3.40)$$

$$z = d * k_z \quad z / d = k_z \quad k_z = 1 - (k_1 * k_x) / 2 \quad (3.41)$$

$$M_r = A_s * f_{yd} * k_z * d \text{ eşitliğin her iki tarafı } (b_w * d^2) \text{ ile bölünürse;} \quad (3.42)$$

$$M_r / (b_w * d^2) = A_s * f_{yd} * k_z * d / (b_w * d^2) \quad (3.43)$$

$$M_r / (b_w * d^2) = (A_s / b_w * d) * f_{yd} * k_z \quad (3.44)$$

$$M_r / (b_w * d^2) = (A_s / b_w * d) * f_{yd} * k_z \quad A_s / b_w * d = \rho \quad (3.45)$$

$$M_r / (b_w * d^2) = \rho * f_{yd} * k_z \quad (3.46)$$

$$(\rho * f_{yd} * k_z) = 1 / K \text{ olarak hesaplanır ve yerine yazılırsa;} \quad (3.47)$$

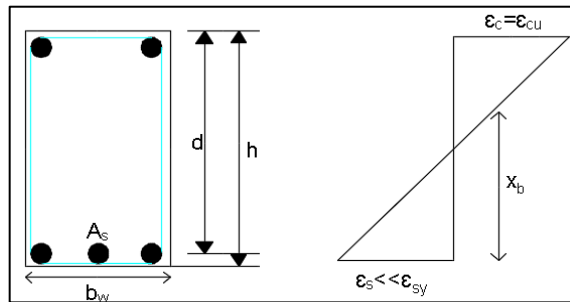
$$M_r / (b_w * d^2) = 1 / K \quad M_r = b_w * d^2 / K \quad (3.48)$$

Bağıntılarından biriyle hesaplanabilir. Betonarme hesaplar sonucunda $M_r > M_d$ olması durumunda kesit üzerine etki eden momenti dayanım yönünden sağlamıştır. Sağlamaması durumunda ise kesitin donatısını veya boyutlarını değiştirmek gerekmektedir.

3.3. Denge Üstü Donatılı Kirişlerde Basit Eğilme

Denge üstü donatılı kesitlerde, çekme bölgesindeki donatının birim uzama değeri (ϵ_s), akma birim uzama değerine henüz ulaşmamıştır. Fakat basınç bölgesindeki betonun birim kısalması son birim kısalma değerine ulaşmıştır. Bu tür davranış sergileyen donatı oranına sahip kirişlere denge üstü kirişler adı verilir. Bu tür kirişlerde kırılma ani ve gevrektrir. Bu yüzden Bu kesitlerin tasarlanmasına şartnameler gereği izin verilmez.

Şekil 3.5.'de denge üstü donatılı kirişteki birim şekil değiştirme dağılımı verilmiştir.



Şekil 3.5. Denge üstü donatılı kesitte oluşan birim şekil değiştirme dağılımı

3.4. Çift Donatılı Dikdörtgen Kesitlerde Basit Eğilme

Basit eğilme etkisindeki elemanların hem çekme hem de basınç bölgesinde asal donatı bulunabilir. Böyle kesitler çift donatılı dikdörtgen kesit olarak tanımlanır. Eğilme etkisindeki betonarme elemanlara çift donatı konulmasının kiriş davranışa etkileri aşağıda belirtilmiştir [28].

1. Kesitin taşıma gücü momentini arttırmaktadır.
2. Zamana bağlı sehimleri azaltmaktadır.
3. Elverişsiz yükleme durumlarında etkili olmaktadır.
4. Sünekliliği arttırmaktadır.
5. Donatı işçiliğini kolaylaştırmaktadır.

3.5. Çift Donatılı Dikdörtgen Kesitlerin Hesap ve Tasarımı

Betonarme kirişlerin hesap ve tasarımı yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı basınç bölgesine de asal basınç donatıları yerleştirilerek çift donatılı kesit olarak tasarlanabilir.

Çift donatılı kesitlerde, dış kuvvetten dolayı oluşan hesap momenti, kesitin istenilen durumu verebilecek şekil de taşıyacağı momentten büyük olması durumunda, kesitin basınç ve çekme bölgesine ilave edilen ek donatılarla karşılanır.

Çift donatılı kesit hesabında kesitin tek donatılı olarak taşıyabileceği moment hesaplanır ve hesap momenti ile arasındaki fark momenti, kesitin basınç ve çekme bölgesine yerleştirilecek şekilde ek donatılarla karşılanabilir.

3.6. Kirişlerde Kesme Kuvveti Etkisi

Dikdörtgen kesitli bir kirişte eksenel kuvvet ve eğilme momenti normal gerilmeler meydana getirirken, kesme kuvveti ve burulma momenti kayma gerilmelerini meydana getirir. Bundan dolayı kesme etkisi de bu bölümde ele alınmıştır. Daha önce kirişler için yaptığımız işlemlerin tümünde sadece eğilme momenti dikkate alınmıştır [28].

Kirişlerde yükleme durumlarına bağlı olarak kiriş boyunca kesme kuvvetinin değeri değişmekte ve bu durum tasarlanacak kiriş için tasarım kesme kuvvetinin hangi değeri alacağı sorusunu akıllara getirmektedir. Tasarım kesme kuvvetini dikkate almamız gereken kesitler yükleme durumu ve mesnetlenme koşuluna göre değişmektedir [28].

Kesme etkisi altındaki kirişin kırılma biçimi yüklemeye, yükün mesnet uzaklığına, kirişin derinliğine, beton basınç dayanımına, çekme ve kesme donatısının oranı ve konumlandırılmasına bağlı değişir. Kirişlerde kesme kuvvetini 2 farklı şekilde ele alabiliriz.

3.6.1. Kesme donatısız kirişler

Kiriş boyunca kesme donatısı bulunmayan kirişlere denir. Fakat bu tür bir kirişin tasarlanması yönetmelikler gereği mümkün değildir [28].

3.6.2. Kesme donatılı kirişler

Kirişte kesme donatıları olarak etriyeler, pilyeler ve döşemeden gelen donatılar olarak sınıflandırılabilir. Pilyelerin kesme dayanımı katkıları yönetmelik gereği ihmal edilir. Bu yüzden kesme donatısı olarak geriye etriyeler ve döşemeden gelen donatılar kalmaktadır. Kirişlere etriyeler genellikle düşey yerleştirilmekle birlikte bazen eğik olarak da yerleştirilebilir. TS500 ve Deprem yönetmeliklerinde kiriş uzunluğu boyunca belli aralıklarla enine donatı bulundurulması şarttır [28].

BÖLÜM 4. DENEYSEL VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

4.1. Deneyin Tanıtımı

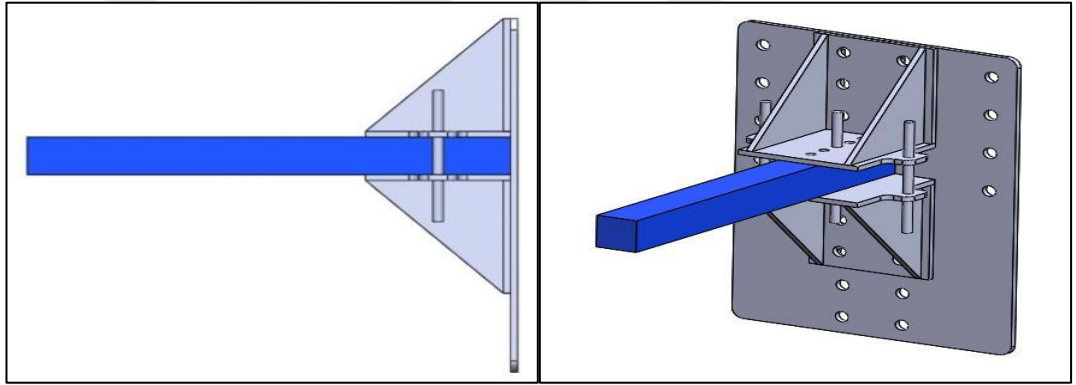
Eğilme davranışı için değişik parametrelerle tasarlanan 32 adet betonarme konsol kirişe aynı bölgede uygulanan artan yük etkisi altında, katkı maddesinin de etkisiyle betonarme konsol kirişin davranış durumu test edilecektir. Deney elemanlarının üretiminde kesit, mesnet genişliği, basınç donatısı, paspayı, etriye adım mesafesi aynı olup, denge altı ve denge üstü donatı olması durumu, kanca açısı ve beton içeriğine eklenen katkı maddelerin oranı değişken kabul edilerek üretilmiştir.

Deney malzemelerinden kalıp ve donatıların imalatı şantiye ortamında yapılacaktır. Kirişler denge altı durum olan 16 adet 12 mm çaplı donatılı ve denge üstü durum olan 16 adet 16 mm donatılı şekilde ayrı ayrı imal edilecek olup konsol kirişlere %10-%20-%40 oranında demir tozu ilave edilecek ve dayanım kazanması sağlanacaktır. Hazırlanan numunelere 28 gün boyunca kür işlemi laboratuvar ortamında uygulanacaktır. Karar verilen konsol kiriş eğilme deneyi için en verimli sonuçları alabilmek adına deney düzeneğinin ankastre mesnet olarak çalışması amaçlanmıştır. Bu kirişlerin her birinde etriye kanca açısının 90 derece veya 135 derece olması durumları için, denge altı ve denge üstü olarak ayrı ayrı tasarlanacak betonarme konsol kirişin yapısal davranışını nasıl etkilediği deneysel olarak incelenecektir.. Bu kapsamda; üretilecek olan 32 adet betonarme konsol kiriş elemanları 40 cm uzunluğunda olup, söz konusu betonarme konsol kirişlerin en kesit boyutları 15 cm x 20 cm olarak tasarlanmıştır.

4.2. Deney Düzeneği

Deneyler Sakarya Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilecektir. Eğilme etkisini deney elemanına uygulayabilmek için laboratuvarda özel bir düzenek

imal edilmiştir. Deney düzeneği 3 ana parçadan oluşmaktadır. 1.parça kurulacak deney düzeneğinin ana çerçeveye sabitlenmesi amacıyla oluşturulan bir levhadır. Bu levha boyunca aşağıdaki Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi 10 cm'lik aralıklar ile 20 mm çapında deliklerle bulon sistemi ile ana çerçeveye sabitlenmiştir. 2. ve 3. parçalar ana çerçeveye monte edilen levha üzerine sabitlenerek oluşturulacak konsol kiriş için alt ve üstten sıkıştırma yaparak ankastre mesnet görevini görecekler. Aynı zamanda 2. ve 3. parça üzerinde açılan 5 cm aralıklarla 20 mm çapındaki delikler ile numune üzerinde açılan 20 mm çapındaki delik ankastre mesnet bölgesinde bulunan bulonlu sistem ile deney numuneleri 2. ve 3. parçanın arasına yerleştirilerek sabitleme işlemi de yapılacaktır. Sabitlenen levhalar üzerindeki delikler kullanılacak numunelerde boyutta çeşitliliği sağlayacaktır. Deney düzeneğinin tasarıma esas modellenmiş hali ise Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Tasarıma esas kiriş-düzenek modellenmesi

Oluşturulan deney düzeneğine ait resimler Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Deney düzeneğine ait görseller

4.3. Deney Malzemelerinin Hazırlanması ve Temini

4.3.1. Demir tozu katkılı beton

Beton agrega, çimento ve suyun kimyasal katkı maddesi de ilave ederek homojen olarak karıştırılmasıyla oluşan başlangıçta sulu kıvamda olup zamanla katılaşp sertleşerek mukavemet kazanan yapı malzemesidir. Betonarme yapı elemanında beton sınırlı bir şekilde çekme gerilmelerine karşı koysa da asıl kullanılma amacı basınç gerilmelerini karşılamasıdır.

Bu kapsamda deney malzemesi olarak kullanılacak beton, Sakarya Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında elle üretilmiştir. Beton sınıfı C25/30 olarak elde edilmesi amaçlanmıştır. 1 m³ beton üretimi için gerekli olan malzemeler Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Kullanılan malzeme ve miktarları

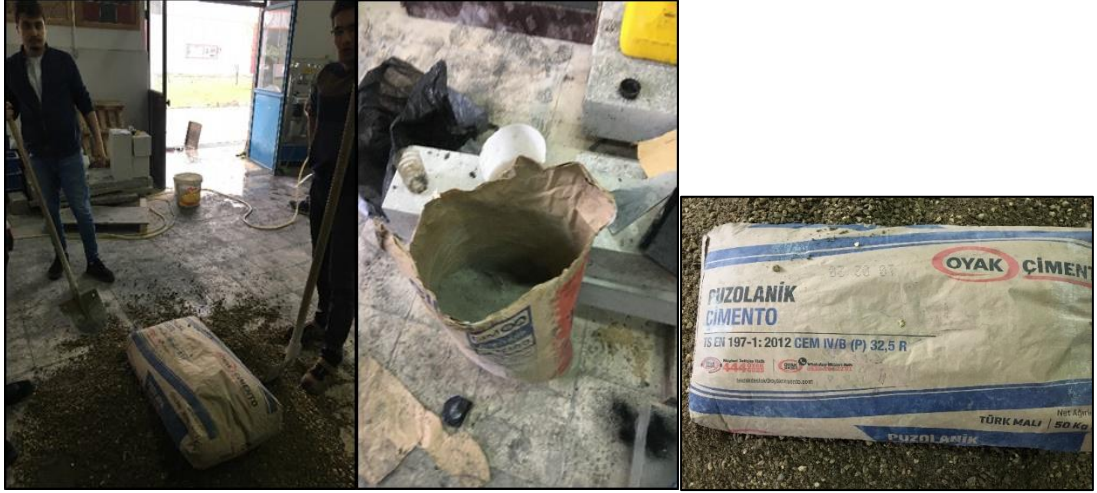
Kullanılan Malzeme	Miktar
Çimento	380 kg (32.5 R)
Kum	820 kg
2 numaralı mıcır	1012 kg
Su	190 kg
Akışkanlaştırıcı	7,20 kg

Yukarıda betonu tanımlayan 3 bileşenden birinin agrega olduğunu belirtilmiştir. Agregayı oluşturan yapı bileşenleri de kum ve mıcırdan oluşmaktadır.

4.3.1.1. Çimento

Çimento Kanber Nalburiye'den temin edilmiştir. Çimento Oyak firmasına ait olup çimento içerisinde bulunan serbest kirecin puzolan içindeki alüminyumla birleşmesi sonucunda daha dayanıklı bir beton oluşmasına neden olması sebebiyle puzolanik CEM 4/B 32.5 R çimento tercih edilmiştir.

Şekil 4.3.' de çimento ile ilgili görseller verilmiştir.



Şekil 4.3. Kullanılan çimento ile ilgili görseller

4.3.1.2. Kum

Kum Sezerler Betondan temin edilmiştir. TSE ve ISO 9001 standartlarına uygundur. Kum ile ilgili görseller Şekil 4.4.'de belirtilmiştir.



Şekil 4.4. Kullanılan kum ile ilgili görseller

4.3.1.3. Mıcır

Kirişlerin boyutu, donatılar arası mesafe ve paspayı göz önüne alındığında betonun kirişe daha iyi entegre olması ve beton içerisindeki agreganın ayrışmaması için deneylerde 2 numaralı mıcır kullanılmıştır. 12 ile 22 mm arasında değişen boyutlara sahip malzemeleri 2 numara mıcır olarak tanımlamaktayız. Mıcırdaki yine Sezerler Beton firmasından temin edilmiştir. Mıcıra ait görseller Şekil 4.5.'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Kullanılan mıcır ile ilgili görseller

4.3.1.4. Su

Betonun kıvamını ayarlamak adına gerekli düzeyde su kullanılmıştır.

4.3.1.5. Demir tozu

Beton içerisinde kullanılacak katkı maddesi demir tozunun temini demir bileme fabrikasından yapılmıştır. Bu fabrikada demir tozu maddesi atık niteliği taşımakta ve

kullanılmamak üzere depolanmaktadır. Kullanılan demir tozu oranları geniş literatür çalışmasında bulunmuştur. Demir tozunun toplandığı makine ve demir tozu ile ilgili görseller Şekil 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Demir tozu toplanma makinesi ve demir tozu ile ilgili görseller

4.3.1.6. Akışkanlaştırıcı

Betonun kıvamını dengelemek amacıyla kullanılmıştır. Sezerler beton firmasından alınmıştır. Beton numunesi oluşturulurken az miktarda akışkanlaştırıcı su ile karıştırılmak suretiyle beton içerisine katılmıştır. Akışkanlaştırıcı ile ilgili görseller Şekil 4.7.'de belirtilmiştir.



Şekil 4.7. Akışkanlaştırıcı ile ilgili görseller

4.3.2. Donatının hazırlanması

Betonarme bir yapı elamanında çekme gerilmelerini karşılaması amacıyla konur. Donatı adet ve çapı hesaplanırken dengeli donatı alanına göre hesaplamalar yapılmıştır.

Dengeli donatı oranı;

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 17}{365} 0,85 \left(\frac{0,003 \times 2 \times 10^5}{0,003 \times 2 \times 10^5 + 365} \right) = 0,0209 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Denge altı donatı olarak 4 adet 12 mm çapında donatı kullanılmıştır.

Denge altı donatı oranı;

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{\frac{\pi \times 12^2}{4} \times 4}{150 \times 180} = 0,01676 \text{ olarak bulunmuş ve gerekli şartı sağlamıştır.}$$

Denge üstü donatı olarak 4 adet 16 mm çapında donatı kullanılmıştır

Denge üstü donatı oranı;

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{\frac{\pi \times 16^2}{4} \times 4}{150 \times 180} = 0,02979$$

olarak elde edilmiş ve gerekli oranı sağlamıştır.

Konsol kirişte kolon kısmında 32 adet 14 mm'lik boyuna donatı kullanılmıştır. Kolon kısmında 3 adet, kiriş kısmında ise 5 adet etriye yapılmıştır. Yapılan etriyeler bağ demiri ile bağlanmış ve kiriş donatıları hazırlanmıştır.

Numunelerde S420 nervürlü çelik kullanılmıştır. Donatılar şantiye ortamında yapılması sağlanmış ve laboratuvara getirilmiştir. Tablo 4.2.' de kullanılan donatı ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Tablo 4.2. Kullanılan donatı ile ilgili bilgiler

Kullanılan Malzeme	S420
Alt Donatı	Ø12
Üst Donatı	Ø12 ve Ø16
Kolon Donatısı	Ø14
Etriye Çapı	Ø8
Etriye Kanca Açısı	90° ve 135°
Etriye Adım Mesafesi	10 cm

Donatıların imalatı ile ilgili görseller Şekil 4.8.'de verilmiştir.

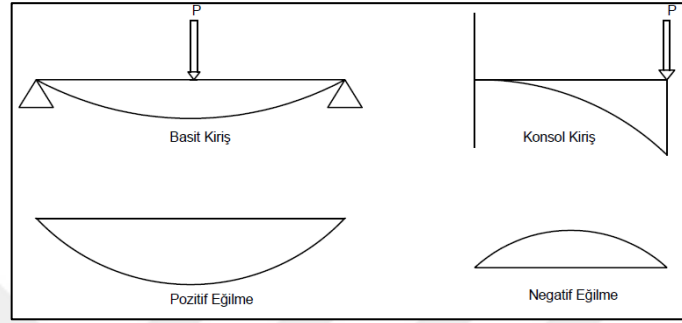


Şekil 4.8. Donatı imalatı

Konsol elemanlar basit kirişlerin aksine ankastre bağlandıkları için sadece uç kısmından dönme hareketine maruz kalacaklardır. Buda konsol kirişin, negatif moment etkisinde çalışmasını sağlayacak ve konsol kirişlerde donatı yerleşimi basit

kirişin tersi şeklinde oluşacaktır. Bu kapsamda konsol kirişte çekme bölgesi üst kısımda, basınç bölgesi alt kısımda meydana gelecektir.

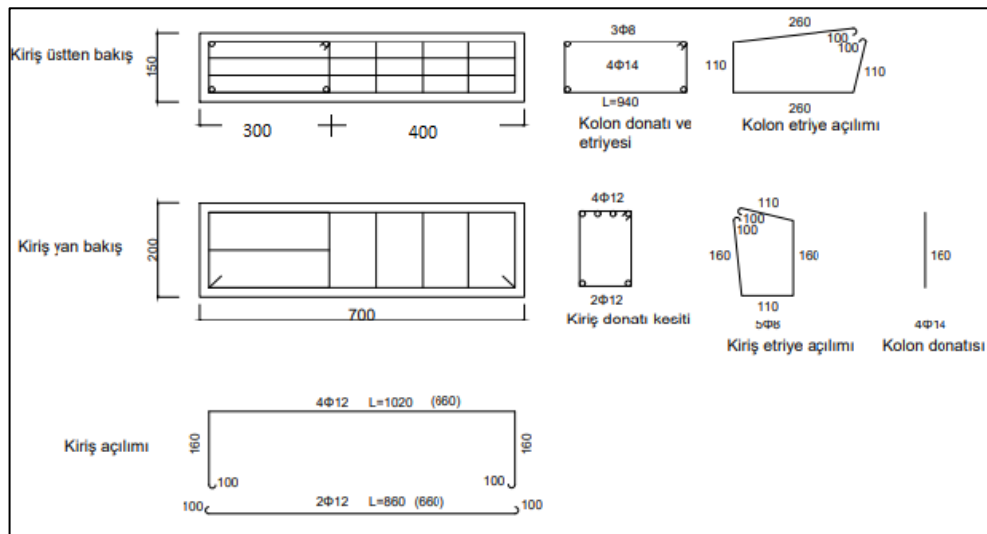
Şekil 4.9.'da P yükü etkisi altındaki kiriş ve konsol kirişin eğilme durumları verilmiştir.



Şekil 4.9. Kirişlerin eğilme durumları

Şekil 4.9.'da görüleceği üzere konsol kirişler negatif moment etkisi altında olduklarından konsol kirişlerde çekme donatısı kirişin üst kısmında yer almalıdır. Montaj donatıları ise konsol kirişin alt kısmında yer almalıdır. Bütün kirişler buna bağlı olarak tasarlanmış ve Şekil 4.8.'de görüldüğü gibi imal edilmiştir.

Konsol kirişlere ait denge altı donatıya ait tasarıma esas modelleme Şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Denge altı duruma ait konsol kiriş donatı tasarımı

4.3.2.1. Gerinim pulları (Gerinim ölçer)

Donatıda oluşan birim uzamaları ölçmek için kullanılır. Gerinim pullarının temini Ankara’da bulunan özel bir firmadan yapılmıştır. Bu pullar deney numunelerinin üst kısmında bulunan donatılara yapıştırılmıştır. (çekme bölgesi donatısı).

Strain gauge ile ilgili görseller Şekil 4.11.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Strain Gauge

4.3.3. Kalıpların hazırlanması

Tasarlanan 32 adet konsol kirişe, her kalıba ikişer kiriş yerleştirilecek şekilde kalıp tasarımı yapılmış, 150*200*1400 mm boyutlarında kalıplara üretilmiştir.

Üretilen kalıplara ait görseller Şekil 4.12.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Oluşturulan kalıplar

4.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deney numuneleri betonumuzun elle üretilmesi sebebiyle kademeli olarak üretilmiştir. Deney numunelerinin hazırlanması kısmı aşamalı olarak alt başlıklar altında aşağıda anlatılmıştır.

4.4.1. Gerinim pullarının donatılara bağlanması

Gerinim pullarının donatıya tam anlamıyla yapışması için en az bir gün bekletilmesi gerektiğinden öncelik strain gaugelerin donatılara sabitlenmesi olmuştur.

Bununla ilgili gerekli görseller Şekil 4.13.'de verilmiştir.



Şekil 4.13. Gerinim pullarının ilgili donatılara yapıştırılması

4.4.2. Betonun hazırlanması

Beton hazırlanırken kirişlerin boyutları göz önüne alarak üretim yapılmıştır. Her bir 15*20*140 cm'lik kalıp için beton mikserinde beton üretilmiştir. Hazırlanan beton ile ilgili aralıklı olarak silindir numuneler alınmıştır.

Şekil 4.14.'de gerekli demir tozunun terazi yardımıyla hesaplanması ile ilgili görsel verilmiştir. Demir tozu hesaplanırken beton içerisine koyulan çimento ağırlığının %10,%20 ve %40'ı kadar demir tozu hesaplanmış ve beton içerisine eklenmiştir.



Şekil 4.14. Demir tozunun hazırlanması

Beton üretimi laboratuvarında bulunan beton mikseri yardımıyla yapılmıştır. Bu mikserin iç hacmi 51 dm^3 tür. Kalıp içerisine dökülecek beton miktarı 21 dm^3 olarak hesaplanmış ve malzemeler bu oranda eklenerek beton mikserine koyulmuştur.

Bununla ilgili görseller Şekil 4.15.'de verilmiştir.



Şekil 4.15. Malzemeleri beton mikserine koyulması

Şekil 4.16.'da son olarak karıştırma sırasında 150 gr olarak hesaplanan akışkanlaştırıcı ve 4 kg su beton içerisine eklenmiştir.



Şekil 4.16. Beton mikserindeki betonun karıştırılma esnasındaki görüntüsü

4.4.3. Donatıların kalıplara yerleştirilmesi

Şantiyede üretilen ve tasarımı başlık 4.3.3'e göre yapılan donatılara, kalıplara yerleştirilmeden önce 2 cm boyutunda paspayı takılmış ve kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirilen donatı ile ilgili görseller Şekil 4.17.'de verilmiştir.



Şekil 4.17. Donatıların kalıplara yerleştirilmesi ve paspaylarının konulması

4.4.4. Betonun kalıplara dökülmesi

Betonlar kalıplara dökülürken pürüzsüz bir yüzey elde etmek ve beton bileşenlerinin istenildiği kadar çökmesi ve homojen dağılması amacıyla şişleme ve mastarlama işlemleri özenle yapıldı. Kalıplara iki kiriş birden döküldüğü için kirişleri birbirinden ayırmak için 1 cm' lik strafor koyuldu.

Şekil 4.18.'de betonun kalıplara yerleştirilme işlemi verilmiştir.

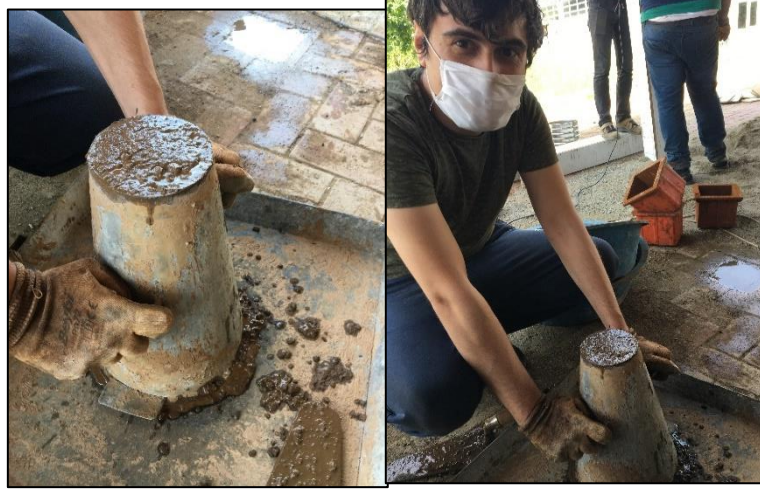


Şekil 4.18. Betonun kalıplara yerleştirilme işlemi

4.4.5. Betondan silindir numune alınması

Beton üretimi yapılırken betonların eşit ve homojen olarak kırıslara girebilmesi ve elde edilecek sonuçların beton açısından benzeşmesi adına her 4 kırışte yani iki kalıpta bir betondan 2 adet silindir numune alınmıştır. Silindir numuneler alınırken TS EN 206 beton numune alma prosedürlerine uygun olarak hareket edilmiş gerekli işlemler mevzuatlara göre yapılmıştır.

Bu işlem ile ilgili görseller Şekil 4.19.'da verilmiştir.



Şekil 4.19. Slump deneyi

4.4.6. Kirişlerin dayanımının sağlanması ve silindir numunelerin kürlenmesi

Konsol kirişlerin beton dökümü tamamlandıktan 3 gün sonra kirişler kalıplardan çıkarılmıştır. Aynı zamanda silindir numunelerde kürlenmesi amacıyla kür havuzuna konulmuş bunlardan her 4 kirişten alınan 2 adet silindir numunesinin bir tanesi 7 günlükken kür havuzundan çıkarılmıştır. Diğer numuneler kür havuzunda kalmaya devam etmiş ve tüm kirişler 28 gün dayanım kazanması için bekletilmiştir.

İlgili görseller Şekil 4.20.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Numunelerin sulanması ve kür havuzuna konulması

4.4.7. Silindir numunelerin kırma hazır hale getirilmesi

Silindir numuneler kür havuzundan çıkartıldıktan sonra kırma hazır hale getirmek, basınç deneyinin düz taban üzerine yapılmasını sağlamak ve verilerin daha sağlıklı elde edilmesini sağlamak amacıyla kükürt başlık denilen bir işlem gerçekleştirilmiştir. Kükürt eritme potasında eritilmiş ve silindir numunelerinin uç kısımları batırılmıştır.

Yapılan bu işlem ile ilgili görseller Şekil 4.21.' de verilmiştir.



Şekil 4.21. Kükürt başlık işlemi

BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARININ ELDE EDİLMESİ

5.1. Kirişlerin İsimlendirilmesi

Kirişler beton dökülmeden ve deneye sistemine yerleştirilmeden önce isimlendirilmiştir. İsimlendirme yapılmasının nedeni kirişlerin farklı özelliklere sahip olması ve kırımların karışıklık olmadan doğru veriler elde edilerek yapılmasından kaynaklanmaktadır.

Kirişlere isimlendirme yapılırken donatılarının denge altı ve denge üstü olması, etriye adım mesafesi, kanca açısı, katkı maddesi yüzdesi göz önünde bulundurulmuştur.

İsimlendirme yapılma aşamaları aşağıda maddeler halinde sunulmuş ve örneklendirmesi yapılmıştır.

1. Aynı özelliklere sahip iki kiriş isimlendirilirken denge altı donatılı olması durumunda A_1 ve A_2 , denge üstü donatılı olması durumunda ise B_1 ve B_2 şeklinde ifade edilmiştir.
2. Etriye adım mesafesi sabit ve 10 cm olduğundan isimlendirmede direk '10' ifadesi kullanılmıştır.
3. Kanca açısı 90 derece olan numuneler 'a' harfi ile 135 derece olan numuneler ise 'b' harfi ile gösterilmiştir.
4. Kiriş içinde katkı maddesi bulunmayan '1' sayısı ile ifade edilirken, demir tozu katkı maddesi bulunan numuneler ise '2' sayısı ile ifade edilmiştir.
5. Katkı maddesi yüzdesine göre isimlendirme yapılırken katkı maddesi olmayan yani %0 olan numuneler 'w' ifadesi, %10 olan numuneler için 'x' ifadesi, %20 olan

numuneler için ‘y’ ifadesi ve son olarak katkı madde yüzdesi %40 olan numuneler için ‘z’ ifadesi kullanılmıştır.

6. Deney sonuçları elde edilirken verilerin ortalaması alınmış ve bunlar isimlendirilmesi yapılırken A_1 ve A_2 ifadeleri ‘A’ şeklinde, B_1 ve B_2 ifadeleri ‘B’ şeklinde ifade edilmiştir.

Denge altı donatılı kirişlerin isimlendirmesi Tablo 5.1.’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Denge altı donatılı kirişlerin isimlendirilmesi				
Denge Altı Donatılı (A_1 ve A_2)				
Etriye Adım Mesafesi	Kanca Açısı	Katkı Maddesi	Katkı Maddesi Yüzdesi	Numune Adı
10	90 (a)	Yok	0%	A_1 -10-a-1-w
		(1)	(w)	A_2 -10-a-1-w
		Demir Tozu (2)	10%	A_1 -10-a-2-x
			(x)	A_2 -10-a-2-x
			20%	A_1 -10-a-2-y
			(y)	A_2 -10-a-2-y
			40%	A_1 -10-a-2-z
			(z)	A_2 -10-a-2-z
	135 (b)	Yok	0%	A_1 -10-b-1-w
		(1)	(w)	A_2 -10-b-1-w
		Demir Tozu (2)	10%	A_1 -10-b-2-x
			(x)	A_2 -10-b-2-x
			20%	A_1 -10-b-2-y
			(y)	A_2 -10-b-2-y
			40%	A_1 -10-b-2-z
			(z)	A_2 -10-b-2-z

Denge üstü donatılı kirişlerin isimlendirilme durumları Tablo 5.2.’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Denge üstü donatılı kirişlerin isimlendirilmesi				
Denge Üstü Donatılı (B_1 ve B_2)				
Etriye Adım Mesafesi	Kanca Açısı	Katkı Maddesi	Katkı Maddesi Yüzdesi	Numune Adı
10	90 (a)	Yok	0%	B_1 -10-a-1-w
		(1)	(w)	B_2 -10-a-1-w
		Demir Tozu (2)	10%	B_1 -10-a-2-x
			(x)	B_2 -10-a-2-x
			20%	B_1 -10-a-2-y
			(y)	B_2 -10-a-2-y
			40%	B_1 -10-a-2-z
			(z)	B_2 -10-a-2-z
	135	Yok	0%	B_1 -10-b-1-w

(b)	(1)	(w)	B ₂ -10-b-1-w
		10%	B ₁ -10-b-2-x
		(x)	B ₂ -10-b-2-x
	Demir Tozu	20%	B ₁ -10-b-2-y
	(2)	(y)	B ₂ -10-b-2-y
		40%	B ₁ -10-b-2-z
		(z)	B ₂ -10-b-2-z

5.2. Slump (Çökme) Deneyi Sonuçları

Daha önce bölüm 4.4.5’de belirtildiği gibi beton mikserin de uygun koşul ve şartta gerçekleştirilen beton üretme işlemi sırasında silindir numuneler alınmış ve çökme deneyine tabii tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar metre yardımıyla ölçülmüş ve not alınmıştır.

Ölçme işlemi ile ilgili görsel Şekil 5.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Çökme deneyinin sonuçlarının alınması

Çökme deneyi sonucunda elde edilen veriler Tablo 5.3.’de gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Slump sonuçları		
Katkı yüzdesi	Çökme Derinliği (cm)	Kıvam Sınıfı

Katkısız	22	S5
%10 Demir tozu katkılı	21.7	S5
%20 Demir tozu katkılı	19	S4
%40 Demir tozu katkılı	18,7	S4

5.3. Numunelik Donatıların Çekme Sonuçları

Kirişlerin şantiye ortamında üretimi yapılmadan önce çekme deneyine tabii tutulmuş sonuçların uygun olduğu görülmüş ve kiriş donatılarının üretilmesi sağlanmıştır.

Numunelerin testlerinin yapılırken TS708, TS EN ISO 15360-1 ve TS EN ISO 6892-1 standartlarının baz alınmıştır. Kirişler Bayraktar laboratuvarında çekilmiş ve sonuçlar alınmıştır.

Çekme deneyinde kullanılan numunelik donatılar ve çekme deneyi sırasındaki görseller Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Numunelik donatıların çekme deneyi işlemi

Çekme deneyinden elde edilen sonuçlar çaplar halinde Tablo 5.4.'de verilmiştir.

Tablo 5.4. Çekme deneyi sonuçları					
Donatı	Kesit	Akma	Çekme	Çekme/Akma	Uzama
Çapı	Alanı(mm ²)	Dayanımı(N/mm ²)	Dayanımı(N/mm ²)		Miktarı(mm)
Ø8	50.24	478.68	601.11	1.26	16.55
Ø12	113.04	452.13	595.36	1.32	21.99
Ø14	153.90	434.27	560.18	1.29	23.56
Ø16	200.96	447.30	563.30	1.26	25.68

5.4. Silindir Numunelerinin Basınç Deneyi Sonuçları

Beton üretimi sırasında alınan silindir numuneler 28 günlük dayanımlarını sağlaması ile birlikte basınç deneylerine tabii tutulmuştur.

Basınç deneyi düzeneğine yerleştirilen potansiyometre ile yer değiştirmeler hesaplanmıştır. Basınç deneyi sonucu elde edilen gerilme-şekil değiştirme sonuçlarıyla beton numunelerin elastisite modülü hesaplanmıştır.

Basınç deneyi sırasında elde edilen görseller Şekil 5.3.' de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Basınç deneyi ile ilgili görseller

Basma deneyi ile ilgili veriler Tablo 5.5.'de verilmiştir.

Tablo 5.5. Basınç deneyi sonuçları			
Silindir Numune Özelliği	Gerilme (mpa)	Birim Şekil Değiştirme	Elastisite Modülü (mpa)
Katkısız	25,7423432	0,00089122	28884,34625
Katkısız	24,54351	0,00087021	28204,20728
Katkısız	24,9876367	0,0008736	28603,15558
Katkısız	26,9856423	0,00092599	29142,40597

Katkısız	25,4315245	0,0008989	28291,95389
Katkısız	25,54326345	0,00089408	28569,32599
%10 Demir tozu katkılı	26,63235	0,00092416	28817,8995
%10 Demir tozu katkılı	25,29794	0,00086915	29106,4861
%10 Demir tozu katkılı	23,9636	0,000820201	29216,4541
%20 Demir tozu katkılı	24,16458	0,000835	28928,73476
%20 Demir tozu katkılı	23,49178	0,00083369	28165,14776
%20 Demir tozu katkılı	25,19606	0,00089548	28136,34183
%20 Demir tozu katkılı	26,636	0,0009495	28051,38912
%20 Demir tozu katkılı	25,7407	0,093636	28232,15153
%20 Demir tozu katkılı	23,74915	0,000841	28231,09446
%40 Demir tozu katkılı	27,5265	0,000892041	30857,8865
%40 Demir tozu katkılı	26,37316	0,00089874	29344,5935
%40 Demir tozu katkılı	25,21982	0,000915647	27543,1689

5.5. Kirişlerin Kırılması

Bölüm 4.2’de belirtilen ve detayları verilen deney düzeneği ile kirişlerin kırılması sağlanmıştır. Deney düzeneği %20 hızla kırılmış, kırılan kirişlerin çatlak oluşumu kırılma düzeyi ve kırılma şekilleri incelenmiştir. Deney düzeneğine birim yer-değiştirme grafiğini elde etmek için potansiyometre cihazı düzeneği takılmıştır.

Potansiyometre ile ilgili görsel Şekil 5.4.’de verilmiştir.



Şekil 5.4. Potansiyometre

Kirişler kırılma deneyine tabii tutulurken yükleme değerleri yer değiştirme değerleri TESTLAB BASİC programı yardımıyla elde edilmiştir.

Kirişlere ait deney düzeneğine yerleştirme ve kırılma işlemi ile ilgili görseller Şekil 5.5.' de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Kırılma işlemi başlamadan ve başladıktan sonraki durumlar

Deney sonucunda kirişlerin kırılma anındaki yük değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler tablolar halinde verilmiştir.

Katkısız olan kirişlere ait maksimum yük değerleri Tablo 5.6.' da verilmiştir.

Tablo 5.6. Katkı maddesi olmayan kirişlerin kırılma yük değerleri

Numune İsmi	Kırılma Yüğü (kgf)
A ₁ -10-a-1-w	8715,6161
A-10-a-1-w	8695,7976
A ₂ -10-a-1-w	8614,8531
A ₁ -10-b-1-w	9212,7564
A-10-b-1-w	9125,2878
A ₂ -10-b-1-w	9106,8654
B ₁ -10-a-1-w	10306,1397
B-10-a-1-w	10270,64
B ₂ -10-a-1-w	10186,7659
B ₁ -10-b-1-w	10954,8921
B-10-b-1-w	10796,526
B ₂ -10-b-1-w	10568,7145

İçerisinde %10 demir tozu katkısı bulunan kirişlerin maksimum yük değeri Tablo 5.7.'de verilmiştir.

Tablo 5.7. %10 demir tozu katkılı kirişlerin kırılma yük değerleri

Numune İsmi	Kırılma Yüğü (kgf)
A ₁ -10-a-2-x	7034,68
A-10-a-2-x	7152,88
A ₂ -10-a-2-x	7271,08
A ₁ -10-b-2-x	7124,62
A-10-b-2-x	7224,16
A ₂ -10-b-2-x	7323,70
B ₁ -10-a-2-x	7196,48
B-10-a-2-x	7357,96
B ₂ -10-a-2-x	7519,44
B ₁ -10-b-2-x	7336,48
B-10-b-2-x	7571,22
B ₂ -10-b-2-x	7805,96

İçerisinde %20 demir tozu bulunan kirişlerin maksimum yük değerleri Tablo 5.8.'de verilmiştir.

Tablo 5.8. %20 demir tozu katkılı kirişlerin kırılma yük değerleri

Numune İsmi	Kırılma Yüğü (kgf)
A ₁ -10-a-2-y	7253,654
A-10-a-2-y	7316,756
A ₂ -10-a-2-y	7411,287
A ₁ -10-b-2-y	7435,879
A-10-b-2-y	7492,676
A ₂ -10-b-2-y	7578,356
B ₁ -10-a-2-y	8298,476
B-10-a-2-y	8380,106
B ₂ -10-a-2-y	8428,364
B ₁ -10-b-2-y	8694,783
B-10-b-2-y	8722,390
B ₂ -10-b-2-y	8804,469

İçerisinde %40 demir tozu bulunan kirişlerin maksimum yük değerleri Tablo 5.9.'da verilmiştir.

Tablo 5.9. %40 demir tozu katkılı kirişlerin kırılma yük değerleri

Numune İsmi	Kırılma Yüğü (kgf)
-------------	--------------------

A ₁ -10-a-2-z	7462,56
A-10-a-2-z	7632,48
A ₂ -10-a-2-z	7802,40
A ₁ -10-b-2-z	7698,32
A-10-b-2-z	7859,57
A ₂ -10-b-2-z	8020,82
B ₁ -10-a-2-z	8216,37
B-10-a-2-z	8434,78
B ₂ -10-a-2-z	8653,19
B ₁ -10-b-2-z	9112,83
B-10-b-2-z	9165,22
B ₂ -10-b-2-z	9217,61

5.5.1. Çatlak tespiti

Konsol kirişlerin yükleme deneyinde kırılmalarının sonucunda kirişlerde oluşan çatlak şekilleri, yerleri ve büyüklükleri tespit edilmek amacıyla çatlaklar üzerinde çizimler ve ölçümler yapılmıştır. Kirişlerde çatlaklar mesnete olan uzaklıkları baz alınarak ölçülmüştür.

Kirişlere ait çatlaklar ile ilgili görseller Şekil 5.6.'da verilmiştir.



Şekil 5.6. Çatlak tespiti ile ilgili görseller

Kirişlerin çatlak özellikleri ile ilgili ölçümler Tablo 5.10.'da verilmiştir.

Tablo 5.10. Kiriş çatlak özellikleri			
Numune İsmi	Çatlak Genişliği (mm)	Çatlak Boyu (cm)	Çatlak Yeri (cm)

A ₁ -10-a-1-w	3	15	4
A ₂ -10-a-1-w	3	14	3
A ₁ -10-b-1-w	2	14	3
A ₂ -10-b-1-w	3	13	2
B ₁ -10-a-1-w	2	12	3
B ₂ -10-a-1-w	3	13	2
B ₁ -10-b-1-w	1	11	0
B ₂ -10-b-1-w	2	11	1
A ₁ -10-a-2-y	2	15	-2
A ₂ -10-a-2-y	3	13	-2
A ₁ -10-b-2-y	1	11	4
A ₂ -10-b-2-y	2	13	2

Tablo 5.10. (Devamı)

Numune İsmi	Çatlak Genişliği (mm)	Çatlak Boyu (cm)	Çatlak Yeri (cm)
B ₁ -10-a-2-y	2	12	0
B ₂ -10-a-2-y	3	13	1
B ₁ -10-b-2-y	5	12	2
B ₂ -10-b-2-y	4	13	0
A ₁ -10-a-2-x	5	13	3
A ₂ -10-a-2-x	4	14	4
A ₁ -10-b-2-x	2	13	0
A ₂ -10-b-2-x	3	14	1
B ₁ -10-a-2-x	2	14	2
B ₂ -10-a-2-x	3	14	3
B ₁ -10-b-2-x	4	16	3
B ₂ -10-b-2-x	3	15	4
A ₁ -10-a-2-z	4	14	-4.5
A ₂ -10-a-2-z	3	13	-3.2
A ₁ -10-b-2-z	3	12	5
A ₂ -10-b-2-z	3	13	4
B ₁ -10-a-2-z	1	13	1
B ₂ -10-a-2-z	2	14	1
B ₁ -10-b-2-z	1	13	2
B ₂ -10-b-2-z	2	13	1

5.5.2. Süneklilik katsayısının elde edilmesi

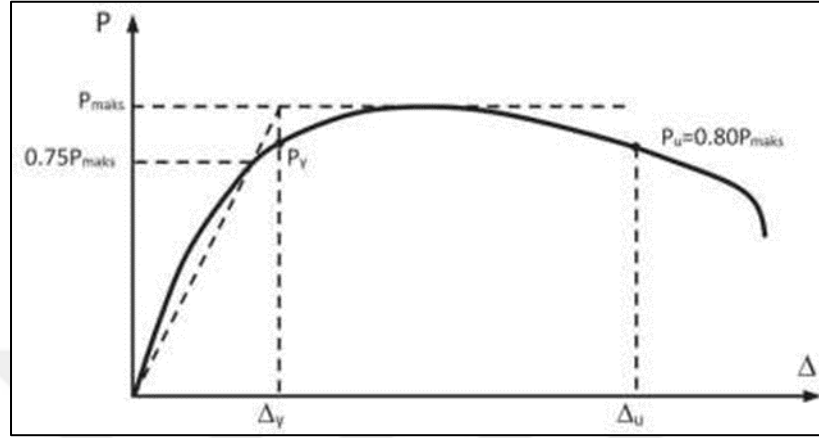
Konsol kirişlerde süneklilik hesabı yapılırken eleman bazında süneklilik hesabı referans alınmış ve hesaplanmıştır.

Eleman bazında süneklilik hesaplanırken kirişin akma halindeki yer değiştirmesi, grafikteki maksimum yükün %75'ine denk gelen yük değerinden ve grafik başlangıç noktasından geçen doğru ile grafiğin yer değiştirmesine paralel ve maksimum yük değerinden geçen doğrunun kesişim noktasındaki yer değiştirme değerleri bulunur [29].

Süneklilik katsayısı hesaplanırken kullanılacak olan maksimum yer değiştirme konsol kirişlerin taşıyabildiği maksimum yük değerinin maksimum %20 azalmasıyla oluşan yer değiştirme değerine kadar alınabilir [29].

Tezde bu oran %15 olarak alınmış hesaplamalar bu şekilde yapılmıştır.

Şekil 5.7.' de eleman bazında süneklilik hesaplanırken kullanılacak olan grafiksel eğri verilmiştir.



Şekil 5.7. Süneklilik grafiği [29]

Hesap sonucunda oluşan süneklilik değerleri katkı durumlarına göre tablolar halinde verilmiştir.

Katkısız olan kirişlere ait süneklilik katsayısı değerleri Tablo 5.11.'de verilmiştir.

Tablo 5.11. Katkısız kirişlere ait süneklilik değerleri

Numune İsmi	Süneklilik Katsayısı
A ₁ -10-a-1-w	1,45795
A-10-a-1-w	1,45408
A ₂ -10-a-1-w	1,45106
A ₁ -10-b-1-w	1,50369
A-10-b-1-w	1,50059
A ₂ -10-b-1-w	1,49947
B ₁ -10-a-1-w	1,32754
B-10-a-1-w	1,32338
B ₂ -10-a-1-w	1,32064
B ₁ -10-b-1-w	1,42187
B-10-b-1-w	1,41949
B ₂ -10-b-1-w	1,41315

İçerisinde %10 demir tozu katkısı bulunan kirişlerin süneklilik değerleri Tablo 5.12.'de verilmiştir.

Tablo 5.12. %10 katkılı kirişlere ait süneklilik değerleri

Numune İsmi	Süneklilik Katsayısı
A ₁ -10-a-2-x	1,52789
A-10-a-2-x	1,55321
A ₂ -10-a-2-x	1,57853
A ₁ -10-b-2-x	1,54652
A-10-b-2-x	1,57472
A ₂ -10-b-2-x	1,60292
B ₁ -10-a-2-x	1,39456
B-10-a-2-x	1,42000
B ₂ -10-a-2-x	1,44544
B ₁ -10-b-2-x	1,42652
B-10-b-2-x	1,44204
B ₂ -10-b-2-x	1,45756

İçerisinde %20 demir tozu bulunan kirişlerin süneklilik değerleri Tablo 5.13.'de verilmiştir.

Tablo 5.13. %20 katkılı kirişlere ait süneklilik değerleri

Numune İsmi	Süneklilik Katsayısı
A ₁ -10-a-2-y	1,69782
A-10-a-2-y	1,70810
A ₂ -10-a-2-y	1,71658
A ₁ -10-b-2-y	1,77074
A-10-b-2-y	1,77361
A ₂ -10-b-2-y	1,77816
B ₁ -10-a-2-y	1,48467
B-10-a-2-y	1,48869
B ₂ -10-a-2-y	1,49014
B ₁ -10-b-2-y	1,60125
B-10-b-2-y	1,60425
B ₂ -10-b-2-y	1,60627

İçerisinde %40 demir tozu bulunan kirişlerin süneklilik değerleri Tablo 5.14.'de verilmiştir.

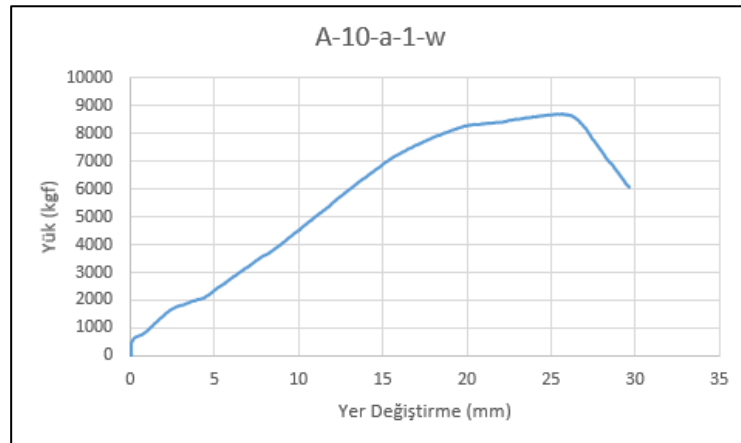
Tablo 5.14. %40 katkılı kirişlere ait süneklilik değerleri

Numune İsmi	Süneklilik Katsayısı
A ₁ -10-a-2-z	1,60347
A-10-a-2-z	1,62322
A ₂ -10-a-2-z	1,64297
A ₁ -10-b-2-z	1,63092
A-10-b-2-z	1,65006
A ₂ -10-b-2-z	1,66920
B ₁ -10-a-2-z	1,42896
B-10-a-2-z	1,45475
B ₂ -10-a-2-z	1,48054
B ₁ -10-b-2-z	1,44364
B-10-b-2-z	1,46732
B ₂ -10-b-2-z	1,49100

5.5.3. Yük-Yer değiştirme grafiklerinin elde edilmesi

Kirişlere ait yük değerleri Bölüm 5.5'de verilmiştir. Bu yük değerlerine ait yer değiştirmeler deney sonucunda elde edilmiş ve yük-yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir.

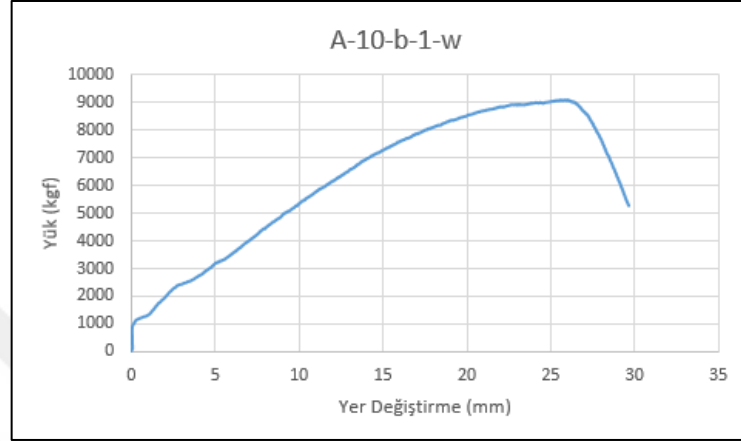
Şekil 5.8.'de A-10-a-1-w numunesine ait Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.8. A-10-a-1-w numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

A-10-a-1-w numunesi maksimum 8695,7976 kgf değerine ulaştığı anda 25,6847 mm yer değiştirmiştir.

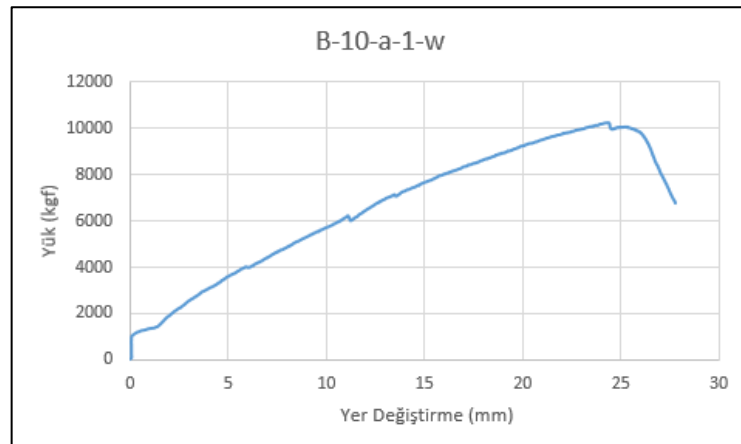
Şekil 5.9.'da A-10-b-1-w numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.9. A-10-b-1-w numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

A-10-b-1-w numunesi maksimum 9125,2878 kgf değerine ulaştığı anda 25,5643 mm yer değiştirmiştir.

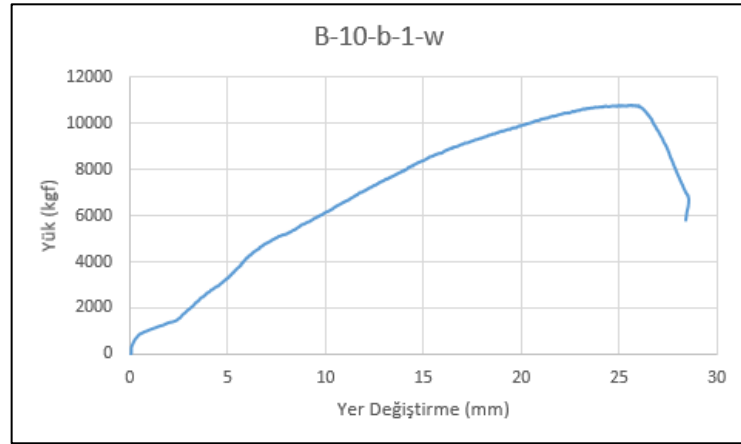
Şekil 5.10.'da B-10-a-1-w numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.10. B-10-a-1-w numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

B-10-a-1-w numunesi maksimum 10270,64 kgf değerine ulaştığı anda 24,3617 mm yer değiştirmiştir.

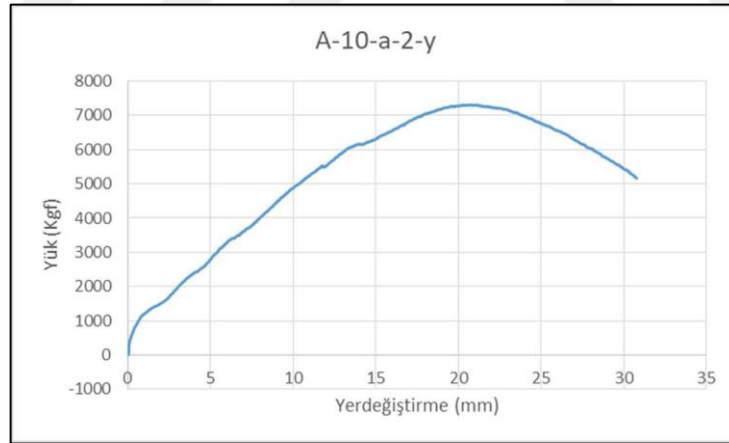
Şekil 5.11.'de B-10-b-1-w numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.11. B-10-b-1-w numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

B-10-b-1-w numunesi maksimum 10796,526 kgf değerine ulaştığı anda 25,5726 mm yer değiştirmiştir.

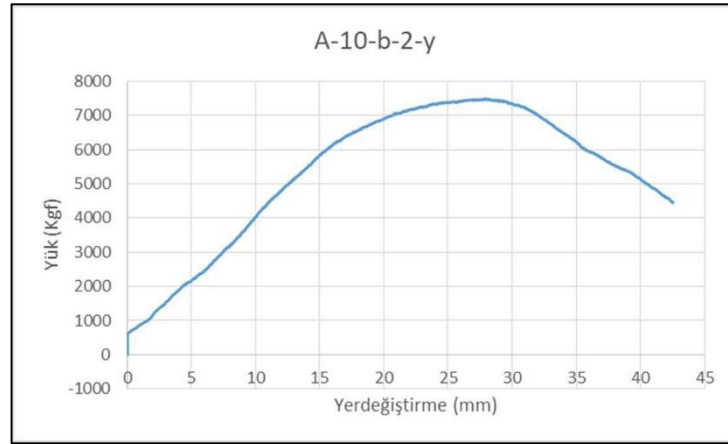
Şekil 5.12.'de A-10-a-2-y numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.12. A-10-a-2-y numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

A-10-a-2-y numunesi maksimum 7316,756 kgf değerine ulaştığı 21,0971 mm yer değiştirmiştir.

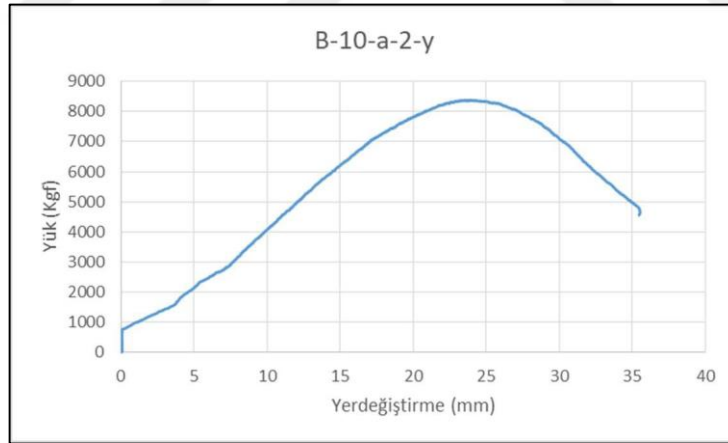
Şekil 5.13.'de A-10-b-2-y numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.13. A-10-b-2-y numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

A-10-b-2-y numunesi maksimum 7492,676 kgf değerine ulaştığı anda 27,8374 mm yer değiştirmiştir.

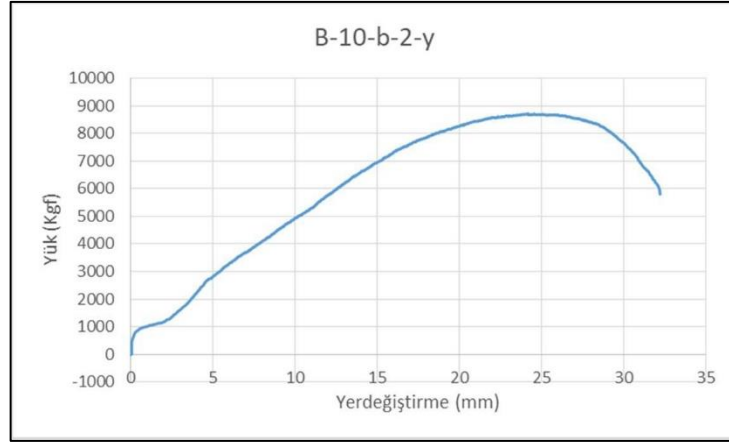
Şekil 5.14.'de B-10-a-2-y numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.14. B-10-a-2-y numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

B-10-a-2-y numunesi maksimum 8380,106 kgf değerine ulaştığı anda 23,5216 mm yer değiştirmiştir.

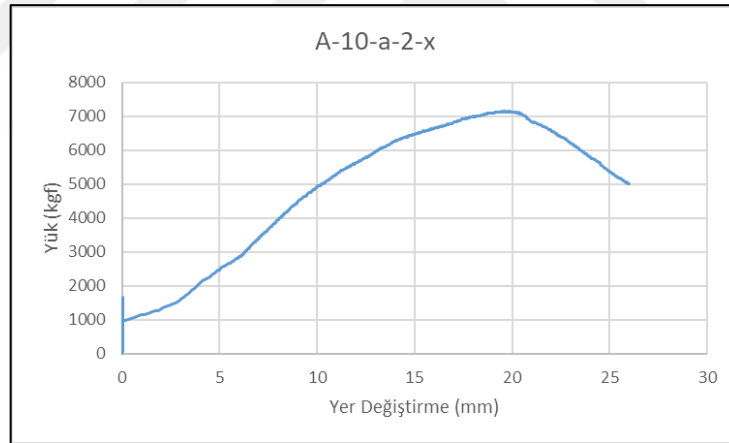
Şekil 5.15.'de B-10-b-2-y numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.15. B-10-b-2-y numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

B-10-b-2-y numunesi maksimum 8722,39 kgf değerine ulaştığı anda 24,1657 mm yer değiştirmiştir.

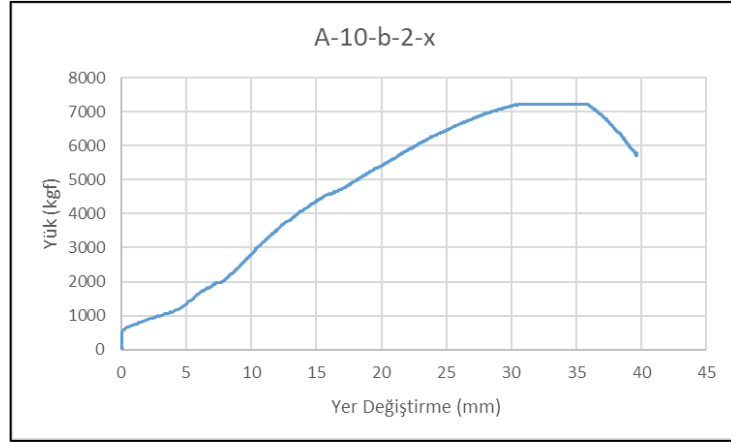
Şekil 5.16.'da A-10-a-2-x numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.16. A-10-a-2-x numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

A-10-a-2-x numunesi maksimum 7152,88 kgf değerine ulaştığı anda 19,8441 mm yer değiştirmiştir.

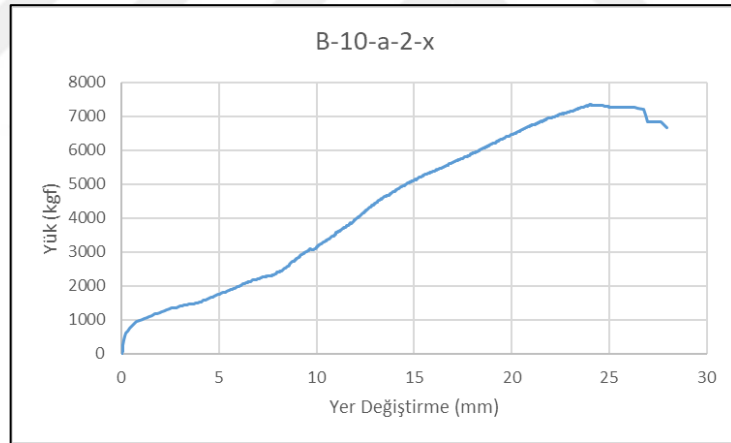
Şekil 5.17.'de A-10-b-2-x numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.17. A-10-b-2-x numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

A-10-b-2-x numunesi maksimum 7224,16 kgf değerine ulaştığı anda 30,6103 mm yer değiştirmiştir.

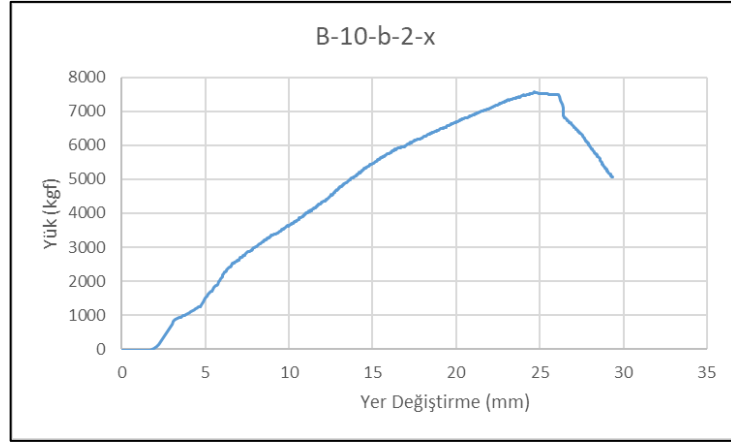
Şekil 5.18.'de B-10-a-2-x numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.18. B-10-a-2-x numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

B-10-a-2-x numunesi maksimum 7357,964 kgf değerine ulaştığı anda 24,0054 mm yer değiştirmiştir.

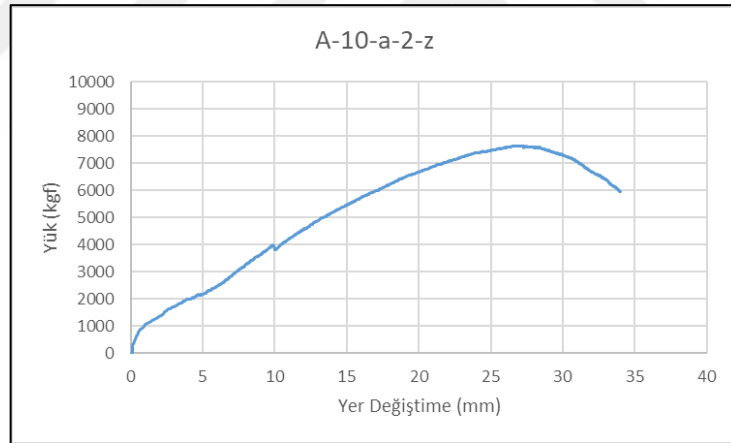
Şekil 5.19.'da B-10-b-2-x numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir



Şekil 5.19. B-10-b-2-x numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

B-10-b-2-x numunesi maksimum 7571,22 kgf değerine ulaştığı anda 24,7326 mm yer değiştirmiştir.

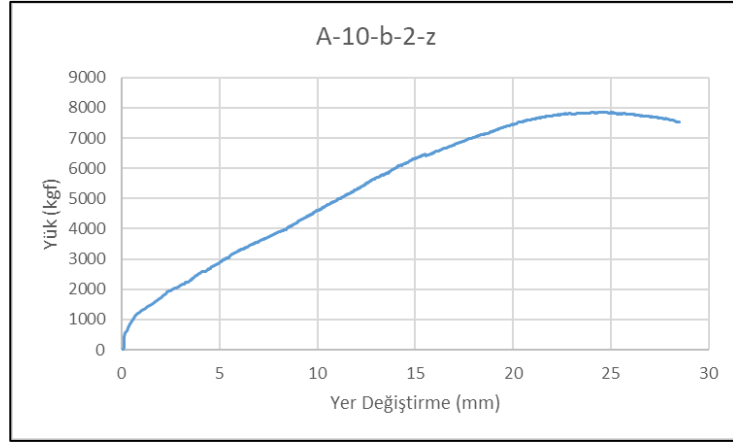
Şekil 5.20.'de A-10-a-2-z numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.20. A-10-a-2-z numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

A-10-a-2-z numunesi maksimum 7632,48 kgf değerine ulaştığı anda 27,0765 mm yer değiştirmiştir.

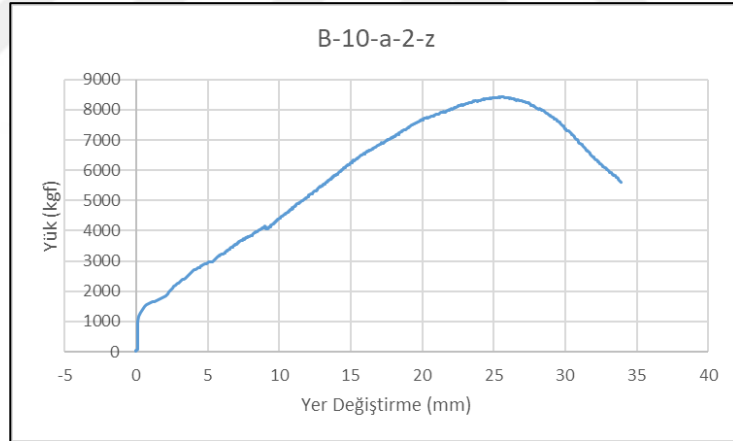
Şekil 5.21.'de A-10-b-2-z numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.21. A-10-b-2-z numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

A-10-b-2-z numunesi maksimum 7859.577 kgf değerine ulaştığı anda 24,4691 mm yer değiştirmiştir.

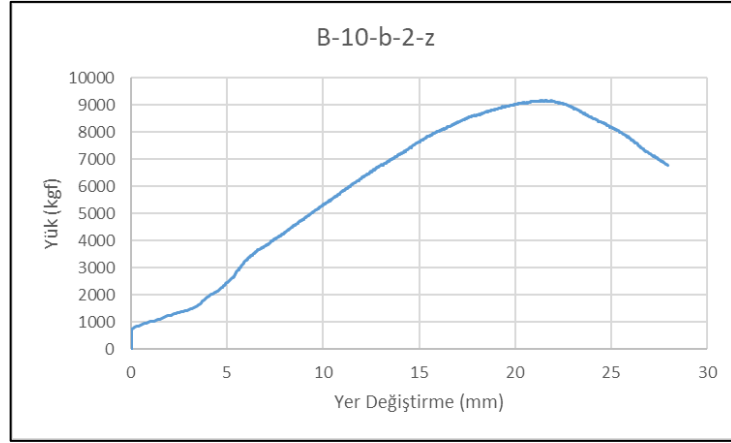
Şekil 5.22.'de B-10-a-2-z numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.22. B-10-a-2-z numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

B-10-a-2-z numunesi maksimum 8434,785 kgf değerine ulaştığı anda 25,5562 mm yer değiştirmiştir.

Şekil 5.23.'de B-10-b-2-z numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği verilmiştir.



Şekil 5.23. B-10-b-2-z numunesinin Yük-Yer Değiştirme grafiği

B-10-b-2-z numunesi maksimum 9165,224 kgf değerine ulaştığı anda 21,3663 mm yer değiştirmiştir.

BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARININ KIYASLANMASI

Deney sonucunda elde edilmiş sonuçlar ‘Bölüm 5’ içerisinde verilmiştir. Bu sonuçlar üzerinden çeşitli parametreler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında yorumlarda bulunulmuştur.

6.1. Süneklilik Katsayısına Göre Kıyaslama

Süneklilik katsayısını ile ilgili bilgiler daha önce Bölüm 5.5.2’de verilmişti. Katkı durumlarına, denge altı ve denge üstü olması durumlarına ve kanca açısı koşullarına göre karşılaştırmalar yapılmış ve aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

Konsol kirişlere ait süneklilik katsayıları Tablo 6.1.’de verilmiştir. Tablo 6.1.’de (u_{max}) maksimum ötelenmeyi ve (u_y) akma anındaki ötelenmeyi, (μ) süneklilik katsayısını ifade etmektedir.

Tablo 6.1. Süneklilik tablosu

Numune İsmi	u_y (mm)	u_{max} (mm)	μ
A-10-a-1-w	19,27	28,02012	1,45408
A-10-b-1-w	18,55	27,83594	1,50059
B-10-a-1-w	20,17	26,69257	1,32338
B-10-b-1-w	19,21	27,2684	1,41949
A-10-a-2-x	14,83	23,0341	1,55321
A-10-b-2-x	24,62	38,7695	1,57472
B-10-a-2-x	14,65	19,2446	1,42000
B-10-b-2-x	20,68	29,8214	1,44204
A-10-a-2-y	21,82	32,45703	1,70810
A-10-b-2-y	18,09	28,77468	1,77361
B-10-a-2-y	20,39	27,39743	1,48869
B-10-b-2-y	26,73	38,0571	1,60425
A-10-a-2-z	20,13	32,6756	1,62322
A-10-b-2-z	16,32	26,929	1,65006
B-10-a-2-z	20,97	30,5063	1,45475
B-10-b-2-z	17,68	25,9495	1,46732

Elde edilen sonuçlar;

1. Denge altı donatılı konsol kirişler, denge üstü donatılı konsol kirişlere nazaran süneklilik katsayıları daha yüksek bulunmuştur.
2. Kanca açısı 135 derece olan konsol kirişlerin süneklilik değerleri, kanca açısı 90 derece olan kirişlere göre daha yüksek bulunmuştur.
3. Katkı yüzdelere göre ise katkısız konsol kirişler, içerisinde katkı malzemesi bulunan konsol kirişlere nazaran daha az sünek davranmışlardır.
4. %20 katkılı konsol kiriş ise en sünek değere sahiptir.

Sıralama ise;

$$\text{Katkısız} < \%10 < \%40 < \%20 \quad (6.1)$$

olarak elde edilmiştir.

6.2. Maksimum Yüklere Göre Kıyaslama

Konsol olarak tasarlanmış kirişlere ait maksimum yükler daha önce elde edilmişti.

Elde edilen sonuçlar bütün haliyle Tablo 6.2.'de verilmiş ve elde edilen sonuçlar tablo altında belirtilmiştir.

Tablo 6.2. Maksimum yük değerleri

Numune İsmi	Maksimum yük (kgf)
A-10-a-1-w	8695,79
A-10-b-1-w	9125,28
B-10-a-1-w	10270,64
B-10-b-1-w	10796,52
A-10-a-2-x	7152,88
A-10-b-2-x	7224,16
B-10-a-2-x	7357,96
B-10-b-2-x	7571,22
A-10-a-2-y	7316,75

Tablo 6.2. (Devamı)

Numune İsmi	Maksimum yük (kgf)
A-10-b-2-y	7492,67
B-10-a-2-y	8380,10
B-10-b-2-y	8722,39
A-10-a-2-z	7632,48
A-10-b-2-z	7859,57
B-10-a-2-z	8434,78
B-10-b-2-z	9165,22

Elde edilen sonuçlar;

1. Denge üstü donatılı konsol kirişler, denge altı donatılı konsol kirişlere kıyasla taşıdıkları maksimum yük daha fazla olduğu görülmüştür.
2. Kanca açısı 135 derece olan konsol kirişlerin maksimum yük değerleri, kanca açısı 90 derece olan kirişlere göre daha yüksek bulunmuştur.
3. Katkı yüzdelerine göre ise katkısız konsol kirişler, içerisinde katkı malzemesi bulunan konsol kirişlere nazaran daha fazla yük taşımışlardır.
4. %10 katkılı konsol kiriş ise en düşük maksimum yük değerine sahiptir.

Sıralama ise;

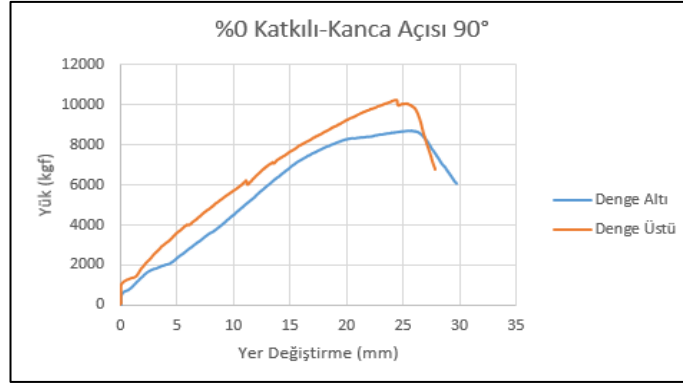
$$\%10 < \%20 < \%40 < \text{Katkısız} \quad (6.2)$$

olarak elde edilmiştir.

6.3. Denge Altı ve Denge Üstü Duruma Göre Kıyaslama

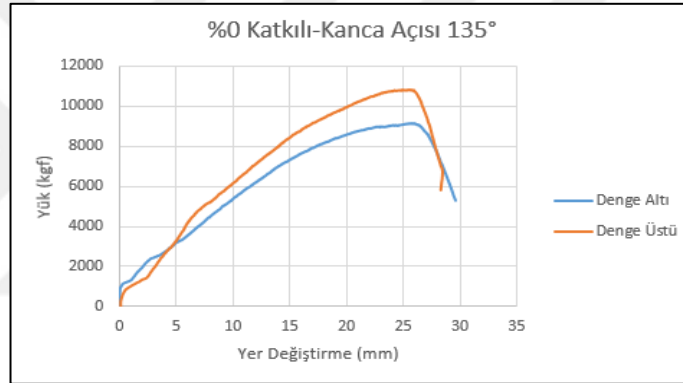
Denge altı ve denge üstü donatılı olarak tasarlanmış konsol kirişler ile ilgili kıyaslamalar yapılmış ve bu kıyaslamalar yük-yer değiştirme grafikleri açısından değerlendirilmiştir.

Şekil 6.1.'de A-10-a-1-w ve B-10-a-1-w numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri verilmiştir.



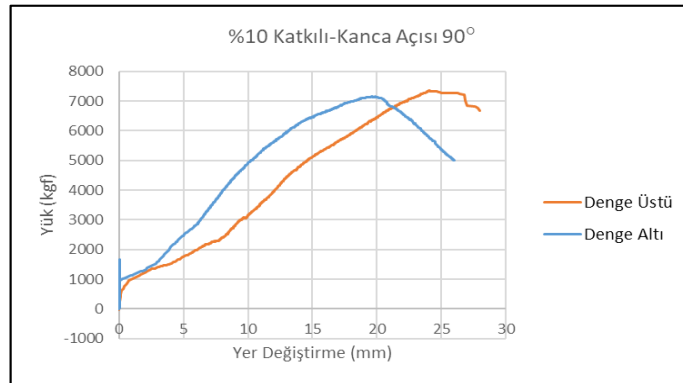
Şekil 6.1. A-10-a-1-w ve B-10-a-1-w numunelerinin karşılaştırma grafiği

Şekil 6.2.'de A-10-b-1-w ve B-10-b-1-w numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri verilmiştir.



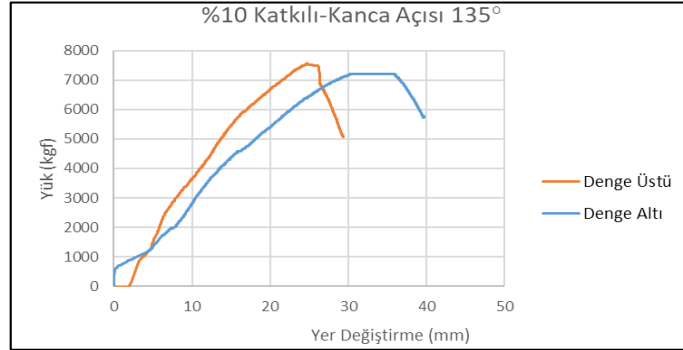
Şekil 6.2. A-10-b-1-w ve B-10-b-1-w numunelerinin karşılaştırma grafiği

Şekil 6.3.'de A-10-a-2-x ve B-10-a-2-x numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri verilmiştir.



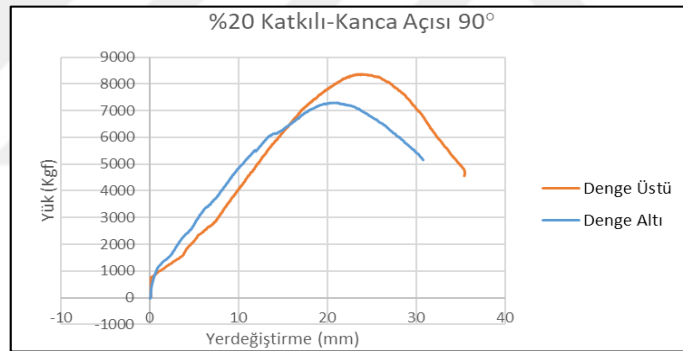
Şekil 6.3. A-10-a-2-x ve B-10-a-2-x numunelerinin karşılaştırma grafiği

Şekil 6.4.'de A-10-b-2-x ve B-10-b-2-x numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri verilmiştir.



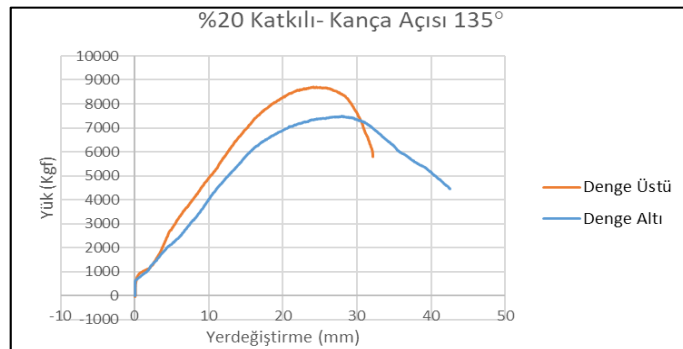
Şekil 6.4. A-10-b-2-x ve B-10-b-2-x numunelerinin karşılaştırma grafiği

Şekil 6.5.'de A-10-a-2-y ve B-10-a-2-y numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri verilmiştir.



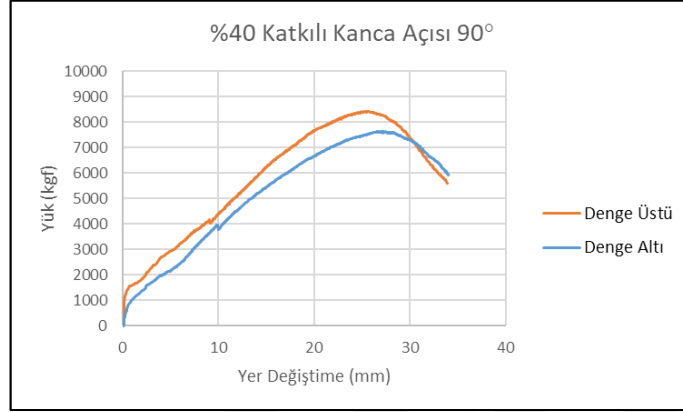
Şekil 6.5. A-10-a-2-y ve B-10-a-2-y numunelerinin karşılaştırma grafiği

Şekil 6.6.'da A-10-b-2-y ve B-10-b-2-y numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri verilmiştir.



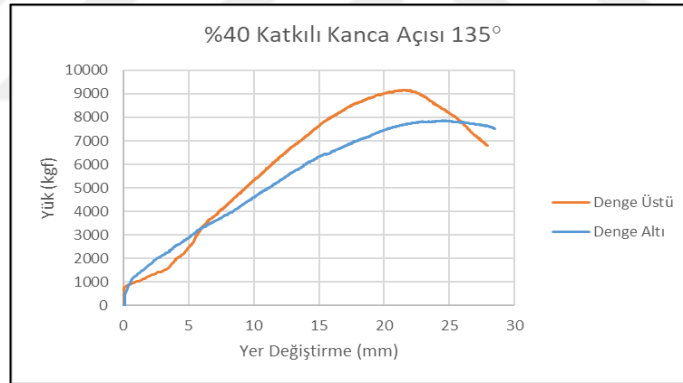
Şekil 6.6. A-10-b-2-y ve B-10-b-2-y numunelerinin karşılaştırma grafiği

Şekil 6.7.'de A-10-a-2-z ve B-10-a-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri verilmiştir.



Şekil 6.7. A-10-a-2-z ve B-10-a-2-z numunelerinin karşılaştırma grafiği

Şekil 6.8.'de A-10-b-2-z ve B-10-b-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri verilmiştir.



Şekil 6.8. A-10-b-2-z ve B-10-b-2-z numunelerinin karşılaştırma grafiği

Elde edilen sonuçlar;

1. Denge üstü donatılı konsol kirişler, denge altı donatılı konsol kirişlere kıyasla daha az sünek davranmışlardır.
2. Denge üstü donatılı konsol kirişler, denge altı donatılı konsol kirişlere kıyasla taşıdıkları maksimum yük daha fazla olduğu görülmüştür.

Yukarıda elde edilen sonuçlar ışığında grafiksel değerlerin denge altı ve denge üstü olması durumundaki yüzdesel artış oranları daha önce Tablo 6.1.'de belirtilen süneklilik katsayısı ve Tablo 6.2.'de belirtilen maksimum yük değerleri açısından hesaplanmış ve Tablo 6.3.'de verilmiştir.

Tablo 6.3. Denge altı ve denge üstü duruma göre yüzdesel artış değerleri

Numune İsmi	u_y (mm)	u_{max} (mm)	μ	Yüzdesel Artış (%)	P_{max} (kgf)	Yüzdesel Artış (%)
A-10-a-1-w	19,27	28,02012	1,45408	9,87622	8695,79	-
B-10-a-1-w	20,17	26,69257	1,32338	-	10270,64	18,11038
A-10-b-1-w	18,55	27,83594	1,50059	5,71332	9125,28	-
B-10-b-1-w	19,21	27,2684	1,41949	-	10796,52	18,31436
A-10-a-2-x	14,83	23,0341	1,55321	9,381	7152,88	-
B-10-a-2-x	14,65	19,2446	1,42000	-	7357,96	2,86701
A-10-b-2-x	24,62	38,7695	1,57472	9,20	7224,16	-
B-10-b-2-x	20,68	29,8214	1,44204	-	7571,22	4,80
A-10-a-2-y	21,82	32,45703	1,70810	14,73846	7316,75	-
B-10-a-2-y	20,39	27,39743	1,48869	-	8380,10	14,533
A-10-b-2-y	18,09	28,77468	1,77361	10,557	7492,67	-
B-10-b-2-y	26,73	38,0571	1,60425	-	8722,39	16,41
A-10-a-2-z	20,13	32,6756	1,62322	11,580	7632,48	-
B-10-a-2-z	20,97	30,5063	1,45475	-	8434,78	10,5116
A-10-b-2-z	16,32	26,929	1,65006	12,454	7859,57	-
B-10-b-2-z	17,68	25,9495	1,46732	-	9165,22	16,6122

İçerisinde katkı maddesi bulunmayan ve etriye kanca açısı 90^0 olan denge altı kirişin denge üstü olarak tasarlanmış konsol kirişe göre %9,87 daha fazla sünek olduğu görülmüştür. Aynı zamanda maksimum yük artışı bunun tam tersi şeklinde gerçekleşmiş, denge üstü konsol kiriş, denge altı konsol kirişe göre %18,11 daha fazla yük taşımıştır. Etriye kanca açısının 135 derece olması durumunda ise denge altı kiriş, denge üstü kirişe göre %5,71 daha sünek davranış sergilemiş, maksimum yükleme açısından ise bu oran denge üstü kirişin, denge altı kirişe göre %18,31 daha fazla yük taşıması şeklinde gerçekleşmiştir.

İçerisinde %10 demir tozu bulunan ve etriye kanca açısı 90 derece olan denge altı kirişin denge üstü olarak tasarlanmış konsol kirişe göre %9,38 daha fazla sünek olduğu

görülmüştür. Aynı zamanda maksimum yük artışı bunun tam tersi şeklinde gerçekleşmiş, denge üstü konsol kiriş, denge altı konsol kirişe göre %2,867 daha fazla yük taşımıştır. Etriye kanca açısının 135 derece olması durumunda ise denge altı kiriş, denge üstü kirişe göre %9,20 daha sünek davranış sergilemiş, maksimum yükleme açısından ise bu oran denge üstü kirişin, denge altı kirişe göre %4,80 daha fazla yük taşıması şeklinde gerçekleşmiştir.

İçerisinde %20 demir tozu bulunan ve etriye kanca açısı 90 derece olan denge altı kirişin denge üstü olarak tasarlanmış konsol kirişe göre %14,738 daha fazla sünek olduğu görülmüştür. Aynı zamanda maksimum yük artışı bunun tam tersi şeklinde gerçekleşmiş, denge üstü konsol kiriş, denge altı konsol kirişe göre %14,53 daha fazla yük taşımıştır. Etriye kanca açısının 135 derece olması durumunda ise denge altı kiriş, denge üstü kirişe göre %10,56 daha sünek davranış sergilemiş, maksimum yükleme açısından ise bu oran denge üstü kirişin, denge altı kirişe göre %16,41 daha fazla yük taşıması şeklinde gerçekleşmiştir.

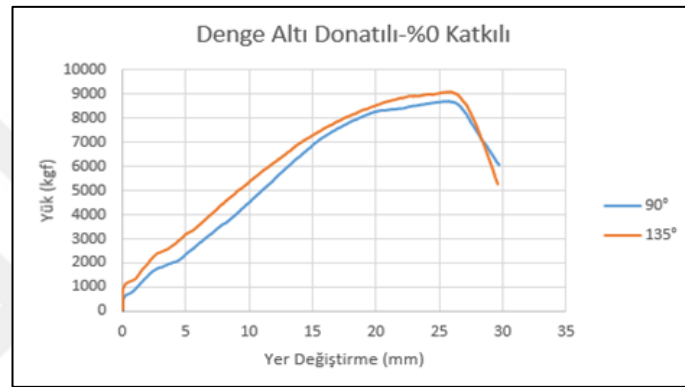
İçerisinde %40 demir tozu bulunan ve etriye kanca açısı 90 derece olan denge altı kirişin denge üstü olarak tasarlanmış konsol kirişe göre %11,58 daha fazla sünek olduğu görülmüştür. Aynı zamanda maksimum yük artışı bunun tam tersi şeklinde gerçekleşmiş, denge üstü konsol kiriş, denge altı konsol kirişe göre %10,51 daha fazla yük taşımıştır. Etriye kanca açısının 135 derece olması durumunda ise denge altı kiriş, denge üstü kirişe göre %12,45 daha sünek davranış sergilemiş, maksimum yükleme açısından ise bu oran denge üstü kirişin, denge altı kirişe göre %16,61 daha fazla yük taşıması şeklinde gerçekleşmiştir.

Süneklik açısından yüzdesel olarak en büyük artış etriye kanca açısı 90 derece ve %20 demir tozu katkılı kirişler arasında olurken, maksimum yük açısından en büyük yüzdesel artış etriye kanca açısı 135 derece ve katkısız olan kirişler arasında olmuştur.

6.4. Etriye Kanca Açısına Göre Kıyaslama

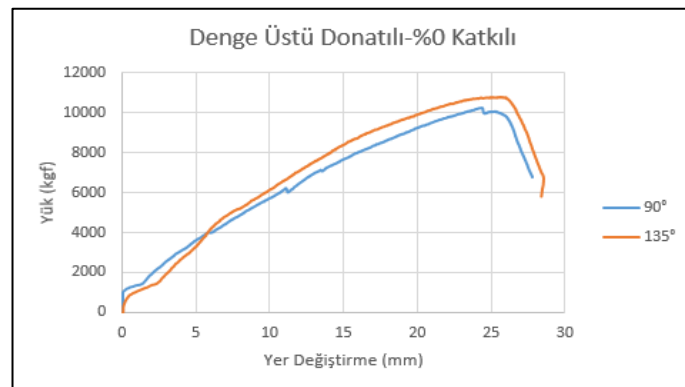
Konsol kirişlerde incelenen bir diğer parametre ise etriye kanca açısının aynı kirişler üzerindeki, davranışa olan etkisi olmuştur. Etriye kanca açısı değişken olarak kabul edilen kirişler arasında kıyaslamalar yapılmış ve bu kıyaslamalar aşağıda belirtilmiştir.

Şekil 6.9.'da A-10-a-1-w ve A-10-b-1-w numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri gösterilmiştir.



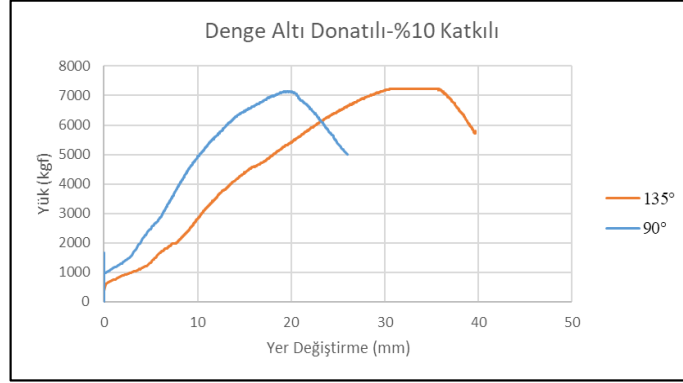
Şekil 6.9. A-10-a-1-w ve A-10-b-1-w numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri

Şekil 6.10.'da B-10-a-1-w ve B-10-b-1-w numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri gösterilmiştir.



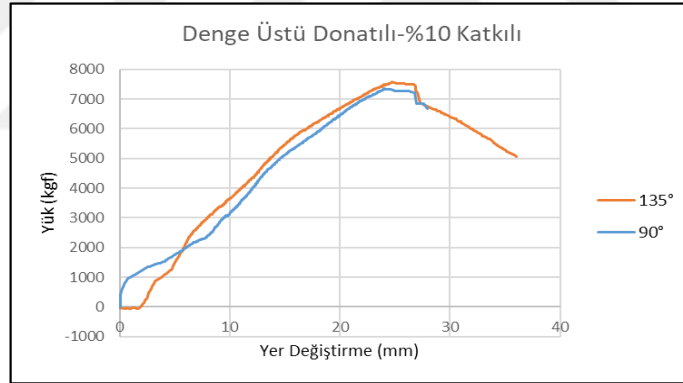
Şekil 6.10. B-10-a-1-w ve B-10-b-1-w numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri

Şekil 6.11.'de A-10-a-2-x ve A-10-b-2-x numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri gösterilmiştir.



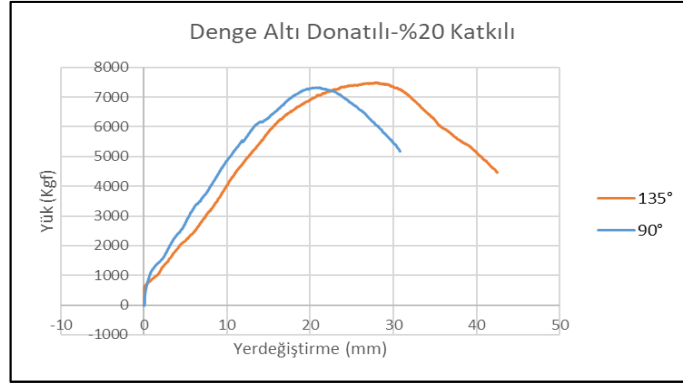
Şekil 6.11. A-10-a-2-x ve A-10-b-2-x numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri

Şekil 6.12.'de B-10-a-2-x ve B-10-b-2-x numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri gösterilmiştir.



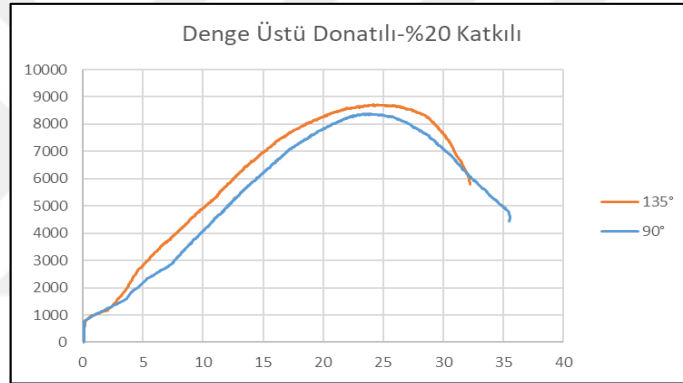
Şekil 6.12. B-10-a-2-x ve B-10-b-2-x numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri

Şekil 6.13.'de A-10-a-2-y ve A-10-b-2-y numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri gösterilmiştir.



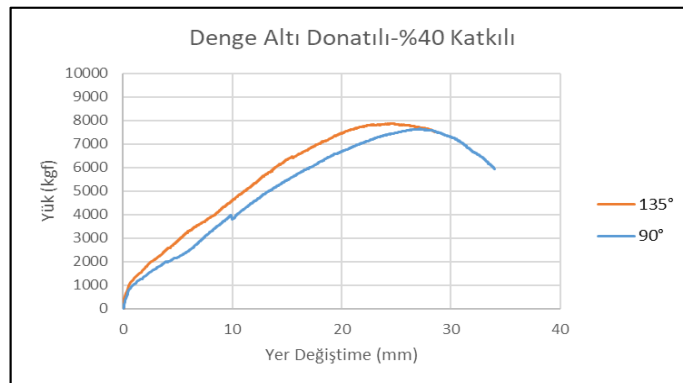
Şekil 6.13. A-10-a-2-y ve A-10-b-2-y numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri

Şekil 6.14.'de B-10-a-2-y ve B-10-b-2-y numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri gösterilmiştir.



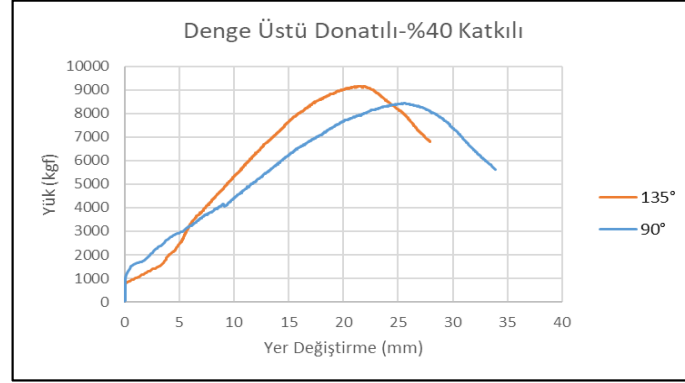
Şekil 6.14. B-10-a-2-y ve B-10-b-2-y numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri

Şekil 6.15.'de A-10-a-2-z ve A-10-b-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 6.15. A-10-a-2-z ve A-10-b-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri

Şekil 6.16.'da B-10-a-2-z ve B-10-b-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 6.16. B-10-a-2-z ve B-10-b-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri

Elde edilen sonuçlar;

1. Kanca açısı 135 derece olan konsol kirişler, kanca açısı 90 derece olan kirişlere göre daha sünek davranış sergilemişlerdir.
2. Kanca açısı 135 derece olan konsol kirişlerin maksimum yük değerleri, kanca açısı 90 derece olan kirişlere göre daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 6.4.'de etriye kanca açısının süneklilik ve maksimum yük açısından yüzdesel artışları verilmiştir.

Tablo 6.4. Etriye kanca açısının süneklilik ve maksimum yük açısından yüzdesel artışları durumları						
Numune İsmi	u_y (mm)	u_{max} (mm)	μ	Yüzdesel Artış (%)	P_{max} (kgf)	Yüzdesel Artış (%)
A-10-a-1-w	19,27	28,02012	1,45408	-	8695,79	-
A-10-b-1-w	18,55	27,83594	1,50059	3,198586	9125,28	4,939055
B-10-a-1-w	20,17	26,69257	1,32338	-	10270,64	-
B-10-b-1-w	19,21	27,2684	1,41949	7,262464	10796,52	5,120285
A-10-a-2-x	14,83	23,0341	1,55321	-	7152,88	-
A-10-b-2-x	24,62	38,7695	1,57472	1,38487	7224,16	0,99652
B-10-a-2-x	14,65	19,2446	1,42000	-	7357,96	-
B-10-b-2-x	20,68	29,8214	1,44204	1,55211	7571,22	2,89835
A-10-a-2-y	21,82	32,45703	1,70810	-	7316,75	-
A-10-b-2-y	18,09	28,77468	1,77361	3,83525	7492,67	2,40434

Tablo 6.4. (Devamı)

Numune İsmi	u_y (mm)	u_{max} (mm)	μ	Yüzdesel Artış (%)	P_{max} (kgf)	Yüzdesel Artış (%)
B-10-a-2-y	20,39	27,39743	1,48869	-	8380,10	-
B-10-b-2-y	26,73	38,0571	1,60425	7,76252	8722,39	4,08455
A-10-a-2-z	20,13	32,6756	1,62322	-	7632,48	-
A-10-b-2-z	16,32	26,929	1,65006	1,016534	7859,57	2,97531
B-10-a-2-z	20,97	30,5063	1,45475	-	8434,78	-
B-10-b-2-z	17,68	25,9495	1,46732	0.88140	9165,22	8,65985

Katkısız ve denge altı donatılı konsol kirişlerde etriye kanca açısı 135 derece olan kiriş, kanca açısı 90 derece olan konsol kirişe göre süneklilik açısından % 3,198 artış göstermiş, maksimum yük açısından ise kanca açısı 135 derece olan kiriş, kanca açısı 90 derece olan kirişe göre % 4,94 daha fazla yük taşımıştır. Katkısız ve denge üstü donatılı olarak tasarlanmış konsol kirişlerde ise etriye kanca açısı 135 derece olan kiriş, 90 derece olan kirişe göre süneklilik bakımından % 7,26, maksimum yük açısından ise %5,12 artış göstermiştir.

% 10 demir tozu katkılı ve denge altı donatılı konsol kirişlerde etriye kanca açısı 135 derece olan kiriş, kanca açısı 90 derece olan konsol kirişe göre süneklilik açısından % 1,38 artış göstermiş, maksimum yük açısından ise kanca açısı 135 derece olan kiriş, kanca açısı 90 derece olan kirişe göre % 0,996 daha fazla yük taşımıştır. % 10 demir tozu ve denge üstü donatılı olarak tasarlanmış konsol kirişlerde ise etriye kanca açısı 135 derece olan kiriş, 90 derece olan kirişe göre süneklilik bakımından % 1,55, maksimum yük açısından ise %2,89 artış göstermiştir.

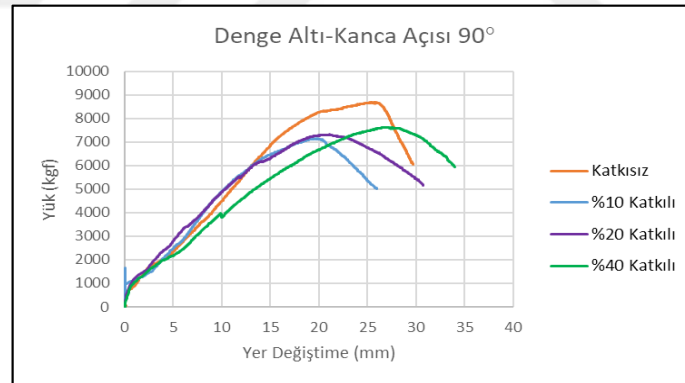
% 20 demir tozu katkılı ve denge altı donatılı konsol kirişlerde etriye kanca açısı 135 derece olan kiriş, kanca açısı 90 derece olan konsol kirişe göre süneklilik açısından % 3,83 artış göstermiş, maksimum yük açısından ise kanca açısı 135 derece olan kiriş, kanca açısı 90 derece olan kirişe göre % 2,40 daha fazla yük taşımıştır. % 20 demir tozu ve denge üstü donatılı olarak tasarlanmış konsol kirişlerde ise etriye kanca açısı 135 derece olan kiriş, 90 derece olan kirişe göre süneklilik bakımından % 7,76, maksimum yük açısından ise %4,08 artış göstermiştir.

% 40 demir tozu katkılı ve denge altı donatılı konsol kirişlerde etriye kanca açısı 135 derece olan kiriş, kanca açısı 90 derece olan konsol kirişe göre süneklilik açısından % 1,01 artış göstermiş, maksimum yük açısından ise kanca açısı 135 derece olan kiriş, kanca açısı 90 derece olan kirişe göre % 2,975 daha fazla yük taşımıştır. % 40 demir tozu ve denge üstü donatılı olarak tasarlanmış konsol kirişlerde ise etriye kanca açısı 135 derece olan kiriş, 90 derece olan kirişe göre süneklilik bakımından % 0,88, maksimum yük açısından ise %8,66 artış göstermiştir.

6.5. Demir Tozu Yüzdesine Göre Kıyaslama

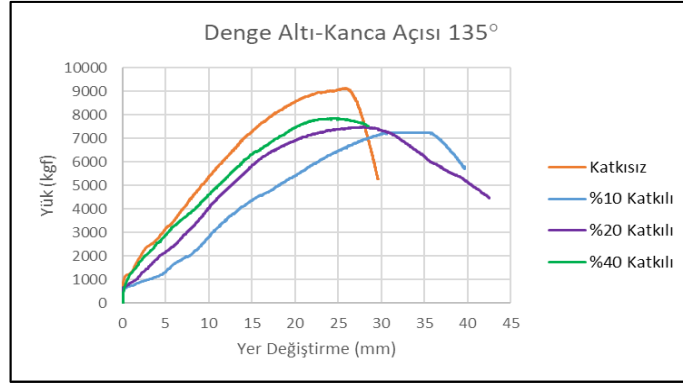
Konsol kirişlerdeki en önemli parametrelerden biriside katkı yüzdesinin konsol elemanlar üzerindeki etkisinin belirlenmesidir. Bu kapsamda demir tozu yüzdesinin karşılaştırmalı grafikleri aşağıda verilmiştir.

Şekil 6.17.'de A-10-a-1-w, A-10-a-2-x, A-10-a-2-y ve A-10-a-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri gösterilmiştir.



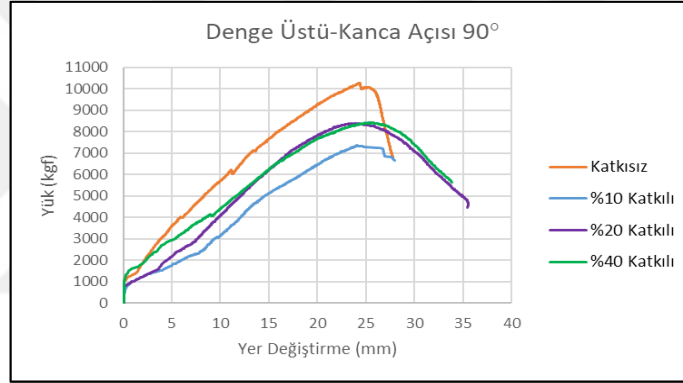
Şekil 6.17. A-10-a-1-w, A-10-a-2-x, A-10-a-2-y ve A-10-a-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri

Şekil 6.18.'de A-10-b-1-w, A-10-b-2-x, A-10-b-2-y ve A-10-b-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri gösterilmiştir.



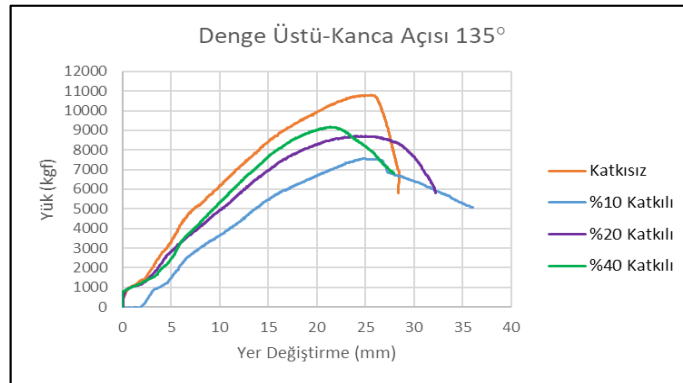
Şekil 6.18. A-10-b-1-w, A-10-b-2-x, A-10-b-2-y ve A-10-b-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri

Şekil 6.19.'da B-10-a-1-w, B-10-a-2-x, B-10-a-2-y ve B-10-a-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 6.19. 10-a-1-w, B-10-a-2-x, B-10-a-2-y ve B-10-a-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri

Şekil 6.20.'de B-10-b-1-w, B-10-b-2-x, B-10-b-2-y ve B-10-b-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 6.20. B-10-b-1-w, B-10-b-2-x, B-10-b-2-y ve B-10-b-2-z numunelerinin Yük-Yer Değiştirme grafikleri

Tablo 6.5.'de demir tozu katkısının süneklilik ve maksimum yük açısından yüzdesel artışları verilmiştir.

Tablo 6.5. Demir tozu katkısının süneklilik ve maksimum yük açısından yüzdesel artışları

Numune İsmi	u_y (mm)	u_{max} (mm)	μ	Yüzdesel Artış (%)	P_{max} (kgf)	Yüzdesel Artış (%)
A-10-a-1-w	19,27	28,02012	1,45408	-	8695,798	21,5705
A-10-a-2-x	14,83	23,0341	1,55321	6,81731	7152,88	-
A-10-a-2-y	21,82	32,45703	1,70810	17,4694	7316,75	2,2910
A-10-a-2-z	20,97	30,5063	1,62322	11,6320	8434,78	17,9214
A-10-b-1-w	18,55	27,83594	1,50059	-	9125,288	26,3162
A-10-b-2-x	24,62	38,7695	1,57472	4,94005	7224,16	-
A-10-b-2-y	18,09	28,77468	1,77361	18,1941	7492,67	3,71683
A-10-b-2-z	16,32	26,929	1,65006	9,96074	7859,57	8,79562
B-10-a-1-w	20,17	26,69257	1,32338	-	10270,64	39,5854
B-10-a-2-x	14,65	19,2446	1,42000	7,30100	7357,96	-
B-10-a-2-y	20,39	27,39743	1,48869	12,4915	8380,10	13,8916
B-10-a-2-z	20,97	30,5063	1,45475	9,92685	8434,78	14,6347
B-10-b-1-w	19,21	27,2684	1,41949	-	10796,53	42,5996
B-10-b-2-x	20,68	29,8214	1,44204	1,58860	7571,22	-
B-10-b-2-y	26,73	38,0571	1,60425	13,0159	8722,39	15,2045
B-10-b-2-z	17,68	25,9495	1,46732	3,36952	9165,22	21,0534

Süneklilik açısından bakıldığında, denge altı donatılı ve etriye kanca açısı 90 derece olan kirişler arasında en düşük süneklilik değerine sahip olan katkısız konsol kirişe göre karşılaştırma yapıldığında %10 demir tozu katkılı konsol kiriş %6,82 artış gösterirken, %20 demir tozu katkılı konsol kiriş %17,47 artış göstermiş, %40 demir tozu katkılı kirişte ise bu artış %11,63 olmuştur. Maksimum yük açısından kıyaslama yapılırken yine en düşük maksimum yük değeri belirlenmiş ve yüzdelik artışlar buna göre hesaplanmıştır. Bu kapsamda en düşük maksimum yük %10 demir tozu katkılı kirişte görülmüş, denge altı ve etriye kanca açısı 90 derece olan kirişler arasında %10 demir tozu katkılı kirişe göre kıyaslama yapıldığında, katkısız konsol kiriş %21,57 artış gösterirken, %20 demir tozu katkılı konsol kiriş %2,29 artış göstermiş, %40 demir tozu katkılı kirişte ise bu artışın %17,92 olduğu görülmüştür.

Süneklik açısından bakıldığında, denge altı donatılı ve etriye kanca açısı 135 derece olan konsol kirişler arasında en düşük süneklik değerine sahip olan katkısız konsol kirişe göre karşılaştırma yapıldığında %10 demir tozu katkılı konsol kiriş %4,94 artış gösterirken, %20 demir tozu katkılı konsol kiriş %18,19 artış göstermiş, %40 demir tozu katkılı kirişte ise bu artış %9,96 olmuştur. Maksimum yük açısından kıyaslama yapılırken yine en düşük maksimum yük değeri belirlenmiş ve yüzdelik artışlar buna göre hesaplanmıştır. Bu kapsamda en düşük maksimum yük %10 demir tozu katkılı konsol kirişte görülmüş, denge altı ve etriye kanca açısı 135 derece olan konsol kirişler arasında %10 demir tozu katkılı kirişe göre kıyaslama yapıldığında, katkısız konsol kiriş %26,31 artış gösterirken, %20 demir tozu katkılı konsol kiriş %3,71 artış göstermiş, %40 demir tozu katkılı kirişte ise bu artışın %8,79 olduğu görülmüştür

Süneklik açısından bakıldığında, denge üstü donatılı ve etriye kanca açısı 90 derece olan konsol kirişler arasında en düşük süneklik değerine sahip olan katkısız konsol kirişe göre karşılaştırma yapılmış ve %10 demir tozu katkılı konsol kiriş %7,30 artış gösterirken, %20 demir tozu katkılı konsol kiriş %12,49 artış göstermiştir, %40 demir tozu katkılı kirişte ise bu artış %9,92 olmuştur. Maksimum yük açısından kıyaslama yapılırken yine en düşük maksimum yük değeri belirlenmiş ve yüzdelik artışlar buna göre hesaplanmıştır. Bu kapsamda en düşük maksimum yük, %10 demir tozu katkılı konsol kirişte görülmüş, denge üstü ve etriye kanca açısı 90 derece olan konsol kirişler arasında %10 demir tozu katkılı kirişe göre kıyaslama yapıldığında, katkısız konsol kiriş %39,58 artış gösterirken, %20 demir tozu katkılı konsol kiriş %13,89 artış göstermiş, %40 demir tozu katkılı kirişte ise bu artışın %14,63 olduğu görülmüştür.

Süneklik açısından bakıldığında, denge üstü donatılı ve etriye kanca açısı 135 derece olan konsol kirişler arasında en düşük süneklik değerine sahip olan katkısız konsol kirişe göre karşılaştırma yapılmış ve %10 demir tozu katkılı konsol kiriş %1,58 artış gösterirken, %20 demir tozu katkılı konsol kiriş %13,01 artış göstermiştir, %40 demir tozu katkılı kirişte ise bu artış %3,36 olmuştur. Maksimum yük açısından kıyaslama yapılırken yine en düşük maksimum yük değeri belirlenmiş ve yüzdelik artışlar buna göre hesaplanmıştır. Bu kapsamda en düşük maksimum yük, %10 demir tozu katkılı konsol kirişte görülmüş, denge üstü ve etriye kanca açısı 135 derece olan konsol

kirişler arasında %10 demir tozu katkıli kirişe göre kıyaslama yapıldığında, katkısız konsol kiriş %42,59 artış gösterirken, %20 demir tozu katkıli konsol kiriş %15,20 artış göstermiş, %40 demir tozu katkıli kirişte ise bu artışın %21,05 olduğu görülmüştür



BÖLÜM 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması sonucunda konsol kiriş elemanlarında oluşturulan parametrelerin konsol kirişler arasındaki davranışa olan etkisinin nasıl olacağı incelenmiştir. Tez kapsamında konsol kirişler üzerinde, denge altı donatılı ve denge üstü donatılı olması koşulu, etriye kanca açısının 90 ve 135 derece olması durumu ve konsol kiriş için üretilmiş olan beton içerisine, çimento miktarının %10,%20 ve % 40 oranında demir tozu katkısının ilavesi gibi parametreler değişken olarak kabul edilmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Deney düzeneğine yerleştirilen konsol kirişlere yükleme yapılmış ve yükleme sonucu elde edilen değerler ile yük-yer değiştirme grafikleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu grafiklerle birlikte konsol kirişleri birbirinden ayıran parametreler kıyaslanmıştır.

Bu kapsamda grafikler üzerinde süreklilik durumları elde edilmiş, yapıda sürekliliğin önemi bir kez daha konsol kirişler üzerinden ortaya konulmuştur. Beton bileşenlerinin günümüz koşullarında katkılı olması ve bu katkının geri dönüştürülebilir olması büyük önem arz etmektedir. Deneyler sonucunda beton içerisine eklenecek katkı yüzdelерinin beton ve konsol kirişin davranışa olan etkisi ilerideki çalışmalara ışık tutması açısından önemlidir.

Bu tez kapsamında elde edilen sonuçlar şu şekildedir;

Etriye kanca açısının 135 derece olması durumunda konsol kirişler, etriye kanca açısının 90 derece olması koşuluna göre daha sünek bir davranış sergilemişlerdir. Aynı zamanda etriye kanca açısı 135 derece olan konsol kirişler sadece bu parametrenin değişken olması koşuluyla daha fazla yük taşımışlardır. Elde edilen bu sonuç teorikte

elde edilen etriye kanca açısının 135 derece olması koşulunun betonarme davranışa etkisinin olumlu olduğu sonucunu doğrulamaktadır.

Deney sonucuna göre denge altı donatılı konsol kiriş denge üstü donatılı konsol kirişlere göre sadece bu parametrenin değişken olması koşuluyla daha sünek davranış sergilemiştir. Bu sonuç yönetmelik gereği denge altı donatı koşulunun sağlanması açısından doğru bir davranış şekli olmuştur. Deneysel veriler ışığında denge üstü donatılı konsol kiriş, denge altı donatılı konsol kirişe göre taşıdığı maksimum yük daha fazla olmuştur. Fakat konsol kirişler denge üstü donatılı durumda taşıdığı maksimum yüke rağmen gevrek kırılma davranışı sergilemişlerdir.

Bir diğer değişken kabul edilen parametre ise demir tozu katkı maddesidir. Demir tozu katkı maddesi katkısı maddesi bulunmayan kirişlerin hepsinden daha sünek davranış sergilemiş olduğu bu tez kapsamında elde edilen verilerden bir tanesidir.

Demir tozu katkı maddesinin hangi oranda beton içerine ekleneceği ise konsol kirişin sünek bir davranış sergilemesi açısından çok önemlidir.

Deney sonucunda %20 demir tozu katkılı konsol kirişler diğer kirişlere göre daha sünek bir davranış sergilemişlerdir. Çimento miktarının % 20 'si kadarında bir demir tozu katkısı konsol elemanlar dışında betonarme yapı elemanlarında da olumlu sonuç verebileceği fikrini ortaya çıkarmaktadır. Demir tozu katkı yüzdesinin %10 olması, katkı maddesi içermeyen konsol elemana nazaran daha davranış sergilemesine neden olmuş fakat %20 demir tozu katkılı konsol kirişe göre daha gevrek davranmıştır. Yine aynı şekilde %40 demir tozu katkılı konsol kiriş, katkısız ve %10 demir tozu katkılı konsol kirişe göre daha sünek olmasına karşın, %20 demir tozu katkılı konsol kirişe göre daha az sünek davranış sergilemişlerdir. Taşıdıkları maksimum yük açısından ise katkısız konsol kirişin maksimum yükü daha fazla olmasına rağmen yukarıda da belirtildiği gibi gevrek kırılma davranışını sergilemiştir. %40 demir tozu katkılı konsol kiriş, %20 katkılı konsol kirişten, %20 demir tozu katkılı kiriş ise %10 katkılı konsol kirişe göre maksimum yükleri daha fazla olmuştur.

Deneysel veriler ışığında demir tozu katkı maddesinin yapısal anlamda davranışa olan olumlu etkisi ortadadır. Bu nedenle atık madde olarak fabrikalarda bulunan bu madde beton içerisine katılarak geri dönüştürülebilir bir özellik kazandırılabilir.

Aynı zamanda benzer çalışmalara ışık tutması açısından demir tozu katkısının yüzdesel olarak değiştirilip farklı biçimlerde yapı elemanında kullanılabilir. Süneklilik düzeyine olan olumlu etkisi sadece konsol elemanlarda değil diğer taşıyıcı betonarme yapı elemanlarında da kullanılabilir olabileceğini bizlere göstermektedir. Tümüyle bakıldığında çimento miktarının %20 'si kadar demir tozu katkısı yapı elemanlarında kullanılabilir olduğu görülmüştür.



KAYNAKLAR

- [1] Aydemir, C., Aydemir-Eser, M. Betonarme kirişlerin hasar sınırlarının deneysel gözlemlerle irdelenmesi. İMO Teknik Dergi, 8023-8049, 2017.
- [2] Özkal, F.M., Uysal, H., Betonarme yapı elemanlarında en uygun donatı yerleşiminin belirlenmesi: konsol kiriş örneği. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(2), 157-169, 2017.
- [3] Özbaşaran, H., Konsol I kesitli kirişlerin elastik yanal burulmalı burkulma momentinin hesaplanmasında sonlu farklar yaklaşımı. Anadolu University of Sciences & Technology-A: Applied Sciences & Engineering, 14(2), 2013.
- [4] Ersoy, U., Betonarme kiriş ve kolonların moment kapasitelerinin saptanması. İMO Teknik Dergisi, 9(44), 1998.
- [5] Kara, İ.F., Dündar, C., Betonarme kiriş elemanlarda bulunan farklı donatı oranlarının ve değişik yükleme tiplerinin etkili atalet momenti üzerine olan etkisinin irdelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik, Mimarlık Dergisi, 5(2), 135-147, 2008.
- [6] Tekin, A., Esendemir, Ü., Öndürücü, A., Serbest ucundan tekil bir yüke maruz polimer matrisli kompozit ankastre bir kiriş için elasto-plastik gerilme analizi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisinde, Denizli, 10(3), 395-403, 2004.
- [7] Aykaç, S., Aykaç, B., Ekinci, Y., Betonarme yapılarda konsol kirişlere aktarılan ilave yükler. İMO Teknik Dergisi, 5449-5462, 2011.
- [8] Pekediş, M., Yıldız, H., Eksenel yüklü ankastre çubuğun davranışının eleman bağımsız galerkin yöntemiyle çözülmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(3), 353-361, 2009.
- [9] Koç, V., Farklı kalınlıklı lifli beton çift konsol elemanlarda boyut etkisi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4(3), 24-40, 2007a.
- [10] Koç, V., Dış merkezlik değişimi altında beton boyut etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(2), 181-187, 2007b.
- [11] Arslan, G., Polat, Z., Yüksek beton mukavemetli betonarme kirişlerde uygun sonlu eleman boyutları. İTÜ Mühendislik Dergisi, 3(1), 2004.

- [12] Kiracı, S., Bağcı, M., Betonarme bir elemanda eğrilik sünekliğinin incelenmesi. C.B.Ü Fen Bilimleri Dergisi, 9(3), 141-154, 2010.
- [13] Aldemir, A., Çift oluklu betonarme kiriş sistemlerinde boşluk derinliğinin davranışa etkisi. Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University, 33(2), 2018.
- [14] Kaya, O., Yalçın, C., Ağır hasarlı kolon kiriş birleşim numunesinin kimyasal harçlar ile onarılarak sismik davranışının incelenmesi. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences Dergisi, 23(3), 2017.
- [15] Aydın, A.C., Bayrak, B., Betonarme kirişlerin deneysel ve teorik burulma momenti değerlerinin karşılaştırılması. Sakarya Üniversitesi Bilim Dergisi, 21(5), 899-906, 2017.
- [16] Tayfur, S., Saatçi, Alver, N., Çelik Fiber ilaveli etriyesiz betonarme kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışlarının doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi ile belirlenmesi. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences Dergisi, 24(3), 397-402, 2018.
- [17] Saatçi, S., Batarlar, B., Çelik fiber katkılı etriyesiz betonarme kirişlerin davranışı. Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University, 32, 1143-1154, 2017.
- [18] Töre, E., Geniş Betonarme Kirişlerde Plastik Şekil Değiştirmenin Deneysel İncelenmesi. Balıkesir Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [19] Taş, H. H., Çoban, Ö., Topbaşı, B., Endüstriyel demir talaşı atığının betonun bazı mekanik özelliklerine etkisi. SDU International Technologic Science, 5, 1-11, 2013
- [20] Uzun, M., Cam tozunun beton basınç dayanımına etkisi. Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(2), 2018.
- [21] Çakıroğlu, A.M., Kasap, S., Keskin, N. Betona atık teneke ambalajlarının ilave edilmesinin basınç dayanımına etkisinin incelenmesi üzerine deneysel bir çalışma. International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, 92-95, 2011.
- [22] Dilbas, H., Şimşek M., Çakır, Ö. Kentsel dönüşüm sonucu oluşan molozların geri dönüşümle betonda kullanımı – Silis dumanı katkılı geri kazanılmış agregalı betonlar. 9.Beton Kongresi, Antalya, 16-18 Nisan 2014.
- [23] Kara, C., Endüstriyel atıkların beton dayanımı etkisi üzerine bir çalışma çay fabrikası kömür külü örneği. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 7, 75-85, 2018.
- [24] Meşçi, B., Ergun, ON., Çakıroğlu, M., Bakır endüstrisi atıklarının beton katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 13-15 Nisan, Ankara, 2007.

- [25] Özel, C., Filiz, M., Sevinç, A., Kiran, C., Betonda fiber katkı olarak polietilen tereftalatın kullanılabilirliğinin araştırılması. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 3, 17-28, 2011.
- [26] Toprak, M. www.sanalsantiye.com / Erişim Tarihi: 25.12.2020.
- [27] Altundal, A., Depreme Dayanıklı Betonarme Yapı Tasarımı Ders Sunusu, 2017.
- [28] Doğangün, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2016.
- [29] Park, R., Ductility evaluation from laboratory and analytical testing. Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo, Kyoto, 8, 605-616, 1988.



ÖZGEÇMİŞ

Mertcan ÖZTÜRK İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. Güngören Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Lisans eğitimini Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitime başladı. Hala yüksek lisans eğitimine Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Yapı Anabilim dalında devam etmektedir.