

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEMİR TOZU KATKILI BETONLARIN VE ETRİYE
TASARIMININ KONSOL KİRİŞLERİN YAPISAL
DAVRANIŞINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serhat BURUKOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Zeki ÖZYURT

Ocak 2021

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.

Serhat BURUKOĞLU

21.01.2021

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. Öğr. Üyesi Muhammet Zeki ÖZYURT'a teşekkürlerimi sunarım.

Bizlere deneylerde kullandığımız donatıların çekme deneylerinde yardımlarda bulunan BST Bayraktar Sondaj Teknolojileri Müh. Ve Laboratuvar Hiz. San. Ve Tic. Ltd. Şti'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca eğitim hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok değerli anne, baba ve kardeşime sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1

BÖLÜM 2.

LİTERATÜR ÇALIŞMASI	4
2.1. Betonda Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Farklı Endüstriyel Atıklar Hakkında Yapılmış Çalışmalar	4
2.2. Betonarme Kirişler Üzerinde Yapılan Çalışmalar	7

BÖLÜM 3.

BETONARME KİRİŞLERDE EĞİLME DAVRANIŞI	11
3.1. Dikdörtgen Tek Donatılı Kesitli Betonarme Kirişlerde Eğilme Davranışı	11
3.2. Dengeli Kırılma (Gevrek Kırılma)	12
3.2.1. Dengeli donatılı kirişlerin taşıma gücü hesabı	13
3.3. Basınç Kırılması (Gevrek Kırılması)	15

3.4. Çekme Kırılma (Sünek Kırılma)	16
3.4.1. Denge altı donatılı kirişlerin taşıma gücü hesabı	16
3.5. Çift Donatılı Kirişlerde Eğilme Davranışı	18
3.5.1. Çift donatılı kirişlerin taşıma gücü hesabı	19
3.5.2. Çift donatılı kesitlerde konulan bazı sınırlamalar	23
3.6. Süneklik	24
3.6.1. Malzeme bazında süneklik	24
3.6.2. Eleman bazında süneklik	25
3.6.3. Kesit bazında süneklik	26
3.6.4. Sistem bazında süneklik	27

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMA	29
4.1. Deneyleerde Kullanılan Numuneler	29
4.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması	34
4.3. Malzemelerin Mekanik Özellikleri	41
4.3.1. Beton	41
4.3.2. Donatı	43
4.4. Deney Düzeneği Hazırlanması	44
4.5. Kullanılan Aletler	45

BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI	47
5.1. Deney Numuneleri Kırılması	47
5.2. Deney Numuneleri Sonuçları	52

BÖLÜM 6.

DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	71
6.1. Etriye Adım Mesafesi Bakımından Karşılaştırma	71
6.2. Etriye Kanca Açısı Bakımından Karşılaştırma	76
6.3. Denge altı ve Denge üstü Durum Bakımından Karşılaştırma	82
6.4. Katkı Maddesi Bakımından Karşılaştırma	89

BÖLÜM 7.

SONUÇ 98

KAYNAKLAR 103

EKLER 106

ÖZGEÇMİŞ 107

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A_s	: Donatı alanı
A_{sb}	: Dengeli donatı oranına karşılık gelen donatı alanı
b_w	: Kiriş kesit genişliği
c	: Tarafsız eksen derinliği
cm	: Santimetre
d	: Kiriş kesitinin faydalı yüksekliği
Δ_y	: Akma anındaki yer değiştirme
Δ_u	: Maksimum yer değiştirme
ε_c	: Beton birim şekil değiştirmesi
ε_{cu}	: Betonun ezilme birim kısalması
E_s	: Donatı elastisite modülü
ε_s	: Donatı birim şekil değiştirmesi
ε_{su}	: Kopma birim şekil değiştirmesi
ε_{yd}	: Tasarım akma birim şekil değiştirmesi
F_c	: Basınç kuvveti
f_{cd}	: Tasarım basınç dayanımı
f_e	: Elastik sınıra karşılık gelen dayanım
F_s	: Çekme kuvveti
f_{yd}	: Tasarım akma dayanımı
f_{yk}	: Karakteristik akma dayanımı
gr	: Gram
k_l	: Ortalama basınç gerilmesiyle maksimum gerilme arası oranı
kg	: Kilogram
M	: Kesitte oluşan moment
mm	: Milimetre
μ	: Süneklik katsayısı

P_{maks}	: Maksimum taşınan yük
P_y	: Akma anındaki yük
ρ	: Kesitteki donatı oranı
ρ_b	: Dengeli donatı oranı
ρ'	: Basınç donatısı oranı
σ_s	: Donatı gerilmesi
u_1	: Geri dönmeyen kalıcı şekil değiştirme
u_2	: Kuvvet uygulandığında cismin yapmış olduğu şekil değiştirme
u_2-u_1	: Geri dönen şekil değiştirme
u_e	: Elastik yer değiştirme
u_{max}	: Maksimum ötelenme
u_y	: Akma anındaki ötelenme
z	: Moment kolu
h	: Kesit yüksekliği
M_b	: Dengeli donatıya karşılık gelen moment
Mpa	: Megapascal (Basınç birimi)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Demir tozunun toplandığı hava filtre makinesi	2
Şekil 1.2. Deney Numunelerin 3 Boyutlu Modellemesi	3
Şekil 3.1. Dengeli donatılı kesit diyagramı	12
Şekil 3.2. Dengeli donatılı kesitte bileşke kuvvet diyagramı.....	13
Şekil 3.3. Denge üstü donatılı kesit diyagramı	15
Şekil 3.4. Denge altı donatılı kesit diyagramı	16
Şekil 3.5. Denge altı donatılı kesitlerde bileşke kuvvet diyagramı.....	17
Şekil 3.6. Çift donatılı kiriş kesit diyagramı	18
Şekil 3.7. Çift donatılı kesitte kuvvet çifti diyagramı	19
Şekil 3.8. Çift donatılı kesitte bileşke kuvvet diyagramı	23
Şekil 3.9. Malzemelerin sünekliklerinin karşılaştırılması.....	24
Şekil 3.10. Yük Yerdeğiştirme Grafiği [32].....	25
Şekil 3.11. Betonarme bir kirişin eğrilik sünekliği belirlenmesi	26
Şekil 3.12. Malzeme ve sistem için yük deplasman ilişkisi.....	27
Şekil 4.1. Deney numunesi donatı açılımı (Ölçüler mm).....	30
Şekil 4.2. Kalıpların hazırlanması.....	34
Şekil 4.3. Donatıların hazırlanması.....	34
Şekil 4.4. Strain-gauge (gerinim ölçer) yerleştirilmesi	35
Şekil 4.5. Numunelerin kalıplara yerleştirilmesi.....	35
Şekil 4.6. 1 nolu mıcır ve kum	36
Şekil 4.7. Çimento ve Su.....	37
Şekil 4.8. Demir tozu tartılıp eklenmesi	37
Şekil 4.9. Beton karma işlemi	37
Şekil 4.10. Numune şişlenip masterlanması	38
Şekil 4.11. Slump deneyi	38
Şekil 4.12. Numune alınması	39

Şekil 4.13. Numune kürlenmesi	39
Şekil 4.14. Kükürt - grafit hassas terazide tartılması	40
Şekil 4.15. Başlıklama seti-Eritme potası	40
Şekil 4.16. Başlıklanan numuneler	41
Şekil 4.17. Silindir numune basınç deneyi.....	42
Şekil 4.18. Çekme deneyinde kullanılan donatılar	43
Şekil 4.19. Çekme deneyi	43
Şekil 4.20. Deney düzeneği.....	44
Şekil 4.21. Test veri düzeneği.....	45
Şekil 4.22. Yer değiştirme ölçer (Potansiyometre)	46
Şekil 4.23. Strain-gauge (gerinim ölçer) resmi	46
Şekil 5.1. 35 nolu seriye ait kiriş kırılma öncesi ve sonrası.....	48
Şekil 5.2. 33 nolu seriye ait kiriş kırılma öncesi ve sonrası.....	48
Şekil 5.3. 30 nolu seriye ait kiriş kırılma öncesi ve sonrası.....	48
Şekil 5.4. 25 nolu seriye ait kırılma öncesi ve sonrası.....	49
Şekil 5.5. 28 nolu kirişe ait kırılma öncesi ve sonrası.....	49
Şekil 5.6. A-5-a-1-w numunesi grafiği	55
Şekil 5.7. A-5-b-1-w numunesi grafiği	55
Şekil 5.8. A-10-a-1-w numunesi grafiği	56
Şekil 5.9. A-10-b-1-w numunesi grafiği	57
Şekil 5.10. A-15-a-1-w numunesi grafiği	57
Şekil 5.11. A-15-b-1-w numunesi grafiği	58
Şekil 5.12. B-5-a-1-w numunesi grafiği.....	59
Şekil 5.13. B-5-b-1-w numunesi grafiği	59
Şekil 5.14. B-10-a-1-w numunesi grafiği.....	60
Şekil 5.15. B-10-b-1-w numunesi grafiği	61
Şekil 5.16. B-15-a-1-w numunesi grafiği.....	61
Şekil 5.17. B-15-b-1-w numunesi grafiği	62
Şekil 5.18. A-5-a-2-y numunesi grafiği	63
Şekil 5.19. A-5-b-2-y numunesi grafiği	63
Şekil 5.20. A-10-a-2-y numunesi grafiği	64
Şekil 5.21. A-10-b-2-y numunesi grafiği.....	65

Şekil 5.22. A-15-a-2-y numunesi grafiği	65
Şekil 5.23. A-15-b-2-y numunesi grafiği	66
Şekil 5.24. B-5-a-2-y numunesi grafiği.....	67
Şekil 5.25. B-5-b-2-y numunesi grafiği	67
Şekil 5.26. B-10-a-2-y numunesi grafiği.....	68
Şekil 5.27. B-10-b-2-y numunesi grafiği	69
Şekil 5.28. B-15-a-2-y numunesi grafiği.....	69
Şekil 5.29. B-15-b-2-y numunesi grafiği	70
Şekil 6.1. Süneklikte yüzdesel artış grafiği.....	72
Şekil 6.2. Maksimum yükte meydana gelen yüzdesel artış grafiği.....	73
Şekil 6.3. Denge altı durum-%20 Katkılı-90 Derece Kanca Açılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	74
Şekil 6.4. Denge altı durum-%20 Katkılı-135 Derece Kanca Açılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	74
Şekil 6.5. Denge üstü durum-%20 Katkılı-90 Derece Kanca Açılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	75
Şekil 6.6. Denge üstü Durum-%20 Katkılı-135 Derece Kanca Açılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	76
Şekil 6.7. Süneklikte yüzdesel artış grafiği.....	77
Şekil 6.8. Maksimum taşınan yükte yüzdesel artış grafiği.....	78
Şekil 6.9. Denge altı Durum-%20 Katkılı-50 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	79
Şekil 6.10. Denge altı Durum-%20 Katkılı-100 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	79
Şekil 6.11. Denge altı Durum-%20 Katkılı-150 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	80
Şekil 6.12. Denge altı Durum-%20 Katkılı-150 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	81
Şekil 6.13. Denge altı Durum-%20 Katkılı-150 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	81
Şekil 6.14. Denge altı Durum-%20 Katkılı-150 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	82

Şekil 6.15. Süneklikte yüzdesel artış grafiği.....	84
Şekil 6.16. Maksimum taşınan yükte yüzdesel azalma grafiği	84
Şekil 6.17. 90 Derece Kanca açılı-%20 Katkılı-50 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	85
Şekil 6.18. 90 Derece Kanca açılı-%20 Katkılı-100 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	86
Şekil 6.19. 90 Derece Kanca açılı-%20 Katkılı-150 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	86
Şekil 6.20. 135 Derece Kanca açılı-%20 Katkılı-50 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	87
Şekil 6.21. 135 Derece Kanca açılı-%20 Katkılı-100 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	88
Şekil 6.22. 135 Derece Kanca açılı-%20 Katkılı-150 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği.....	88
Şekil 6.23. Süneklik yüzdesel artış grafiği.....	90
Şekil 6.24. Maksimum taşınan yükte yüzdesel azalma grafiği	90
Şekil 6.25. 50 mm Adım Mesafeli –Denge altı Donatılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği	91
Şekil 6.26. 100 mm Adım Mesafeli –Denge altı Donatılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği	92
Şekil 6.27. 150 mm Adım Mesafeli –Denge altı Donatılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği	93
Şekil 6.28. Süneklik yüzdesel artış grafiği.....	94
Şekil 6.29. Maksimum taşınan yükte yüzdesel azalma grafiği	94
Şekil 6.30. 50 mm Adım Mesafeli –Denge üstü Donatılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği	95
Şekil 6.31. 100 mm Adım Mesafeli –Denge üstü Donatılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği	96
Şekil 6.32. 150 mm Adım Mesafeli –Denge üstü Donatılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği	97

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Beton sınıfına göre k_1 değerleri	14
Tablo 3.2. Çelik donatılarda f_{yd} değerleri.....	15
Tablo 4.1. Deney numunelerinin kesit ve malzeme özellikleri.....	30
Tablo 4.2. Katkısız deney numuneleri isimlendirme	31
Tablo 4.3. %20 Demir tozu katkılı deney numuneleri isimlendirme.....	32
Tablo 4.4. Beton reçetesi.....	36
Tablo 4.5. Beton basınç deney sonuçları	42
Tablo 4.6. Gerinim ölçer (Strain gauge) özellikleri	46
Tablo 5.1. Konsol kiriş numune çatlak özellikleri	49
Tablo 5.2. %20 Demir tozu katkılı konsol kiriş numunesi çatlak özellikleri.....	50
Tablo 5.3. Katkısız deney numunelerinin süneklik ve taşıdıkları maksimum yük sonuçları	52
Tablo 5.4. %20 Demir tozu katkılı deney numunelerinin süneklik ve taşıdıkları maksimum yük sonuçları	53
Tablo 6.1. Katkısız konsol kiriş numunelerinde etriye adım mesafesi bakımından karşılaştırma tablosu.....	71
Tablo 6.2. %20 Demir tozu katkılı konsol kiriş numunelerinde etriye adım mesafesi bakımından karşılaştırma tablosu.....	72
Tablo 6.3. Katkısız konsol kiriş numunelerinde etriye kanca açısı bakımından karşılaştırma tablosu.....	76
Tablo 6.4. %20 Demir tozu katkılı konsol kiriş numunelerinde etriye kanca açısı bakımından karşılaştırma tablosu.....	77
Tablo 6.5. Katkısız konsol kiriş numunelerinde denge altı ve denge üstü duruma göre karşılaştırma tablosu.....	82
Tablo 6.6. %20 Demir tozu katkılı konsol kiriş numunelerinde denge altı ve denge üstü duruma göre karşılaştırma tablosu	83

Tablo 6.7. Denge altı donatılı konsol kiriş numunelerinde katkılı ve %20 demir tozu katkılı duruma göre karşılaştırma tablosu	89
Tablo 6.8. Denge üstü donatılı konsol kiriş numunelerinde katkılı ve %20 demir tozu katkılı duruma göre karşılaştırma tablosu	93

ÖZET

Anahtar kelimeler: Betonarme, konsol kiriş, demir tozu, etriye adım mesafesi, etriye kanca açısı, süneklik

Endüstriyel atıklar günümüzde büyük bir sorun oluşturmaktadırlar. Bu çalışmada fabrikalarda ortaya çıkan atık demir tozunun geri dönüşümü olmaması nedeniyle betonarme konsol kirişin eğilme altında davranışında, etriyenin kanca açısı ve adım mesafesinde değişiklik yapılarak ne tür sonuçlar vereceği araştırılmıştır.

Deneysel olarak gerçekleştirilen bu tez kapsamında, denge altı ve denge üstü donatılı betonarme konsol kirişlerde demir tozu katkı maddesi kullanılması halinde basit eğilme halinde davranışı incelenmek istenmiştir. Çalışmada ayrıca etriye kanca açısı ve etriye adım mesafesi değiştirilerek farklı tipler oluşturulmak istenmiştir. Çalışmada toplam 48 adet betonarme konsol kiriş üretilip deneysel olarak test edilmiştir. Bu numunelerde 48 adet numuneyi 24'ü katkısız referans numune diğer 24'ü ise %20 demir tozu katkılı numuneler oluşturmaktadır. Katkılı ve katkısız numunelerin boyuna donatılarındaki donatı çapı değiştirilerek yarısı denge altı donatılı diğer yarısı denge üstü donatılı olacak şekilde tasarlanmıştır. Etriye ile ilgili olarakta adım mesafesi 50 mm, 100 mm ve 150 mm olacak şekilde 3 tipte seçilip etriye kanca açısında ise 90 derece ve 135 derece olacak şekilde 2 tip kanca açısı kullanılmıştır. Tüm betonarme konsol kiriş numunelerde en kesit boyutu olarak 150*200 mm uzunluğu ise 400 mm seçilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre, etriye adım mesafesi 50 mm olması halinde tüm numunelerde etriye adım mesafesinin 150 mm olması haline kıyasla süneklik açısından yaklaşık %10 civarı daha sünek davranış görülmüş olup taşınan maksimum yük miktarında %15 civarı artış görülmüştür. Etriye kanca açısının 135 derece olduğu durumda ise 90 dereceye kıyasla süneklik açısından %5 daha sünek davranış görülmüş olup taşınan maksimum yük miktarında ise %4 civarı artış görülmüştür. Tüm numunelerde denge altı donatılı numuneler denge üstü donatılı numunelere oranla %14 daha sünek davranıp taşınan maksimum yük miktarında ise %13'lük bir azalma görülmüştür. Demir tozu katkı maddesinin etkisine bakıldığında ise tüm numunelerde ortalama olarak %15 civarı daha sünek davranış gösterip taşınan maksimum yük miktarında ise %14 civarı bir azalma görülmüştür.

MOMENT CARRYING OF STIRRUP IN IRON POWDER ADDED CONSOLE BEAMS EFFECT ON CAPACITY

SUMMARY

Keywords: Reinforced concrete, cantilever beam, iron powder, stirrup step distance, stirrup hook angle, ductility

Industrial wastes are causing non-negligible problems today. In this study, the behavior of the reinforced concrete cantilever beam under bending due to the non-recyclability of the waste iron dust generated in the factories was analysed by making changes in the hook angle and pitch distance of the stirrup. Within the scope of the thesis, which was carried out experimentally, the research has aimed to test the behavior of simple bending when using iron powder additives in reinforced concrete cantilever beams on sub-balance and above-balance reinforcement. In the study, it was also aimed to create different types by changing the stirrup hook angle and stirrup step distance. Also, the total of 48 reinforced concrete cantilever beams were produced and tested.

According to the information above, 48 samples are composed of 24 pure reference samples and 24 samples containing 20% iron powder. The diameter of the reinforcement in the longitudinal reinforcement of the specimens with and without additives was changed, and half of them were designed to be under-equilibrium reinforced and the other half to be overbalanced. Regarding stirrups, 3 types of step distance were chosen as 50 mm, 100 mm and 150 mm, and 2 types of hook angles were used at 90 degrees and 135 degrees for stirrup hook angles. In all reinforced concrete cantilever beam specimens, 150 * 200 mm has been chosen as the cross-section dimension and 400 mm in length. In accordance to the results obtained from

The study; if the stirrup step distance is 50 mm, compared to the stirrup step distance of 150 mm in all samples, approximately 10% more ductile behavior was observed in terms of ductility and an increase of 10 % was observed in the maximum load amount carried. When the stirrup hook angle is 135 degrees, 5% more ductile behavior was observed in terms of ductility compared to 90 degrees, and an increase of around 4% was observed in the maximum amount of load carried. Additionally, in all samples the sub-equilibrium reinforced behave 14% more ductile than samples with above equilibrium reinforcement, and a 13% decrease in the maximum load amount transported was observed. When the effect of the iron powder additive was examined, it was observed that all samples showed an average ductile behavior of about 15% and a decrease of about 14% in the maximum amount of load carried.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde betonarme yapılar yaygın kullanımı olmasından son derece önemli bir yer almaktadırlar. Bu betonarme yapıların davranışlarının tespiti yapılabilmesi için betonarme yapıların ana taşıyıcı unsurları olan kolon, kiriş, temel, perde yapı güvenliği için önemli yer tutmaktadır. Özellikle kirişler hem statik hemde dinamik yükler etkisinde kaldığından doğrusal olmayan davranışı iyi incelenmelidir.

Betonarme kirişler geniş açıklıkları geçmede sıkıntı yaşamaktadırlar. Bir ucu gömülü (ankastre) diğer ucu ise boşta serbest olan kirişlere ise konsol kiriş denir. Bu konsol kirişler mesnetlemeden ötürü büyük yerdeğiştirmelere maruz kalırlar fakat günümüzde kat alanını büyütme adına yaygın bir kullanımı bulunmaktadır. Kat alanlarının büyütülmesi sonucu konsol kirişler üzerine ilave duvar yükleri eklenmesi ile sehim yapmakta ve bu duvarlarda geniş çatlaklar gözlemlenmektedir [1]. Bu sebeplerle konsol kirişlerin tasarlanma aşaması önemli bir hal almaktadır.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Günümüzde endüstriyel atıkların geri dönüşümü çokça arzulanmaktadır [2]. Bu sebeptendir ki çelik fabrikalarında cnc tezgâhlarında kesilen çelik sonucu havaya gözle görülemeyecek boyutta demir tozu partikülleri salınır. Hava filitreleri sayesinde bu toz partikülleri filtre makinesinde biriktirilir (Şekil 1.1.). Filtre makinesinde çıkartılan bu toz parçaları demir molekülleri içerdiğinden kırmızı bir renk halini almıştır. Bu demir tozu makineden çıkartıldıktan sonra geri dönüşümü olmamaktadır ve endüstriyel atık depolarına götürülür.

Deneysel olarak gerçekleşen bu tezde bu demir tozları beton içerisinde kullanılarak hem dayanıma karşı bir etki hem de çevresel atık ortadan kaldırılarak önemli bir kazanç sağlanmak istenmiştir.



Şekil 1.1. Demir tozunun toplandığı hava filtre makinesi

Deney numuneleri oluşturulurken endüstriyel atıkların beton yapı malzemesine olan etkileri birçok tez de incelenmiş olduğu görülmüştür. Fakat betonarme bir yapı elemanına olabilecek etkisi göz ardı edildiği fark edilmiş olup betonarme bir yapı elemanı olan konsol kiriş oluşturulmak istenmiştir.

Ülkemiz deprem bölgesinde bir ülke olması sebebiyle birçok depremle karşılaşmıştır. Bu depremler de kirişlerin önemi çok açıkça ortaya çıkmıştır. Yaygın bir kullanım alanı olan konsol kirişlerde ise çok önemli hasarlar incelenmiştir. Bu hasarların sebepleri incelenmesi konusunda kapsamlı bir çalışma görülmemiştir. Bu kapsamda ülkemizde ki çok sayıda bina kat alanın genişletilmesi amacıyla zemin kat itibarıyla duvarlar konsol kirişlere oturtulduğu gözlemlenmiştir. Bu konsol kirişlerde üzerindeki duvar yükleri sebebiyle konsol kirişler sehim yapmaktadır ve bu duvarlarda geniş çatlaklar oluşmaktadır [1]. Söz konusu hasarlar sonucu konsol kiriş tasarımı ile ilgili

yönetmeliklerde bulunan ölçütlerin yetersiz olabileceği öngörülmüştür. Bu tezde farklı tasarım ölçütleri kullanılarak oluşturulacak konsol kirişlerde yapı elemanın davranışı incelenip en iyi tasarım şekli ortaya konulmak istenmiştir.

Deney numuneleri oluşturulurken birçok tasarım farklılığı oluşturularak en iyi sonuç veren konsol kiriş incelenmek istenmiştir. Konsol kirişlerde öncelikle çekme donatılarında denge altı ve denge üstü durum oluşturuldu. İkinci olarak bu iki duruma ek etriyenin konsol kirişte kesme davranışına etkisi için etriye açısı 90 ve 135 derece ve etriye aralığı olarakta 50, 100, 150 mm olacak şekilde düşünüldü. Oluşturulan konsol kirişler Sakarya üniversitesi inşaat mühendisliği laboratuvarında bulunan kiriş deney düzeneği kullanılarak basit eğilme altında konsol kiriş davranışının incelenip en iyi kombinasyonun hangi durumda sağlandığı gözlemlenmek istenmiştir (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Deney Numunelerin 3 Boyutlu Modellemesi

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Betonda Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Farklı Endüstriyel Atıklar Hakkında Yapılmış Çalışmalar

Hanifi Binici ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda; demir tozu içeren harçların ve betonların dayanım ve dayanıklılığı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Deneyde beton harcı oluşturulurken belirli bir oranda kum azaltılarak yerine %10, %20 ve %40 oranlarında demir tozu kullanmışlardır. Numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarını incelemişlerdir. Sonuç olarak demir tozu katkılı numuneler şahit numuneler ile karşılaştırıldığında dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca numunelerin dayanımları üzerinde yüzde oranlarında önemli bir etkisi görülmüştür. En iyi sonuçların %20 oranlı demir tozu katkılı numunelerde olduğu, basınç dayanımının şahit numuneye oranla %50 daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir [3].

Hasan Hüseyin Taş ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda; endüstriyel demiş talaşı atığını beton küp (15x15x15 cm) numunelerde belli oranlarda kullanarak dayanım üzerindeki etkisini incelemişlerdir. C25 ve C30 dayanımlı şahit numuneler üretmişlerdir. Demir talaşı atıklı deney örnekleri, şahit betonların 0–2 mm aralığındaki agrega ağırlığının %50 oranında azaltılması ve yerine aynı oranda atık demir talaşının ilave edilmesi ile hazırlamışlardır. Deney sonucunda %50 demir talaşı atığı kullanılan numunelerin şahit numunelere oranla basınç dayanım verilerinin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür [4].

Mehmet Uzun ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda; birçok cam eşyanın kırılması sonucu kullanılmaz hale geldiği ve cam atıklarının geri dönüşüm ile kullanılması gerektiği düşünülüp 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 şahit numuneye oranla düştüğü fakat %15 ve %20 cam tozu oranlı numunelerin şahit numuneye oranla yaklaşık %20 daha iyi dayanım gösterdikleri görülmüştür [5].

M. A. Çakıroğlu ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda; teneke ambalaj atıklarının beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması konulu çalışmalar yapmışlardır. 40mm/5mm, 50mm/5mm ve 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 şahit numunelere oranla daha yüksek dayanım görülmüştür [6].

Hasan Dilbas ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda; günümüzde inşaat sektörü hızla gelişmekte olup inşaat malzemelerine kaynak olan olan maddelere ihtiyaç fazlalaşmaktadır. Ayrıca kentsel dönüşümler ile eski binaların yıkımı sonucu ortaya çıkan moloz atıklarının geri dönüşümü üzerinde araştırma yapmışlardır. Bu sebeple yıkılmış binalardan çıkarılan molozlar belirli oranlarda geri kazanılmış agregalar şeklinde kullanılarak 15 beton karışımı üretmişlerdir. Bu karışimli betonlarda silis dumanı katkısı kullanmışlardır ve beton numuneleri konsol kiriş tipinde üretmişlerdir. Deney sonucunda %30 oranına kadar geri dönüşümlü agrega kullanımının eğilme davranışına olumlu etkisi olduğunu görmüşlerdir [7].

Cuma Kara ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda; bir çay fabrikasına ait endüstriyel atık olarak yakma ünitesinde kuru tip toz siklon filtre sisteminde tutulan kömür külünün beton üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çimentonya %5, %10, %15 oranlarında bu katkı maddesinden eklemişlerdir. Oluşturulan beton numuneler üzerinde basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapmışlardır. Deney sonuçlarında %5 katkılı betonların şahit numunelere göre yaklaşık %20 daha iyi basınç dayanımında bulunduğunu görmüşlerdir. Fakat bu katkının %15 oranına kadar beton içerisinde kullanılabileceği kanısına varmışlardır [8].

Başak Mesci ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda; günümüzde geri dönüşüm çok daha önemli bir hal almış olup endüstriyel atıkların yapı sektöründe kullanılması için birçok

araştırmalar yapılmıştır bu sebeple bakır endüstrisi sonucu fabrikalarda açığa çıkan bakır flotasyon atıklarının beton içerisinde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. 6 farklı oranda beton içerisine bakır flotasyon atığını katkı olarak eklemişlerdir. Yapılan deney sonuçlarında bakır atığı katkı maddesinin beton basınç dayanımında bir miktar azalmaya sebep olduğunu görmüşlerdir. Katılan katkı oranı arttikça dayanımın daha da düştüğünü gözlemlemişlerdir. Dayanımdaki bu azalmanın nedeninin bakır atığında bulunan puzolanik özelliğin, çimento da bulunana göre daha düşük olduğundan kaynaklandığını anlamışlardır [9].

C. Özel ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda; inşaat sektöründe ki gelişmeler neticesinde yeni katkı maddeleri bulunması için PET (polietilen tereftalat) yani pet şişelerin betonda fiber katkı olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. PET miktarını 300 gr/m^3 , 600 gr/m^3 ve 900 gr/m^3 olarak belirlemişlerdir. Ayrıca polipropilen fiber katkılı numunelerde hazırlamışlardır. 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 kullanılabilieceği kanısına varmışlardır [10].

Y. Koçak ve L. Alpaslan yaptıkları çalışmalarda; günümüz otomotiv sektörünün gelişmesi sonucu birçok atık materyal ortaya çıkmakta olduğunu gözlemlemişlerdir. Özellikle araç lastiklerinin ömrünün kısalığı sonucu atık haline gelen bu lastiklerin depolanmasındaki zorluklar ve bunun sonucunda doğaya olan zararının azaltılması için bu lastikleri öğütüp beton içerisinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Sonuç olarak basınç ve çekme dayanım sonuçları kapsamında atık lastik katkılı numunelerin şahit numunelere oranla daha düşük dayanım değerleri verdiği ve istenilen sonuçlara ulaşılamadığını gözlemlemişlerdir [11].

Günseli Kalınçimen ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda; endüstriyel atıkların depolanması konusunda büyük problemler görüp seramik endüstrisi kapsamında araştırma yapmışlardır. Seramik tozlarını çimento ikame malzemesi olarak kullanılıp kullanılamiyacağını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda seramik tozunun taze harç üzerinde olumlu etkiler verdiğini görmüşlerdir. Fakat seramik tozu

kullanımı artmasıyla basınç dayanımda azalmalar olduğunu belirlemişlerdir. %15 seramik tozunun olumsuz etkilerinden %10 ise çimento özelliklerinde bir miktar iyileştirme yaptığını görmüşlerdir [12].

2.2. Betonarme Kirişler Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Yunus Ekinci ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda; betonarme binalarda kat alanlarını arttırmak amaçlı olarak balkon ve çıkma konsol gibi elemanların üzerine duvarların oturtulması sonucu bu duvarlarda görülen çatlakları incelemişlerdir. Bu duvarlarda görülen çatlakların duvar özelliklerinden değil de ağırlıkları ile konsol kirişlere fazladan ilettikleri yüklerden kaynaklı olduğu sonucuna varmışlardır. Çalışmanın sonunda üst kattaki konsol kiriş yüklerinin yaklaşık olarak %25 inin dolgu duvarlar aracılığı sayesinde aşağıdaki konsol kirişlere iletildiğini anlamışlardır [13].

Metin Hakan Severcan ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda; üç farklı donatı oranlı kiriş numuneler üreterek, açıklık ortasında iki noktasal yük ve tekil yük ile yükleme yaptıkları kirişlerde donatı oranlarının deplasman değerleri üzerindeki etkisini incelemek istemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda orta açıklıkta tekil yük ile yükleme yapılan aynı donatı oranlı kirişlerin iki noktasal yük etkisi altında yükleme yapılan numunelere oranla daha fazla deplasman yaptığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca kirişlerin çekme donatısı oranı arttırıldığında taşıma kapasitesinin arttığını gözlemlemişlerdir [14].

Selçuk Saatçi ve Baturay Batarlar yaptıkları çalışmalarda; çelik fiber katkısının etriyesiz farklı boyuna donatı oranlı kirişler üzerinde eğilme davranışına etkisini incelemişlerdir. Kirişlerde etriyesiz olması sebebiyle etriye görevi görmesi için çelik fiberleri kullanmışlardır. Deney sonuçlarında çelik fiber oranı arttırıldıkça düşük boyuna donatılı kirişlerde %50 oranında eğilme kapasitesi artmıştır. Fakat çelik fiber oranının arttırılması çatlak dağılımını olumlu yönde etkilemede etriye bulunmamasından ötürü davranışta önemli bir fark oluşturmadığını görmüşlerdir [15].

S. Bahadır Yüksel ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda; betonarme kirişlerde boyuna donatı olarak kullanılan çekme donatısı ve basınç donatısı farklı oranlardayken moment-eğrilik davranışına olan etkisini araştırmışlardır. Betonarme kirişler numunelerde basınç donatısı oranı arttığında akma momenti kırılma momenti artarken akma eğrilik momentinin azaldığını görmüşlerdir. Basınç donatısı oranının artması ile betonarme kirişlerde süneklik ve rijitliklerinin arttığını görmüşlerdir [16].

Nail Kara ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda; betonarme çerçevelerde etriye düzeninin yatay yük taşıma kapasitesine olan etkisini incelemişlerdir. 3 katlı 3 açıklıklı etriye kanca açıları 135 derece olan, birleşim bölgelerinde sıklaştırması yapılmış betonarme çerçevede deprem etkisine benziyecek şekilde tersinir-tekrarlanır yatay yük altındaki davranışı incelemişlerdir. Bir diğer çerçeve sistemi olarakta 3 katlı 3 açıklıklı etriye kanca açısı 90 derece olan birleşim bölgelerinde sıklaştırması yapılmamış betonarme çerçeve sistem tersinir-tekrarlanır yatay yük altındaki davranışlarını incelemişlerdir. 2 sistemi birbiriyle karşılaştırdıklarında 135 derece kanca açılı sistem eksenel yük altında daha iyi sonuçlar verdiği görmüşlerdir, birleşim bölgelerinde sıklaştırma yapılması ile birleşim noktasındaki hasar oluşumunun engellendiğini görmüşlerdir [17].

Fatih Mehmet Özkal yaptığı çalışmalarda; kesme açıklığı küçük betonarme kirişlerde kiriş içerisinde oluşan kesme etkisini sınırlamak için farklı etriye tasarımları kullanılıp katkısını incelemiştir. Ayrıca etriyelerde farklı kanca açıları kullanılarak kenetlenme özelliği hakkında inceleme yapmıştır. Kesme açıklığının küçük olması halinde kesme davranışını tamamen ortadan kaldırmadığını, etriye yerleştirilmesinin ve kanca açısının kenetlenme özelliğinde vedavranışta önemli farklar yarattığını görmüştür. Sonuç olarak kesme etkisinin yoğunlukta olduğu betonarme elemanlarda etriyenin yapısal davranışta çok büyük önemi olduğunu görmüştür [18].

İrfan Koçak yaptığı çalışmada; betonarme bir yapıda farklı beton dayanımı ve etriye aralığı etkisini incelemiştir. 100 mm, 150 mm ve 250 mm olarak 3 etriye aralığı ve 3 çeşit beton dayanımı oluşturmuştur. Yaptığı çalışma sonucunda beton dayanımında, etriye aralığında doğrusal ötesi davranışa etkisini görmüştür. Yüksek beton dayanımı

yatay yük taşımada daha iyi sonuç vermiş olup etriye aralığı az olan elemanlarda maksimum deplasman kapasitesinde artış görmüştür [19].

F. Mehmet Özkal ve Habib Uysal yaptıkları çalışmalarda; kesme etkisinin hakim olduğu yerlerde çubuk benzeşimi yöntemiyle donatı düzeninin belirlenmesi için bir çalışmada bulunmuşlardır. Çalışma kapsamında çubuk benzeşimi yöntemini betonarme konsol kiriş üzerinde uygulamışlardır. Deneysel olarak geleneksel ve çubuk benzeşimi yöntemiyle tasarlanmış kirişler arasında çubuk benzeşimi yöntemi kullanılması halinde tasarım mühendisleri için tecrübe gerektirmeden daha başarılı sonuçlar alabileceğini görüp söylemişlerdir [20].

S. altın ve Ö. Anıl yaptıkları çalışmalarda; kesme dayanımına karşı güçlendirmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışma kapsamında, betonarme kirişlerde kesmeye karşı kelepçelerle güçlendirme yapıp tersinir ve tekrarlanan yükler altında etkisini incelemişlerdir. Betonarme kirişleri konsol kiriş şeklinde tasarlamışlardır. Güçlendirilen konsol kirişlerde sünek davranış açısından artış gösterdiği görmüşlerdir. Ayrıca kelepçeler göçme anına kadar işlevine devam ettiğini görmüşlerdir [21].

Zviad Turmanidze yaptığı çalışmalarda; etriye kanca açısı 90 derece ve 135 derece olduğu durumda kalın kolonlarda dayanım, süneklik ve kırılma davranışına olan etkilerini incelemiştir. Yaptığı çalışma sonucunda etriye kanca açısının ve etriye aralığının aksenal yük altında önemli olduğu sonucuna varmıştır. Etriye aralığı fazla olan kolon numunelerde boyuna donatılarda burkulma, etriye kanca açısı 90 derece olduğu durumda ise etriyeler açılarak kırılmalar gerçekleştiğini görmüştür [22].

Erkan Töre yaptığı çalışmalarda; geniş betonarme kirişlerde plastik şekil değiştirme davranışını incelemiştir. İki farklı donatı düzeni ile dört adet konsol kiriş üzerinde süneklikleri, yatay yük dayanımı ve göçme şeklini açısından inceleme yapmıştır. Yaptığı deneyler sonucunda sargı donatısı yetersiz olup, alt üst boyuna donatı oranında fark fazla iken eğilme-kesme göçmesi gerçekleştiğini görmüştür. Ayrıca çift etriye kullanımı olan kirişlerde hasar sınırlarının oldukça istenilen seviyede olduğunu belirtmiştir [23].

Hüseyin Bilgin ve H. Baytan Özmen yaptıkları çalışmalarda; deprem anında ayakta kalması mecburi olan önemli kamu yapılarının performanslarını arttırmak için çalışmalar yapmışlardır. Önemli kamu binalarının performansında enine donatı ve beton dayanımının önemini araştırmışlardır. 2 bloklu bir hastane binası seçip 2 çeşit beton sınıfı ile 2 çeşit etriye aralığını kombine ederek performans analizinde bulunmuşlardır. Enine donatı miktarı ve beton sınıfı düşük olduğu vakit kesme kırılması ihtimalinin arttığını görmüşlerdir. Ayrıca beton dayanımı düşüp etriye aralığı yetersizleştğinde deplasman kapasitesinde %60 civarı düşüş görmüşlerdir [24].

Tamer Birol yaptığı çalışmalarda; ultra yüksek performanslı lifli betonları çok yüksek basınç dayanımı, çekme dayanımı ve süneklik açısından yüksek performans vermekte olduğunu ve ultra yüksek performanslı betonarme kirişlerin eğilme altındaki davranışını incelemiştir. Ultra yüksek performanslı lifli kirişlerin lifsiz referans kirişlere oranla eğilme kapasitesinde ve çatlak dağılımı bakımından avantajlı olduğunu belirlemiştir. Ultra yüksek performanslı lifli kirişlerin maksimum donatı oranını geçmesine rağmen süneklik açısından yeterli değerleri verebildiğini görmüştür [25].

Gökhan Şakar ve Ömer Zafer Alku yaptıkları çalışmalarda; betonarme kirişlerde kesme kırılması gevrek kırılma içerdiğinden bunu önlemek adına çalışmalarda bulunmuşlardır. Lifli polimer malzemelerin kesmeye karşı dirençli olduğunu görüp karbon fiber lifli polimer levhalar kullanarak t kesitli betonarme kirişler üzerinde deneysel çalışmada bulunmuşlardır. Yaptıkları deneylerde lifli polimer malzemesi tek ve çift doğrultulu olarak 2 çeşit düşünmüşlerdir. Deneysel sonuçlarda kirişlerin dayanım ve davranışında iyileşmeler görmüşlerdir. En büyük iyileşmeyi çift kat tek doğrultulu levhaların dik yapıştırıldığında verdiğini görmüşlerdir [26].

BÖLÜM 3. BETONARME KİRİŞLERDE EĞİLME DAVRANIŞI

Betonarme kirişler üzerine gelen yükler kapsamında eğilmeye başlarlar ve bu eğilme sonucu eğilme momenti, normal kuvvet, kesme kuvveti gibi etkilerle karşı karşıya kalırlar. Bilindiği üzere betonun çekme dayanımı çok az olup donatısız bir şekilde çekme gerilmesini betona taşımak pek mantıklı değildir. Bu sebeple çekme gerilmesini karşılamak adına beton içerisine donatı konulur [27]. Betonarme kiriş içerisine yerleştirilen bu donatıların miktarı, boyutu, oranı ve hatta konumu kirişin eğilme altındaki davranışı etkiler.

Kirişler çekme ve basınç bölgesinde donatı bulunması durumuna göre tek ve çift donatılı olarak ikiye ayrılırlar. Tek donatılı kesitli kirişlerde boyuna donatı sadece çekme bölgesinde bulunurken çift donatılı kesitli kirişlerde basınç ve çekme bölgesinde bulunur. Ayrıca deprem yönetmeliğinde belirtildiği üzere tek donatılı kesite sahip kirişlere yapılarda izin verilmemektedir [28].

3.1. Dikdörtgen Tek Donatılı Kesitli Betonarme Kirişlerde Eğilme Davranışı

Betonarme bir kiriş basit eğilme altında donatı oranına göre farklı davranışlar göstermektedir. Bu donatı oranına bağlı olarak üç tip kırılma gözlenir [29]:

1. Dengeli kırılma (İstenmeyen durum)
2. Basınç kırılması (İstenmeyen durum)
3. Çekme kırılması (İstenen durum)

Betonarme kirişlerde yük altında eğilme sonucu en dış çekme lifindeki birim uzama betonun çekmedi ki birim uzama sınırına ulaşması ile ilk çatlak oluşumu gözlenir.

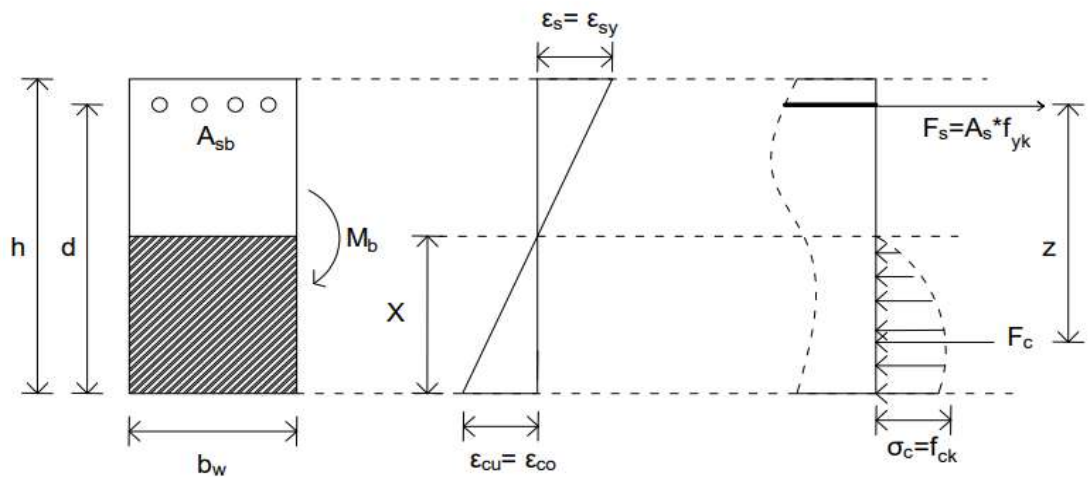
Donatı bulunmayan kirişlerde oluşan çatlaklar hızla genişleyerek kirişin kırılmasına sebep olur. Bu bağlamda kirişlerin tamamen gevrek kırılmasını önlemek adına yönetmeliklerde minimum donatı oranı belirlenmiştir [29]. Dolayısıyla donatı oranı kiriş kırılma tipini etkiler.

3.2. Dengeli Kırılma (Gevrek Kırılma)

Betonda ezilme ile donatıdaki akmanın aynı anda gerçekleştiği durumdur. Bu durum gerçekleştiği zaman malzeme kapasitesinin tam olarak kullanıldığı en iyi kesit olduğu söylenir. Malzemenin optimumda kullanılması iyi bir durum gibi gözüksede bu halde oluşan kırılma gevrek bir kırılma yani ani bir kırılmadır. Bu kiriş içerisindeki donatı oranına dengeli donatı (ρ_b), kirişe de dengeli kiriş denir [28].

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b_w d} = \frac{0,85 \cdot c_d}{f_{yd}} k_1 \left(\frac{\varepsilon_{cu} E_s}{\varepsilon_{cu} E_s + f_{yd}} \right) \quad (3.1)$$

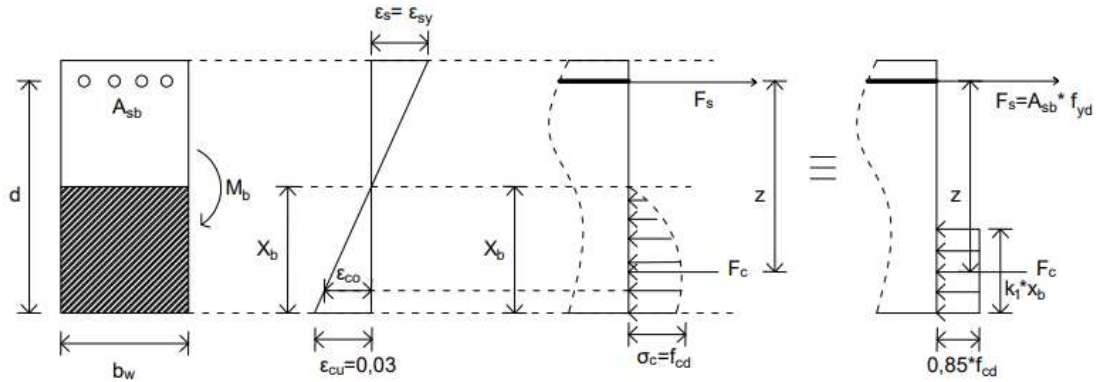
Şeklinde hesaplanır. Bu tip bir kırılma istenmeyen durumdur. Çünkü ani göçme durumu gerçekleşip insanlar farkında olmadan göçme meydana gelebilir. Bu sebeple kiriş içerisindeki maksimum donatı oranı belirlenirken dengeli donatı oranı göz önüne alınır. Şekil 3.1.'de dengeli donatı durumunda kesit diyagramı verilmiştir. ($\rho_b = \rho$)



Şekil 3.1. Dengeli donatılı kesit diyagramı

3.2.1. Dengeli donatılı kirişlerin taşıma gücü hesabı

Dengeli donatılı kirişlerin kırılması sırasında beton ezilmesi ile donatının akma durumu aynı anda gerçekleşir. Beton birim kısalması maksimum kısalmaya ulaşırken, donatıdaki birim uzama akma birim uzamasına ulaştığı zaman aynıdır. Bu sebeplerledir ki kırılma gevrek tipte olur. Yönetmeliklerde de söylenildiği gibi gevrek kırılma istenilmeyen bir durum olsada sınır bir durum olan dengeli kırılma anında taşıma gücü hesabı durumun anlaşılması açısından hesabı şu şekilde yapılır [30]. Şekil 3.2.'de dengeli donatılı kesitte bileşke kuvvet diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.2. Dengeli donatılı kesitte bileşke kuvvet diyagramı

Kiriş kesitinde yatay denge denklemleri kullanılarak dış kuvvet momenti ile iç kuvvet momenti eşit olur öngörüsü üzerinden hesaba başlanılır. Burada dengeli donatı alanı A_{sb} ile gösterilir.

$$F_c = F_s \rightarrow 0,85f_{cd} * b_w * k_1 * x_b = A_{sb} * f_{yd} \quad (3.2)$$

Düzlem kesitler şekil değiştirmelerine rağmen düzlem kabul edilir ve benzer üçgenler kullanılarak uygunluk denklemi yazılır (Denklem 3.3).

$$x_b/d = 0,003/(0,003 + \varepsilon_{sy}) \rightarrow x_b/d = 0,003/(0,003 + f_{yd}/E_s) \quad (3.3)$$

TS 500'e göre tüm donatı sınıfları için $E_s=2*10^5$ N/mm² (Mpa) olarak alınabilir.

$$\rho_b = A_{sb}/b_w * d \quad (3.4)$$

Dengeli durumdaki donatı alanı A_{sb} (3. 4) bağıntısından çekilerek (3. 2) bağıntısında yerine konularak aşağıdaki bağıntı oluşturulur.

$$\rho_b = 0,85 * k_1 * (f_{cd}/f_{yd}) * (0,003E_s/0,003E_s + f_{yd}) \quad (3.5)$$

Dengeli durumda eşdeğer basınç bloğu derinliği ($k_1 * x_b$), ($0,85f_{cd} * b_w * k_1 * x_b = A_{sb} * f_{yd}$) bağıntısından çekilerek;

$$k_1 * x_b = A_{sb} * f_{yd} / (0,85 * f_{cd} * b_w) \quad (3.6)$$

Moment kolu faydalı yükseklik ve tarafsız eksen derinliğine bağlı olduğundan aşağıdaki bağıntı oluşturulur.

$$z_b = d - (k_1 * x_b / 2) \quad (3.7)$$

Uygulanan iç kuvvetler $F_{sb} * z_b$ veya $F_{cb} * z_b$ ile dengelenmelidir.

$$M_{rb} = F_{sb} * z_b \rightarrow M_{rb} = A_{sb} * f_{yd} * z_b \quad (3.8)$$

Dengelemede yukarıdaki bağıntıdaki gibi $F_{sb} * z_b$ ile dengeleme durumu seçilmesi halinde dengeli durumda taşıma gücü momentine aşağıdaki bağıntı ile ulaşılabilir:

$$M_{rb} = A_{sb} * f_{yd} / (d - (k_1 * x_b / 2)) \quad (3.9)$$

Tablo 3.1.'de eşitliklerde kullanılan k_1 değerleri he bir beton sınıfı için verilmiştir.

Tablo 3.1. Beton sınıfına göre k_1 değerleri

Beton Sınıfı	C16	C18	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
k_1	0,85	0,85	0,85	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70

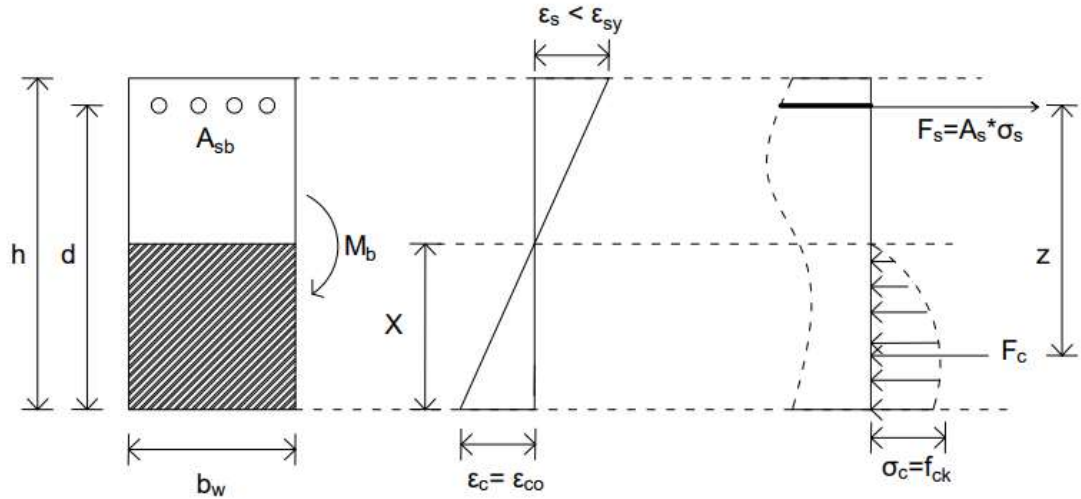
Tablo 3.2.'de eşitliklerde kullanılan f_{yd} değerleri he bir donatı sınıfı için verilmiştir.

Tablo 3.2. Çelik donatılarda f_{yd} değerleri

Donatı	S220	S420	S500
f_{yd}	1910	3650	4350

3.3. Basınç Kırılması (Gevrek Kırılma)

Kiriş donatısı akma sınırına gelmeden betonun ezildiği durumdur. Donatıda gerçekleşen gerilme akma dayanımından daha azdır. Donatıdaki birim uzamada akmaya karşı olan birim uzamadan azdır [29]. Betondaki birim kısalma maksimum kısalmayı oluşturuyorsa bu durum gerçekleşir. Şekil 3.3.'de denge üstü donatılı kesit diyagramı verilmiştir.

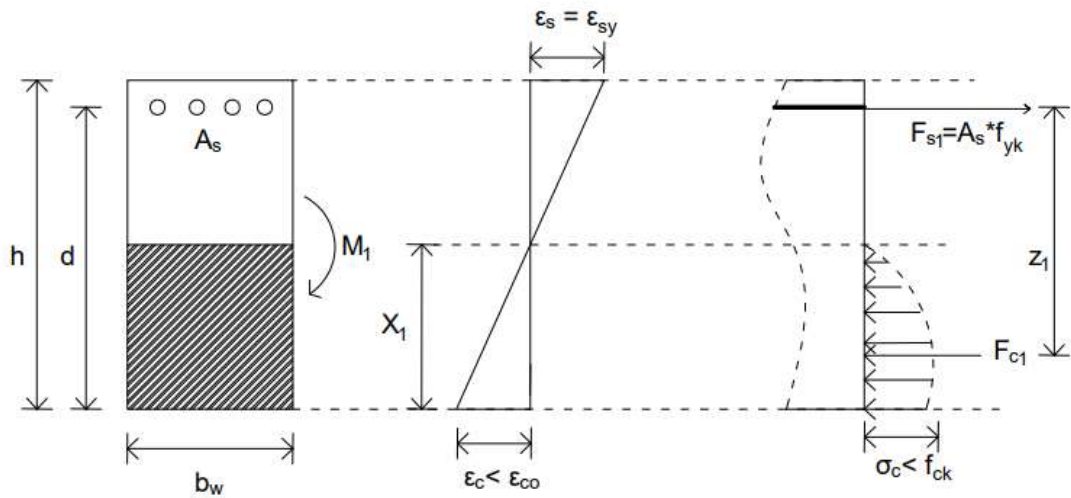


Şekil 3.3. Denge üstü donatılı kesit diyagramı

Basınç kırılması gevrek bir kırılma olup ani kırılma durumu gerçekleşir ve bu istenilmeyen bir durumdur. Bu tip bir kırılma gerçekleşmesine sebep olan donatı oranına denge üstü donatı oranı, bu tip kirişe ise denge üstü donatılı kiriş adı verilir. Bu tip bir kirişte donatı miktarı fazla olduğu anlaşılır ve tasarımı yapılırken yönetmelikler tarafından izin verilmez [28]. ($\rho_b < \rho$). Bu sebeple bu tip kirişler için taşıma gücü hesabı yapılamaz.

3.4. Çekme Kırılması (Sünek Kırılma)

Kirişte beton ezilmeden önce donatı akmaya başlamışsa sünek kırılma gerçekleşmiş demektir. Beton ezilme birim kısalmasına ulaşmadan donatı akma gerilmesine ulaşırsa çekme kırılması gerçekleşir. Bu tip kırılmada beton birim kısalması sınır değere ulaşana kadar donatı akma birim uzaması artar [29]. Şekil 3.4.'de denge altı donatı halinde kesit diyagramı verilmiştir.



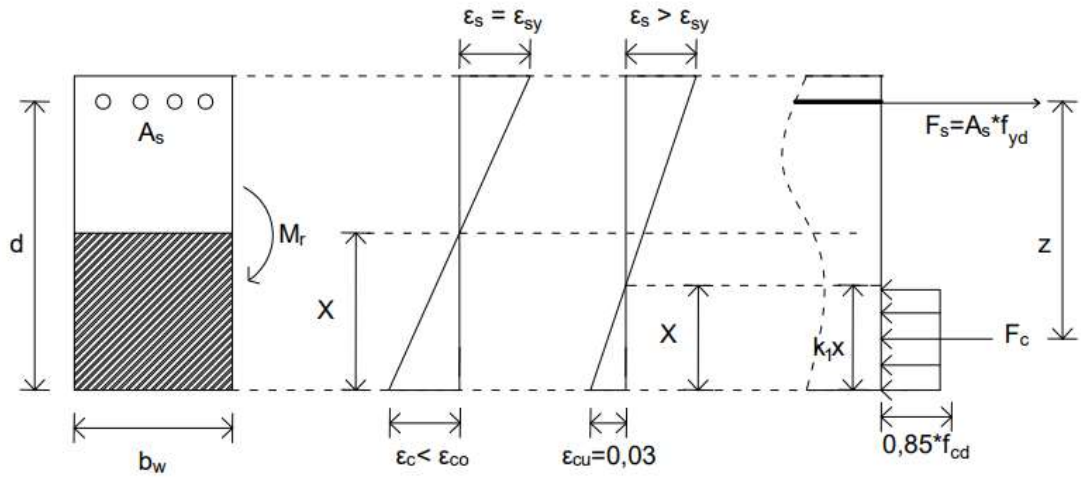
Şekil 3.4. Denge altı donatılı kesit diyagramı

Kırılma donatının akma durumuna geçmesi ile başlar. Kırılmaya erken başlayan kiriş çok fazla şekil değiştirmeye uğrar. Yük altında kirişin şekil değiştirdiğini görebilmesi insanların uzaklaşmasına fırsat tanır. Bu sebeple sünek davranış istenilen bir durumdur. Bu tipteki kirişlere denge altı donatılı kiriş, donatı oranına ise denge altı donatı oranı denir [29]. ($\rho_b > \rho$)

3.4.1. Denge altı donatılı kirişlerin taşıma gücü hesabı

Denge altı donatılı kirişlerin kırılması sırasında beton ezilme deformasyonuna ulaşmadan donatı akma durumuna ulaşır. Donatı uzamasıyla oluşan çatlaklar göçme öncesi haber vermiş olur. Bu tip kırılmaya sünek kırılma denir. Yönetmeliklerde de bu tip kırılma istenildiğinden denge altı donatı oranına göre hesap yapılır [28].

Donatı akma deformasyonuna ulaştığı anda betonun ise birim deformasyonuna ulaşmadığı andaki duruma göre hesap yapılır. ($\rho_b > \rho$) donatı oranına sahip bu kirişler adındanda anlaşıldığı gibi az donatılı bir kiriş tipidir [29]. Fakat donatı oranının azlığı veya maksimum ulaşabileceği oran için maksimum ve minimum sınırlar belirlenmiştir. TS 500’de $0.85 \cdot \rho_b = \rho_{max} > \rho$ koşulu bulunur. Şekil 3.5.’de denge altı donatılı kesitte bileşke kuvvet diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.5. Denge altı donatılı kesitlerde bileşke kuvvet diyagramı

Denge altı kirişlerde taşıma gücü momenti bulunurken uygunluk denklemi yazılmasına gerek olmadan bulunabilir.

Kuvvetler dengede olacağı için denge denklemi yazılabilir;

$$F_c = F_s \quad 0,85f_{cd} * b_w * k_1 * x_b = A_s * f_{yd} \quad (3.10)$$

Yukarıdaki bağıntıdan eşdeğer derinlik çekilirse;

$$k_1 * x_b = (A_s * f_{yd}) / (0,85f_{cd} * b_w) \quad (3.11)$$

Uygulanan iç kuvvetin dengelenmesi gerekir.

$$M_r = F_s * z \rightarrow M_r = A_s * f_{yd} * z \quad (3.12)$$

Yukarıdaki bağıntıya bakılırsa ve moment kolu için;

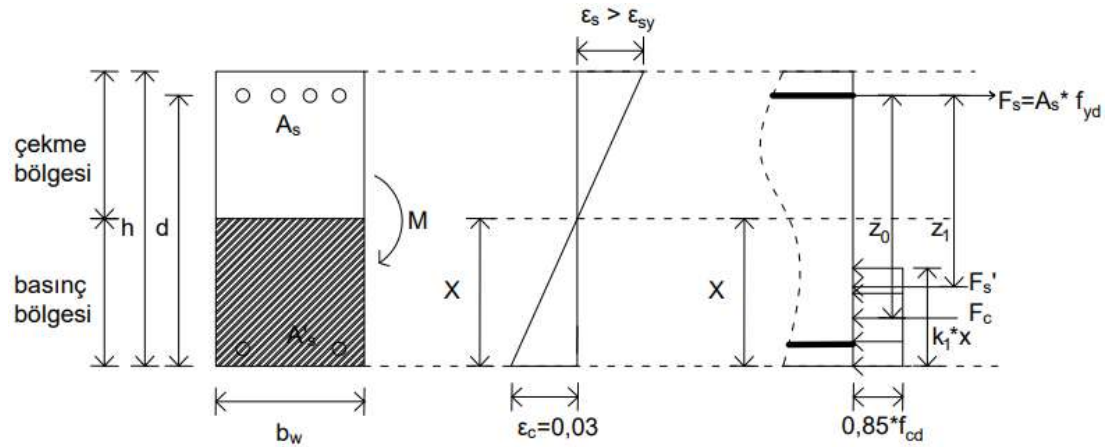
$$z = d - (k_1 * x_b)/2 \quad (3.13)$$

İfadesi yazılırsa dengealti donatılı kiriş için kesitin taşıma gücü momenti aşağıdaki bağıntı ile bulunabilir;

$$M_r = A_s * f_{yd} * (d - (k_1 * x_b/2)) \quad (3.14)$$

3.5. Çift Donatılı Kirişlerde Eğilme Davranışı

Kirişlerde boyuna donatı yerleştirilirken çekmeye çalışması için donatı kiriş alt bölgesine konulur. Fakat konsol kirişlerde işler biraz farklı olup çekmeye karşı üst bölge çalışması için üst bölüme donatı yerleşimi olur [30]. Ayrıca kiriş kesitinin taşıyabileceği moment için gerekli donatı oranı hesabı bir önceki bölümde gösterilmişti. Eğer bu kirişe taşıyabileceğinden daha fazla bir moment etki ettiği takdirde donatı oranı yetersiz kalabilir. Donatı oranını artırmak istediğimizde ($\rho_i < \rho$) durumuna ulaşmaması gerekir. Aksi takdirde kiriş istenilen deformasyon durumunu aşar. Bu tip bir durumda kesit taşıma kapasitesi arttırılmak istenildiğinde verilen deformasyon durumu aynı kalması şartıyla kesitin hem çekme hemde basınç bölgesine ilave donatı konulur. Bu tip kesitli kirişlere de çift donatılı kirişler denir [29].



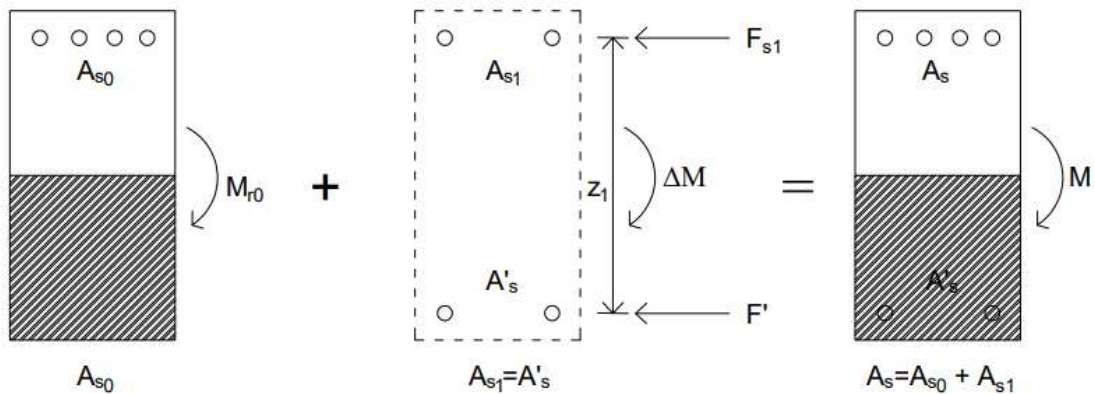
Şekil 3.6. Çift donatılı kiriş kesit diyagramı

Kirişleri sarması istenilen enine donatı olan etriyelerin düzgün şekilde yerleştirilip etriyelerin kirişi sarması için boyuna donatıların karşısına iki adet donatı konulur. Montaj donatısı adını verdiğimiz bu donatılar basınç bölgesinde bulunup gerektiğinde kesitin çift donatılı şekilde çalışmasında sağlamaktadır. Şekil 3.6.'da çift donatılı kesit diyagramı verilmiştir.

3.5.1. Çift donatılı kirişlerin taşıma gücü hesabı

Bir kirişin istenilen deformasyon durumunda sadece tek donatılı olarak taşıyabileceği momente M_{r0} ve bu moment için gerekli donatı alanınada A_{s0} denir. Kesite etkiyen moment M_{r0} 'dan küçük ise kesit tek donatılı olarak gereken momenti karşılar. $M > M_{r0}$ durumu ile karşılaşıldığında yalnız çekme bölgesine koyulacak donatı oranı arttırılırsa kiriş denge üstü bir duruma ulaşp gevrek bir kiriş davranışı gösterir. Bunu engellemek için tek donatılı şekilde taşınamayan ΔM momentini bulunur [29].

Kesite etkiyen $M = M_{r0} + \Delta M$ halini alır. ΔM momentini kesitte basınç ve çekme bölgelerini etkileyen kuvvet çiftine dönüştürülebilir. Basınç bölgesine etkiyen kuvvete F'_s çekme bölgesinde ise F_{s1} şeklinde adlandırılır. Bu kuvvetleri karşılaması için gereken donatı alanlarınınada hayali bir kesit oluşturulur ve A_s A'_s donatıları konulur. Şekil 3.7.'de çift donatılı kesitte kuvvet çifti diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.7. Çift donatılı kesitte kuvvet çifti diyagramı

Çift donatılı kesitte A'_s basınç donatısı alanını, A_s tek donatılı olarak istenilen davranışı gösterebilecek olan donatı alanı, ε'_s basınç donatısında oluşan şekil değiştirmeyi, σ'_s .

Basınç donatısındaki gerilmeyi, F'_s basınç donatısındaki bileşke kuvveti A'_s fark moment için basınç bölgesine yerleştirilen basınç donatısı alanı, F_{s1} tek donatılı kesitte çekme bölgesinde hesaplanan donatının bileşke kuvvetini göstermektedir.

$$A_s = A_{s0} + A_{s1} \quad (3.15)$$

Asal çekme donatısı oranı; $\rho = A_s * b_w / d$

Basınç donatısı oranı; $\rho' = A'_s * b_w / d$

Kesite etkiyen kuvvetler dengede olacağından aşağıdaki denge denklemi yazılabilir:

$$F_c + F'_s = F_s \rightarrow 0,85f_{cd} * b_w * k_1 * x_b + A'_s * \sigma'_s = A_s * f_{yd} \quad (3.16)$$

İç kuvvetin dengelenmesi gerektiğinden taşıma gücü momenti aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$M_r = 0,85f_{cd} * b_w * k_1 * x_b * \left(d - \left(k_1 * \frac{x_b}{2} \right) \right) + A'_s * \sigma'_s * (d - d') \quad (3.17)$$

Uygunluk bağıntıları yazılırsa basınç donatısındaki birim kısalma;

$$\varepsilon'_s = 0,003 * ((x - d')/x) \quad (3.18)$$

Tüm donatı sınıflarında $E_s = 2 * 10^5$ N/mm² alındığından;

$$\sigma'_s = 600 * ((x - d')/x) \quad (3.19)$$

Basınç bölgesinde gerilme düzeyi çok önemlidir. Basınç düzeyinin akma durumuna göre hesap değişmektedir. Basınç donatısının akıp akmadığını belirleyen sınır durum,

en dıştaki beton liflerinde birim kısalmasının ezilme birim kısalmasına ulaştığı zaman, basınç donatısının da birim kısalmasına ulaşması şeklinde tanımlanır [29].

Basınç donatısının akıp akmadığı kontrolü Denklem (3.20)'de belirtilmiştir.

$$\left. \begin{aligned} \rho - \rho' &\geq \left(0,85 * k_1 * \frac{f_{cd}}{f_{yd}}\right) * \left(\frac{600}{600-f_{yd}}\right) * (d'/d) \\ \sigma'_s &\geq f_{yd} \\ \varepsilon'_s &\geq \varepsilon_{sy} \end{aligned} \right\} \quad (3.20)$$

Basınç donatısı akma dayanımına ulaşması halinde ($\sigma'_s = f_{yd}$) olur ve bu durumda eş değer gerilme bloğu derinliği Denklem (3.21)'e göre hesaplanır.

$$k_1 * x_b = \frac{(A_s - A'_s) * f_{yd}}{0,85 * f_{cd} * b_w} \quad (3.21)$$

Basınç donatısı akma dayanımına ulaşmamış ise ($\sigma'_s \leq f_{yd}$) durumunda tarafsız eksenin bilinmesi gerekir.

$$0,85 f_{cd} * b_w * k_1 * x + (600 * A'_s - A_s * f_{yd}) = A_s * f_{yd} \quad (3.22)$$

Denklem (3.21)'de her iki tarafta x ile çarpılarak gerekli düzenlemeler yapılmış;

$$0,85 f_{cd} * b_w * k_1 * x^2 + (600 * A'_s - A_s * f_{yd})x - 600 * A'_s * d' = 0 \quad (3.23)$$

Denklem (3.22) oluşturulduğunda ikici dereceden bir denklem ortaya çıkar. Bu denklemde anlamlı kök tarafsız eksenin derinliğini oluşturur.

Moment denge denklemi ayrı ayrı yazılırsa;

$$M_{r0} = F_c * \left(d - \frac{k_1 * x_b}{2}\right) = 0,85 * f_{cd} * k_1 * x_b * \left(d - \frac{k_1 * x_b}{2}\right) \quad (3.24)$$

$$\Delta M = F'_s * (d - d') = A'_s * \sigma'_s * (d - d') \quad (3.25)$$

Çift donatılı kesitin taşıyabileceği moment hesabı;

$$M = M_{r0} + \Delta M \quad (3.26)$$

$$M = (0,85 * f_{cd} * b_w * k_1 x_b) * \left(d - \frac{k_1 * x_b}{2}\right) + A'_s * \sigma'_s * (d - d') \quad (3.27)$$

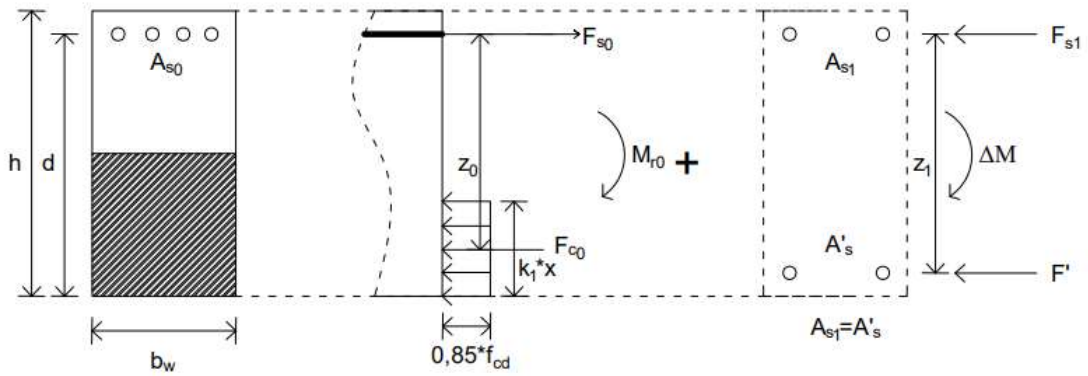
Beton bileşkesi için yerine $F_c = F_s - F'_s$ yazılırsa;

$$M = (A_s * f_{yd} - A'_s * \sigma'_s) * \left(d - \frac{k_1 * x_b}{2}\right) + A'_s * \sigma'_s * (d - d') \quad (3.28)$$

Burada basınç donatısı akma dayanımına ulaşmış ise $\sigma'_s = f_{yd}$ şeklinde alınır.

3.5.2. Çift donatılı kesitlerde konulan bazı sınırlamalar

Çift donatılı kesitli kirişlerde M_r momenti M_{r0} ve ΔM şeklinde ikiye ayrılarak hesap yapılabilir. Mevcuttaki kesite M_{r0} momenti etki eder. Betonda basınç bölgesinde ϵ_c birim deformasyonlarına M_{r0} momenti etki eder. Şekil 3.8.'de çift donatılı kesitte bileşke kuvvet diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.8. Çift donatılı kesitte bileşke kuvvet diyagramı

ΔM momenti ise hayali kesite etki eder. ΔM momentinden kaynaklı oluşan kuvvet çiftlerini karşılaması için A'_s ve A_{s1} donatıları konulur. Beton üzerinde ise ΔM momentinin etkisi yoktur [29]. Çift donatılı bir kesitte donatı oranı üzerine konulan sınırlamalar şunlardır;

$\rho_0 = A_{s0}/(b_w*d)$ ile tarif edilen ρ_0 üzerine yapılmalıdır.

ρ ; toplam çekme donatısı oranı; $\rho = A_s / (b_w*d)$

ρ' ; basınç donatısı oranı; $\rho' = A'_s / (b_w*d)$ ise

$\rho_0 = \rho - \rho'$ deformasyon yorumunun yapılacağı donatı oranıdır.

TS500 Şubat 2000 çift donatılı kesitlerde donatı oranları ile ilgili aşağıda verilen iki şartı getirmiştir:

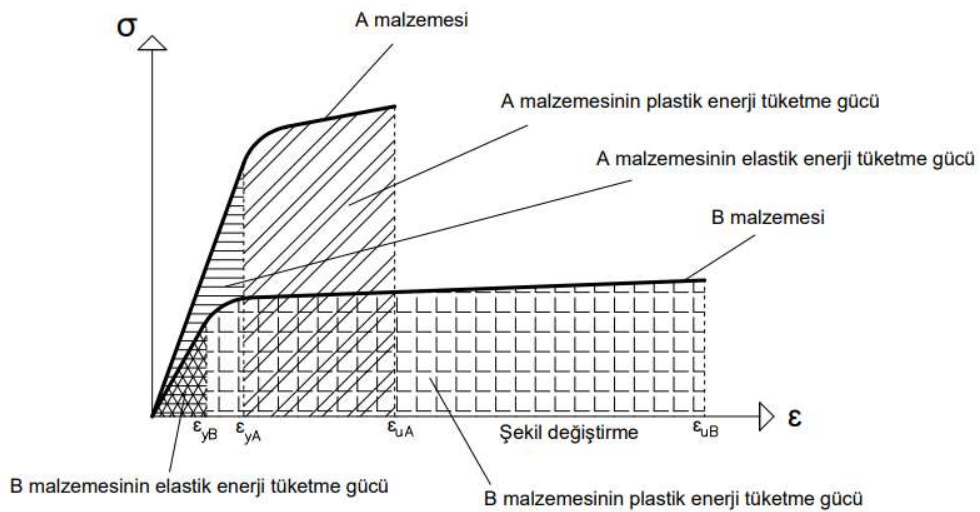
$$\rho - \rho' = \rho_0 \leq 0,85 * \rho_b \text{ ve } \rho \leq 0,02 \quad (3.29)$$

3.6. Süneklik

Yapılar deprem anında doğrusal olmayan davranışla (elasto-plastik davranış) karşı karşıya kalırlar. Bunun sonucunda yapıda çatlaklar oluşur. Çatlak oluşumu önlenmek istenirse yapının elastik yük taşıma gücü fazla olmalıdır. Bunu sağlamak için kesit çok büyük boyutlara ulaşması gerekir buda gereksiz maliyet oluşturduğundan yapı sünek davranış gösterecek şekilde tasarlanmalıdır [31]. Yapının bütün bir şekilde sünek davranış göstermesi için yapıda kullanılan elemanların ve malzemelerin istenilen düzeyde sünek davranış gösterebiliyor olmalıdır. Bu nedenlerle süneklik kendi içerisinde 4'e ayrılır.

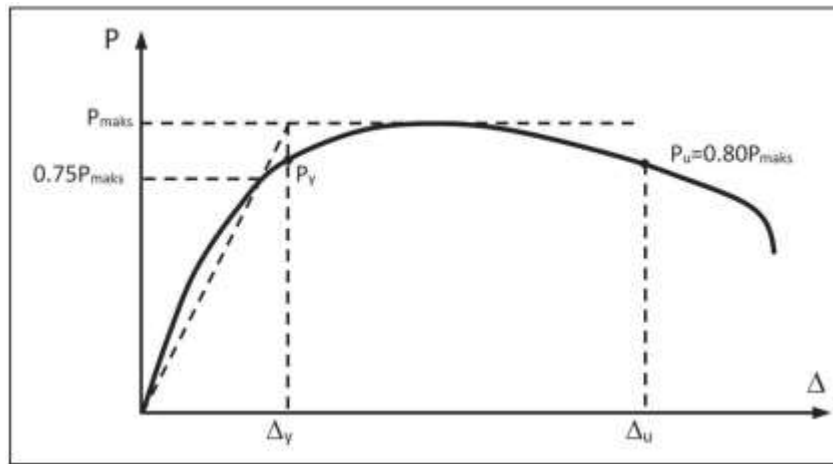
3.6.1. Malzeme bazında süneklik

Süneklik malzeme bazında incelenmek istenirse şekildeğiştirme cinsinden bakılır. Beton tek başına basınç altında gevrek bir davranış gösterirken donatı çekmeye karşı çalışıp sünek bir davranış gösterir [29]. Beton ve donatının birlikte çalışması sonrası ortaya çıkan betonarmenin sünek davranış göstermesi donatı oranı ve düzeni önemli yer kaplar. Rastgele olarak yerleştirilen donatılar tek başına sünek davranışta rol alamaz ve betonarme gevrek davranabilir. Şekil 3.9.'da malzeme süneklik ilişkisi verilmiştir.



3.6.2. Eleman bazında süneklik

Betonarme bir yapının yani sistem sünekliği sağlanması için öncelikle eleman sünekliği sağlanmalıdır. Süneklik hesabı yapılırken betonarme elemanın yük yerdeğiştirme davranışına bakarak akmaya başladığı andaki yüke (P_y), akma yerdeğiştirmesi (Δ_y), maksimum yerdeğiştirme anındaki yüke (P_u) ve maksimum yerdeğiştirme değerine (Δ_u) denir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) belirlenirken azaltılmış rijitlik yaklaşımı esasına göre kirişin maksimum yük taşıma kapasitesinin (P_{maks}) %75'ine ulaştığı nokta ile sıfır noktası birleşmesinden çıkan doğrunun yardımıyla geometrik olarak bulunur [32].



Şekil 3.10. Yük Yerdeğiştirme Grafığı [32]

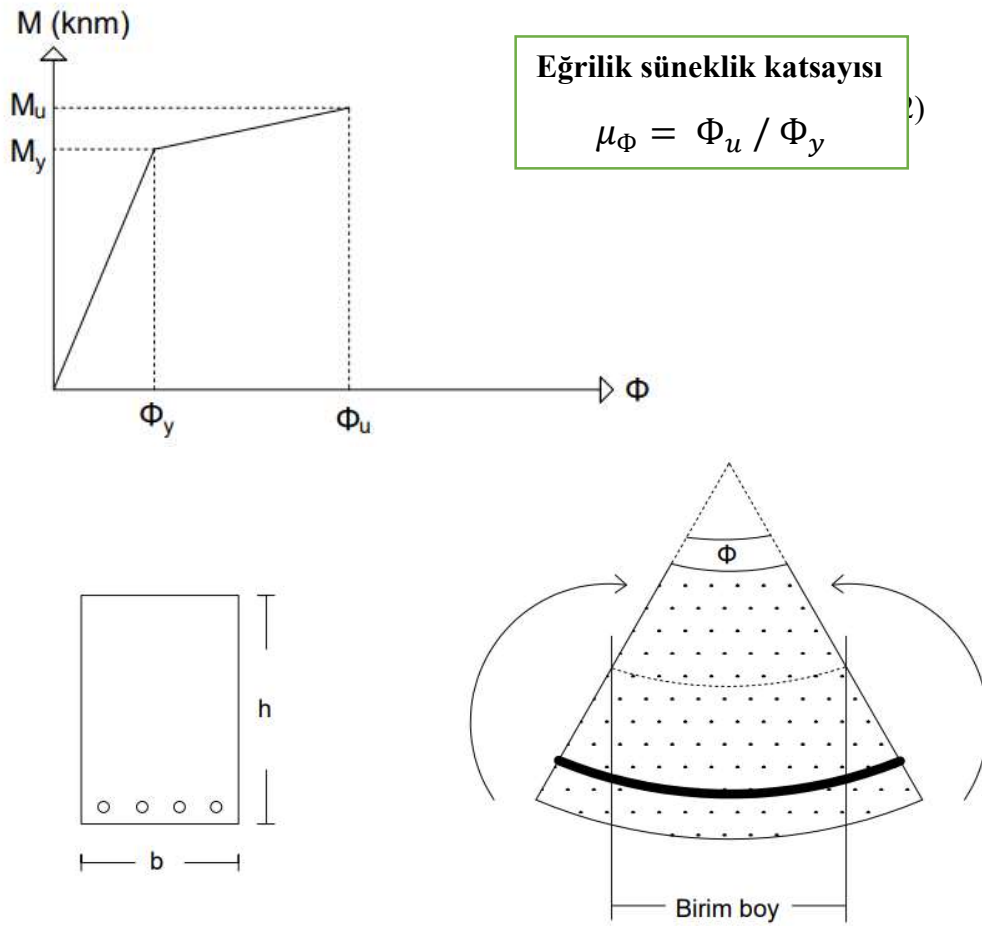
Kirişler yük altında eğilme davranışı gösterirler ve maksimum yük sonrası dayanımda azalma gerçekleşmede kırılma yüküne (P_u) kadar büyük yerdeğiştirmeler oluşur. Bu dayanım azalmalarını sınırlamak için maksimum yükte en fazla %20'lik azalma göz önüne alınıp maksimum yerdeğiştirmeler buna bağlı belirlenir [32]. Denklem 3.30 ve 3.31'de süneklik hesabına ait formüller verilmiştir.

$$\text{Malzeme bazında süneklik için ; } \mu_\varepsilon = \varepsilon_u / \varepsilon_y \quad (3.30)$$

$$\text{Eleman bazında süneklik için ; } \mu_\varepsilon = \Delta_u / \Delta_y \quad (3.31)$$

3.6.3. Kesit bazında süneklik

Betonarme bir kolon, perde veya kiriş kesitinde süneklik incelenilmek istendiğinde eğrilik cinsi kullanılır. Kesitlerde süneklik için hesaplanan katsayıya da dönme süneklik katsayısı denir. Betonarme bir kesit için sünekliğini çok farklı unsurlar etkileyebilir. Basit eğilme altındaki bir kesit için donatı oranı sünekliği belirlemede etkisinden söz edilirken bileşik eğilme altındaki bir kesite donatı oranı haricinde eksenel yük düzeyi ve dış merkezlik etkisinden söz edilebilir [29]. Şekil 3.11.'de eğrilik sünekliğine ait kesit ve grafikleri verilmiştir.



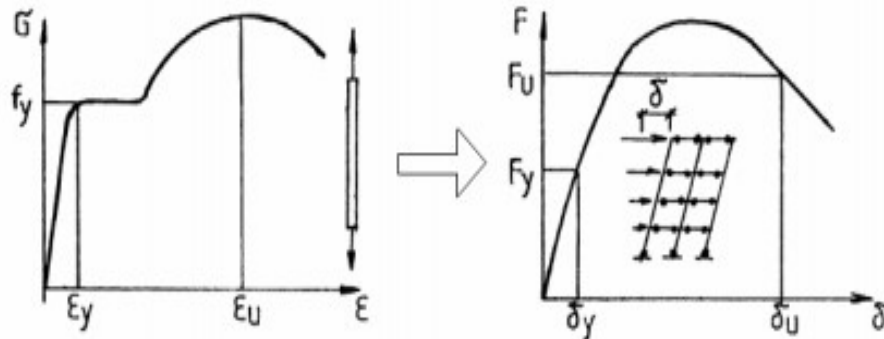
Şekil 3.11. Betonarme bir kirişin eğrilik sünekliği belirlenmesi

3.6.4. Sistem bazında süneklik

Sistem sünekliğini sağlamak için kolon, kiriş ve perde gibi sistem elemanlarının sünek davranması için deprem yönetmeliği bazı koşullar getirmiştir. Örnek olarak, kesme kuvvetinin etkili olduğu mesnede yakın yerlerde etriye sıklaştırması yapılır. Böyle bir uygulama yapılmasında kesme kuvvetinin süneklik karşıtı bir etken olması önemlidir. Ayrıca sistem içerisinde birden çok elemanın kendi aralarındaki özellikleride dikkate alınmalıdır. Örnek olarak zayıf kiriş-güçlü kolon tasarımı verilebilir.

Deprem yönetmeliğinde betonarme taşıyıcı sistemler 2 gruba ayrılır: Süneklik düzeyi yüksek sistemler ve süneklik düzeyi normal sistemler. Fakat süneklik düzeyi normal bir sistemde süneklik düzeyi yüksek perdeler kullanılması sonucu oluşan sisteme süneklik düzeyi karma sistemler denir [29].

Deprem bölgelerindeki yapılarda taşıyıcı sistem olarak sadece çerçevelerden oluşan yapılarda süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler kullanılmalıdır. Süneklik düzeyi yüksek olan taşıyıcı sistemlerde deprem her iki doğrultuda gelebileceğinden iki taraf içinde süneklik düzeyi yüksek seçilmelidir [29]. Süneklik düzeyi bir doğrultuda yüksek veya karma seçilip buna dik diğer doğrultuda ise süneklik düzeyi normal seçilirse süneklik düzeyi normal sistemler olarak kabul edilir. Şekil 3.12.'de malzeme ve sistem yük deplasman ilişkisi verilmiştir.



Şekil 3.12. Malzeme ve sistem için yük deplasman ilişkisi

Deprem bölgelerindeki yapılarda taşıyıcı sistem olarak sadece çerçevelerden oluşan yapılarda süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler kullanılmalıdır [33]. Süneklik düzeyi yüksek olan taşıyıcı sistemlerde deprem her iki doğrultuda gelebileceğinden iki taraf içinde süneklik düzeyi yüksek seçilmelidir. Süneklik düzeyi bir doğrultuda yüksek veya karma seçilip buna dik diğer doğrultuda ise süneklik düzeyi normal seçilirse süneklik düzeyi normal sistemler olarak kabul edilir.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu tez çalışmasında, betonarme konsol kirişlerin denge altı ve denge üstü donatılı durumda etriye aralığının ve kanca açısının moment taşıma kapasitesine etkisinin incelenmesine ve ayrıca endüstriyel bir atık olan demir tozunun beton dayanımına olan etkisini incelemektedir. Bu bölümde hazırlanan deney numunelerin üretilmesi, deney numunelerinde kullanılan malzemelerin özellikleri, deney düzeneği, kullanılan aletler ve yükleme yöntemi ile ilgili bilgiler verilmektedir.

4.1. Deneylerde Kullanılan Numuneler

Deney numuneleri oluşturulurken çekme donatısı üzerinde denge altı ve denge üstü durum oluşturarak 2 tip konsol kiriş üzerinde durulmuştur. Denklem 3.1 kullanılmasıyla dengeli donatı oranı bulunmuştur.

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

Çekme donatısı 4Ø12 seçildiği durumda ρ hesabı aşağıda verilmiştir.

$$\rho = \frac{A_{sb}}{b_w d} = \frac{4,52}{15 \times 18} = 0,0167 < 0,0209 \text{ olduğundan denge altı donatı şartı sağlanmıştır.}$$

Çekme donatısı 4Ø16 seçildiği durumda ρ hesabı aşağıda verilmiştir.

$$\rho = \frac{A_{sb}}{b_w d} = \frac{8,04}{15 \times 18} = 0,0297 > 0,0209 \text{ olduğundan denge üstü donatı şartı sağlanmıştır.}$$

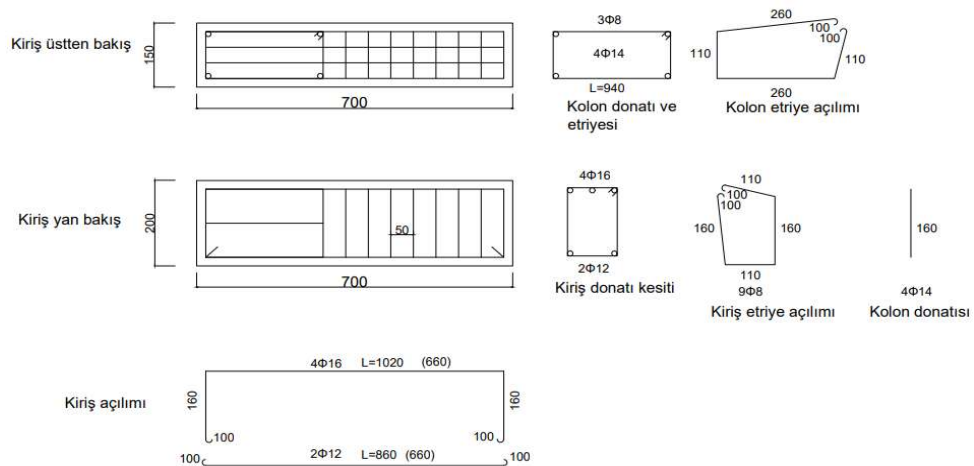
Deney numuneleri toplamda 48 adet olup 24 tanesi katkısız betonarme konsol kiriş olup diğer 24'ü demir tozu katkılı konsol kirişlerden oluşmaktadır. Deney

numunelerinin hepsinin boyutları 150x200x700mm olup bunun 300 mm kısmı kolon şeklinde tasarlanıp 400mm kısmı konsol kiriş şeklindedir. Kirişlerde paspayı 20mm, montaj donatısı 2 Ø12, etriye donatı çapı Ø8, boyuna donatı olarak 4 Ø12 ve 4 Ø16 kullanılmıştır. Kolon donatısı olarak 4Ø14, etriye donatı çapı Ø8 olarak kullanılmıştır. Tablo 4.1.'de deney numunelerinde kullanılan kesit ve malzemelerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney numunelerinin kesit ve malzeme özellikleri

	Denge Altı Donatılı	Denge Üstü Donatılı
Beton	C25	C25
Donatı	S420	S420
Kesit	150 mm x 200 mm	150 mm x 200 mm
Boyuna Donatı Çapı	12 mm	16 mm
Enine Donatı Çapı	8 mm	8 mm
Basınç Donatısı	2Ø12	2Ø12
Çekme Donatısı	4Ø12	4Ø16
Konsol Kiriş Açıklığı	400 mm	400 mm
Etriye Kanca Açısı	90° veya 135°	90° veya 135°

Deney numunelerinin kiriş açılımları Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deney numunesi donatı açılımı (Ölçüler mm)

Numuneler isimlendirilirken bazı harf ve rakamlar kullanılmıştır. Çekme donatı oranı belirtirken 'A' denge altı donatı, 'B' denge üstü donatı belirticek şekilde seçilmiştir. Etriye adım mesafesi için '50', '100', '150' mm belirticek şekilde

seçilmiştir. Etriye kanca açısı için ‘a’ 90 dereceyi ‘b’ 135 dereceyi belirtmektedir. Katkı durumunu belirtmek için ‘1’ katkısız ‘2’ demir tozu katkısını belirtmektedir, katkı oranı ise ‘y’ yüzde yirmi katkı oranını ‘w’ yüzde sıfır katkı oranını belirtmektedir. Tablo 4.2. ve Tablo 4.3.’de konsol kirişlerin isimlendirme detayları verilmiştir.

Tablo 4.2. Katkısız deney numuneleri isimlendirme

Numune no	Numune adı	Boyuna donatı		Etriye adım mesafesi (mm)			Etriye kanca açısı (derece)		Katkı(demir tozu)	
		4 Ø12 (A)	4 Ø16 (B)	50	100	150	(a)90	(b)135	Var (y)	Yok (w)
1	A ₁ -5-a-1-w	X		X			X			X
	A ₂ -5-a-1-w	X		X			X			X
3	A ₁ -5-b-1-w	X		X				X		X
	A ₂ -5-b-1-w	X		X				X		X
5	A ₁ -10-a-1-w	X			X		X			X
	A ₂ -10-a-1-w	X			X		X			X
7	A ₁ -10-b-1-w	X			X			X		X
	A ₂ -10-b-1-w	X			X			X		X
9	A ₁ -15-a-1-w	X				X	X			X
	A ₂ -15-a-1-w	X				X	X			X
11	A ₁ -15-b-1-w	X				X		X		X
	A ₂ -15-b-1-w	X				X		X		X
13	B ₁ -5-a-1-w		X	X			X			X
	B ₂ -5-a-1-w		X	X			X			X

Tablo 4.2. (Devamı)

15	B ₁ -5-b-1-w	X	X		X	X
	B ₂ -5-b-1-w	X	X		X	X
17	B ₁ -10-a-1-w	X	X	X		X
	B ₂ -10-a-1-w	X	X	X		X
19	B ₁ -10-b-1-w	X	X		X	X
	B ₂ -10-b-1-w	X	X		X	X
21	B ₁ -15-a-1-w	X		X	X	X
	B ₂ -15-a-1-w	X		X	X	X
23	B ₁ -15-b-1-w	X		X	X	X
	B ₂ -15-b-1-w	X		X	X	X

Tablo 4.3. %20 Demir tozu katkılı deney numuneleri isimlendirme

Numune no	Numune adı	Boyuna donatı		Etriye adım mesafesi (mm)			Etriye kanca açısı (derece)		Katkı(demir tozu)	
		4 Ø12 (A)	4 Ø16 (B)	50	100	150	(a)90	(b)135	Var (y)	Yok (w)
25	A ₁ -5-a-2-y	X		X			X		X	
	A ₂ -5-a-2-y	X		X			X		X	
26	A ₁ -5-b-2-y	X		X				X	X	
	A ₂ -5-b-2-y	X		X				X	X	
27	A ₁ -10-a-2-y	X			X		X		X	
	A ₂ -10-a-2-y	X			X		X		X	

Tablo 4.3. (Devamı)

28	A ₁ -10-b-2-y	X		X		X	X
	A ₂ -10-b-2-y	X		X		X	X
29	A ₁ -15-a-2-y	X		X	X		X
	A ₂ -15-a-2-y	X		X	X		X
30	A ₁ -15-b-2-y	X		X		X	X
	A ₂ -15-b-2-y	X		X		X	X
31	B ₁ -5-a-2-y		X	X		X	X
	B ₂ -5-a-2-y		X	X		X	X
32	B ₁ -5-b-2-y		X	X		X	X
	B ₂ -5-b-2-y		X	X		X	X
33	B ₁ -10-a-2-y		X	X		X	X
	B ₂ -10-a-2-y		X	X		X	X
34	B ₁ -10-b-2-y		X	X		X	X
	B ₂ -10-b-2-y		X	X		X	X
35	B ₁ -15-a-2-y		X		X	X	X
	B ₂ -15-a-2-y		X		X	X	X
36	B ₁ -15-b-2-y		X		X	X	X
	B ₂ -15-b-2-y		X		X	X	X

4.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Betonarme konsol kirişlerin üretimi için öncelikle kalıplar hazırlanmıştır (Şekil 4.2.). Kirişlerin hazırlanması için donatılar şantiye ortamında inşaat ustalarının yardımıyla tasarıma uygun şekilde hazırlanmıştır (Şekil 4.3.). Hazırlanan donatılar içerisinde strain-gauge (gerinim ölçer) takılması gereken numunelerin öncelikle boyuna donatının üzeri taşlama makinesiyle düzleştirildi ve el zımparasıyla üzerinden geçilip pürüzsüzleştirildi. Strain-gauge (gerinim ölçer) taşlanan yüzeye yerleştirilip güçlü bir yapıştırıcıyla yapıştırıldı ve üzerine silikon çekilerek koruma altına alındı (Şekil 4.4.).



Şekil 4.2. Kalıpların hazırlanması



Şekil 4.3. Donatıların hazırlanması



Şekil 4.4. Strain-gauge (gerinim ölçer) yerleştirilmesi

Bir kalıp içerisine 2 adet kiriş konulacak şekilde tasarlanan kalıplar ortasına strafor bölmeler yerleştirilip yerleri hazırlanılmıştır. Hazırlanan donatılar kalıplara paspayları takılarak yerleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirilen kirişlerin çekmeye çalışacak kısımlarına kiriş numaraları yazılarak betonların karışması önlenildi (Şekil 4.5.).



Şekil 4.5. Numunelerin kalıplara yerleştirilmesi

Donatılar hazır hale gelince beton üretimine başlandı. Numuneler üretilirken hazır beton tercih edilmedi. Beton üretimi beton karma makinesi ile laboratuvar ortamında oluşturulmuştur. C25/30 sınıfı beton üretilmesi amaçlanmış olup beton karma makinesi 50 dm³ kapasiteli olduğundan 21 dm³ yani bir numune için gerekli beton miktarına göre beton reçetesi oluşturulmuştur. (Tablo 4.4.).

Tablo 4.4. Beton reçetesi

Malzemeler	Miktar (kg)
1 Nolu Mıdır	21,25
Çimento	8
Kum	17,5
Su	4
Akışkanlaştırıcı	0.15

Beton üretimi sırasında standartlara uygun malzemeler kullanılmıştır. Gerekli beton dayanım sınıfı sağlamak adına 2 nolu mıdır kullanılmıştır (Şekil 4.6.). Çimento olarak CEM4/B (P) 32,5R puzolanik çimento kullanılmıştır (Şekil 4.7.). Malzemeler toplandıktan sonra gerekli oranlar dâhilinde beton karma makinesine toplanılmıştır. Katkı olarak demir tozu kullanılan numuneler için gerekli literatür incelemeleri sonucu yüzde 20 demir tozu kullanmak uygun görülmüştür. Bu sebeple çimento ağırlığının yüzde 20'si oranında demir tozu hassas terazide ölçülüp beton karma makinesine eklenmiştir (Şekil 4.8.).



Şekil 4.6. 1 nolu mıdır ve kum



Şekil 4.7. Çimento ve Su



Şekil 4.8. Demir tozu tartılıp eklenmesi



Şekil 4.9. Beton karma işlemi

Beton üretimi için mıcır, kum ve çimento karma makinesine döküldükten sonra çalıştırılıp bir miktar karıştırılınca suyun yarısı içine aktarıldı kalan suyun diğer yarısına yaklaşık 150 gr akışkanlaştırıcı dökülüp beton karma makinesine döküldü. Beton karma makinesi yaklaşık 2-2,5 dakika karıştırmaya devam ettirilmiştir (Şekil 4.9.). Hazırlanan beton kalıplarına dökülüp şiş ile iyice yerleşmesi sağlandı. Beton iyice yerleştikten sonra mala ile üzeri masterlandı (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Numune şişlenip masterlanması

Beton dökümü esnasında gerekli standartlara uyularak slump deneyi yapılmıştır. Yapılan slump sonucunda ortalama olarak 19 cm çökme gerçekleşip kıvam sınıfı S4 olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.11.).



Şekil 4.11. Slump deneyi

Üretilen beton miktarına bakılarak standartlar gereği 6 adet katkısız 6 adette katkılı numune alınmasına karar verilmiştir. Numune alınırken 10 cm çaplı boyu 20 cm olan plastik silindir numune kalıpları kullanıldı. Öncelikle yağlanan kalıplar daha sonra içerisine beton koyulup şişle iyice yerleştirilip üzeri masterlanarak prizini alması için bir kenara bırakılmıştır (Şekil 4.12.). Prizini alması için beklenen numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmıştır.



Şekil 4.12. Numune alınması

28 gün boyunca kirişler hortumla sulayarak kürleme işlemine, alınan numuneler ise kür havuzuna bırakılarak kürleme işlemine maruz bırakılmıştır (Şekil 4.13.).



Şekil 4.13. Numune kürlenmesi

28 gün sonra silindir numuneler beton kırma makinesinde kırılmak üzere üst kısımlarında başlıklama işlemi gerçekleştirilmiştir. Başlıklama işlemi yapılırken öncelikle eritme potasına kükürt koyulduktan sonra kükürt ağırlığının 4'te 1'i oranında grafit konulmuştur. Grafit konulmasının nedeni başlığın basınca karşı mukavemetini arttırmaya yöneliktir (Şekil 4.14.).



Şekil 4.14. Kükürt - grafit hassas terazide tartılması

Yaklaşık olarak 150-200 °C'de ısıtılan kükürt-grafit karışımı erimeye bırakılmıştır. Başlıklamada kükürt-grafit karışımı dökmek için prinç levha su terazisi ile ölçülüp düz bir zemine koyulduktan sonra içine karışım dökülüp numunenin mastarlanan düzensiz kısmı karışıma batırılmıştır (Şekil 4.15.). Yapılan başlıklama işlemi sonucunda numuneler beton kırma makinesine girmeye hazır hale gelmişlerdir (Şekil 4.16.).



Şekil 4.15. Başlıklama seti-Eritme potası



Şekil 4.16. Başlıklanan numuneler

4.3. Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Deney numuneleri oluşturulurken kullanılan donatılar için çekme deneyi ve oluşturulan beton için basma deneyi gerçekleştirilmiştir. Donatıların deneyleri Bayraktar laboratuvarında yapılmış olup numunelerde hazır beton kullanılmadığından kiriş beton döküm sırasında alınan silindir numuneler Sakarya üniversitesi inşaat mühendisliği laboratuvarında basma deneyleri yapılmıştır.

4.3.1. Beton

Beton dökümü sırasında standartlara uygun şekilde silindir numune alınmıştır. Numuneler 100 mm çapına 200 mm yüksekliğe sahiptir. Bu alınan silindir numuneler kür havuzuna alınıp 28 gün bekletilmiştir. Numuneler kür havuzundan çıkarıldıktan sonra test aşamasında üzerindeki pürüzlerin sonuca tesir etmemesi için pürüzlü kısımlarına başlıklama işlemi yapıldı. Çalışmada kullanılan betondan alınan numuneler ile test düzeneğinde basınç testi yapıldı (Şekil 4.17.). Deney düzeneğine yerleştirdiğimiz potansiyometre yardımıyla yer değiştirmeler kayıt altına alınarak beton elatisite modülü çıkartılmıştır (Tablo 4.5.).



Şekil 4.17. Silindir numune basınç deneyi

Tablo 4.5. Beton basınç deney sonuçları

Silindir Numune Özelliği	Beton Basınç Dayanımı (MPa)	Şekil Değişirme (ϵ)	Elastisite Modülü (Mpa)
Katkısız	25,74234	0,00089122	28884,34625
Katkısız	24,5435	0,00087021	28204,20728
Katkısız	24,9876	0,0008736	28603,15558
Katkısız	26,9856	0,00092599	29142,40597
Katkısız	25,43152	0,0008989	28291,95389
Katkısız	25,5432	0,00089408	28569,32599
%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

4.3.2. Donatı

Deney numuneleri oluşturulurken 4 çeşit çapta olup S420 nervürlü donatı kullanıldı. Boyuna donatılarda $\text{Ø}12$ ve $\text{Ø}16$ çaplı donatılar, etriye için $\text{Ø}8$, kolon kısmı için $\text{Ø}14$ çaplı donatılar kullanıldı (Şekil 4.18.). Kullanılan donatıların standartlara uygun olduğunun anlaşılması için çekme deneyi yapılmıştır (Şekil 4.19.). Çekme deneyleri standartlara uygun şekilde Bayraktar laboratuvarında yapılip deney sonuçları EK 1’de verilmiştir.



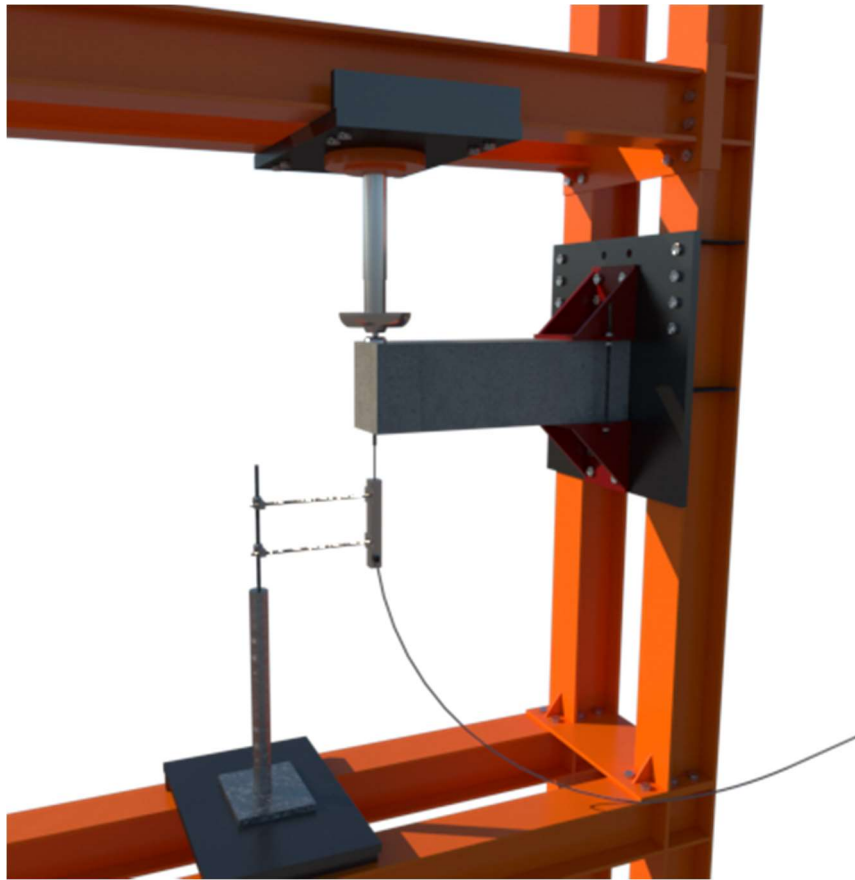
Şekil 4.18. Çekme deneyinde kullanılan donatılar



Şekil 4.19. Çekme deneyi

4.4. Deney Düzenegi Hazirlanmasi

Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında olan çelik çerçeve altında tek noktadan yükleme yapılarak konsol kiriş deneyi yapılmıştır. Deney düzenegi kurulurken (Şekil 4.20.)’de görülen kırmızı renk levhalar yukarı aşağı yönde hareket ettirilerek gerekli yükseklik ayarı ayarlandı. Kırmızı renkli mesnetleme levhaları arasına hazırladığımız konsol kirişler kolon kısmı gelicek şekilde forklift yardımıyla yerleştirildi. Kiriş numuneler yükleme anında hareket etmemesi için mesnet levhaları düzeneg e bulon yardımıyla sabitleştirildi ve 2 adet uzun cıvata bulon sistemiyle kiriş numune iyice sıkıştırılıp yerinden oynaması önlenildi. Mesnetlenmesi tamamlanan konsol kirişin uç kısmındaki yerdeğiştirme miktarlarını ölçebilmek adına kiriş uc kısmının altına potansiyometre konuldu. Yüklemenin doğru noktaya yapılması adına iki metal arası bilyeli bir eleman pistonla kirişin arasına yerleştirildi. Yapılan tüm işlemler sonucu deney düzenegi deneye hazır hale getirilmiş oldu.



Şekil 4.20. Deney düzenegi

4.5. Kullanılan Aletler

Deney düzeneğine yerleştirilen konsol kirişin uç kısmında tek noktadan yükleme yapılması için 100 ton kapasiteli ve otomatik olarak hidrolik yük veren bir yük hücresi (loadcell) bulunmaktadır. Ayrıca konsol kiriş uç kısmında düşey yerdeğiştirmeyi ölçmesi için 1 adet yerdeğiştirme ölçer (potansiyometre) konulmuştur. Potansiyometre ve loadcell kablo sistemiyle bir dataloggere bağlanmıştır. Yükleme yapılmaya başlanınca yük değerleri ve yer değıştirme değerleri bilgisayar ortamında testlab basic isimli program ile değerlerin kayıt altına alınması sağlanmıştır (Şekil 4.21.).



Şekil 4.21. Test veri düzeneği

Konsol kiriş deneyleri yapılırken numunelerin uç kısmındaki yer değıştirmeleri ölçmek için ise 150cm'lik bir yerdeğıştirme ölçer (potansiyometre) kullanılmıştır (Şekil 4.22.).



Şekil 4.22. Yer değıştirme ölçer (Potansiyometre)

Yapılan deneylerde bazı numunelerde gerinim ölçer (strain gauge) kullanılmıştır (Şekil 4.23.). Bu gerinim ölçer (strain gauge) beton üretimi aşamasında donatı üzerinde yerleştirilmiş olup bir kablo aracılığıyla değerlerin alınması sağlamaktadır. Betonarme kırıştenden çıkan bu gerinim ölçer (strain gauge) kablosu dataloggera bağlanıp testlabbasic programıyla değerlerin okunması sağlanır. Deneylerde kullanılan gerinim ölçer (strain gauge) değerleri programa tanıtılıp kalibrasyonu yapılmaktadır. Bu gerinim ölçer (strain gauge) kalibrasyonu için gerekli özellikleri kutusunun içinden çıkan tanıtım kağıdından alınmıştır (Tablo 4.6.).

Tablo 4.6. Gerinim ölçer (Strain gauge) özellikleri

Basic type	Gauge factor	Gauge size		Backing		Resistance Ω (ohm)
		L	W	L	W	
FLAB 5	2.10	5	1,5	10	3	120



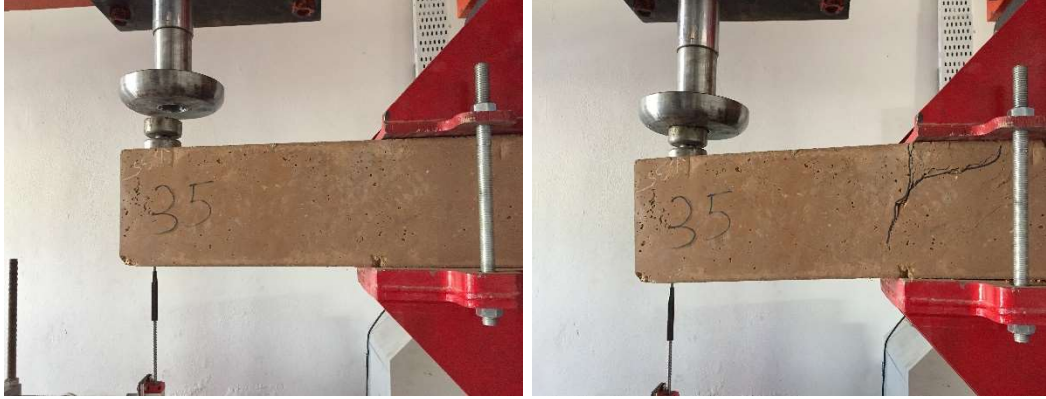
Şekil 4.23. Strain-gauge (gerinim ölçer) resmi

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

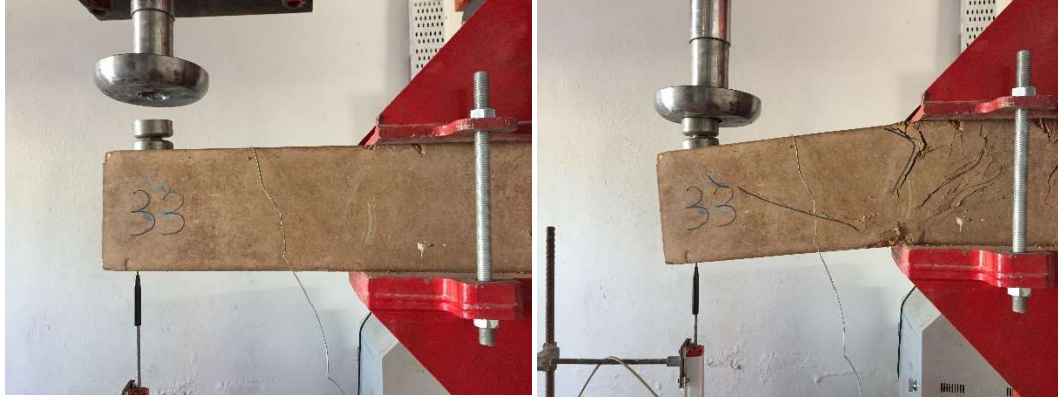
Bu bölümde deneysel çalışmalarda ortaya çıkan sayısal veriler ve test numunelerinin eğilme altındaki davranışına ait veriler yer almaktadır. Deney düzeneği konsol kiriş numunelerin kırılması için hazır hale getirildiğinde yük ve yerdeğiştirme değerleri okunabilmesi için Testlab Basic isimli program kullanıldı. Bu program ile kiriş yük altındayken ki davranışları tam zamanlı olmak üzere kayıt altına alındı. Kayıt altına alınan numune sonuçları grafik şeklinde incelemek adına excel isimli programa aktarıldı. Daha sonra yük ve yerdeğiştirme verileri kullanılarak eğilme altında kiriş davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için tablo ve grafikler oluşturuldu. Deney sırasında her bir seri numuneden 2'şer adet olup ayrı ayrı değerleri tablo şeklinde verilmiş olup grafiklerde ise kıyaslama daha anlaşılabilir olması adına her bir seride ortalamaları alınarak oluşturulmuştur. Örnek vermek gerekirse 26 nolu seride A₁-5-b-2-y isimli kiriş ile A₂-5-b-2-y isimli kiriş excelde ortalamaları alınarak grafikleri oluşturulup A-5-b-2-y grafiği oluşturuldu.

5.1. Deney Numuneleri Kırılması

Konsol kirişler deney düzeneğinde kırılması için bir adet Load-cell ile konsol kiriş uç kısmında yükleme yapıldı. Yükleme anındaki hızı %25 seçildi. Deney verilerinin Testlab programına hangi zaman aralıklarıyla aktarımı yapılması istendiğinde 1.25 ms seçildi. Numuneler kırım aşamasında kayıt altına alındığı gibi çatlak oluşumlarında kayıt altına alındı. Çatlak boyu, çatlak genişliği ve çatlağın mesnetten uzaklığı Tablo 5.1. ve Tablo 5.2.'de verildi.



Şekil 5.1. 35 nolu seriye ait kiriş kırılma öncesi ve sonrası



Şekil 5.2. 33 nolu seriye ait kiriş kırılma öncesi ve sonrası



Şekil 5.3. 30 nolu seriye ait kiriş kırılma öncesi ve sonrası



Şekil 5.4. 25 nolu seriye ait kırılma öncesi ve sonrası



Şekil 5.5. 28 nolu kirişe ait kırılma öncesi ve sonrası

Tablo 5.1. Konsol kiriş numune çatlak özellikleri

Numune İsmi	Çatlak Genişliği (mm)	Çatlak Boyu (cm)	Çatlak Yeri (cm)
A ₁ -5-a-1-w	1	15	2
A ₂ -5-a-1-w	2	14	3
A ₁ -5-b-1-w	3	14	2
A ₂ -5-b-1-w	3	13	2
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

Tablo 5.1. (Devamı)

A ₁ -15-a-1-w	2	13	2
A ₂ -15-a-1-w	3	12	3
A ₁ -15-b-1-w	1	13	4
A ₂ -15-b-1-w	2	13	3
B ₁ -5-a-1-w	5	16	-1
B ₂ -5-a-1-w	4	15	-1,5
B ₁ -5-b-1-w	2	10	0
B ₂ -5-b-1-w	2	8	1
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
B ₁ -15-a-1-w	3	15	2
B ₂ -15-a-1-w	4	12	3
B ₁ -15-b-1-w	2	11	-1
B ₂ -15-b-1-w	3	9	-2

(-); Mesnetten geride çatlama oluştuğunu göstermektedir.

Tablo 5.2. %20 Demir tozu katkılı konsol kiriş numunesi çatlak özellikleri

Numune İsmi	Çatlak Genişliği (mm)	Çatlak Boyu (cm)	Çatlak Yeri (cm)
A ₁ -5-a-2-y	5	14	4,5
A ₂ -5-a-2-y	4	13	3
A ₁ -5-b-2-y	2	15	3
A ₂ -5-b-2-y	3	13	2

Tablo 5.2. (Devamı)

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
A ₁ -15-a-2-y	2	6	3
A ₂ -15-a-2-y	3	8	2
A ₁ -15-b-2-y	3	10	1
A ₂ -15-b-2-y	4	12	3
B ₁ -5-a-2-y	5	15	0
B ₂ -5-a-2-y	3	13	2
B ₁ -5-b-2-y	4	14	1
B ₂ -5-b-2-y	3	13	2,5
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
B ₁ -15-a-2-y	1	14	0
B ₂ -15-a-2-y	3	12	-1
B ₁ -15-b-2-y	4	14	1
B ₂ -15-b-2-y	2	15	2

(-); Mesnetten geride çatlama oluştuğunu göstermektedir.

5.2. Deney Numuneleri Sonuçları

Bu bölümde deneysel çalışmalarda ortaya çıkan sayısal veriler ve test numunelerinin eğilme altındaki davranışına ait veriler yer almaktadır. Deney düzeneği konsol kiriş numunelerin kırılması için hazır hale getirildiğinde yük ve yerdeğiştirme değerleri okunabilmesi için Testlab Basic isimli program kullanıldı. Bu program ile kiriş yük altındayken ki davranışları tam zamanlı olmak üzere kayıt altına alındı. Kayıt altına alınan numune sonuçları grafik şeklinde incelemek adına excel isimli programa aktarıldı. Daha sonra yük ve yerdeğiştirme verileri kullanılarak eğilme altında kiriş davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için tablo ve grafikler oluşturuldu. Deney sırasında her bir seri numuneden 2'şer adet olup ayrı ayrı değerleri tablo şeklinde verilmiş olup grafiklerde ise kıyaslama daha anlaşılabilir olması adına her bir seride ortalamaları alınarak oluşturulmuştur. Örnek vermek gerekirse 26 nolu seride A₁-5-b-2-y isimli kiriş ile A₂-5-b-2-y isimli kiriş bulunmakta olup bu iki kirişin yük ve yerdeğiştirme verileri excele aktarılıp ortalamaları alınarak grafik oluşturulup A-5-b-2-y grafiği şeklinde isimlendirildi. Tablo 5.3. ve Tablo 5.4.'de deney sonucu ortaya çıkan tüm kirişlerin ve aynı niteliklere sahip üretilen kirişlerin ortalamalarının alınması ile ortaya çıkan süneklik ve taşıdıkları maksimum yük değerleri verilmiştir.

Tablo 5.3. Katkısız deney numunelerinin süneklik ve taşıdıkları maksimum yük sonuçları

Numune İsmi	Süneklik Katsayısı	Maksimum Yük (kgf)
A ₁ -5-a-1-w	1,50832	9204,987
A-5-a-1-w	1,51555	9428,188
A ₂ -5-a-1-w	1,51974	9567,389
A ₁ -5-b-1-w	1,59453	9641,325
A-5-b-1-w	1,59901	9752,784
A ₂ -5-b-1-w	1,60517	9843,278
A ₁ -10-a-1-w	1,45795	8715,6161
A-10-a-1-w	1,45408	8695,7976
A ₂ -10-a-1-w	1,45106	8614,8531
A ₁ -10-b-1-w	1,50369	9212,7564
A-10-b-1-w	1,50059	9125,2878
A ₂ -10-b-1-w	1,49947	9106,8654

Tablo 5.3. (Devamı)

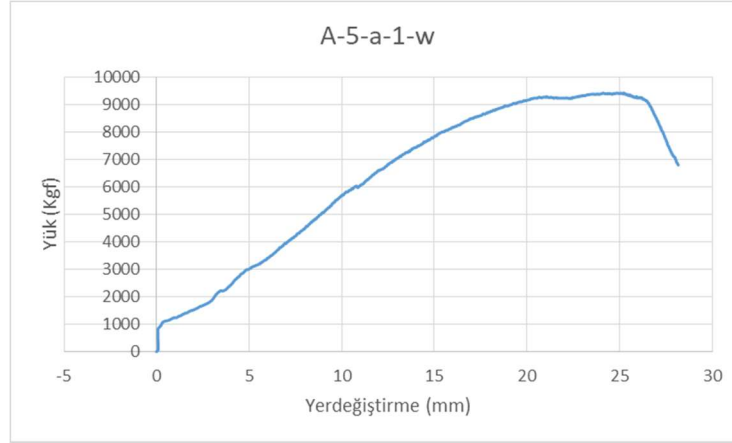
A ₁ -15-a-1-w	1,36547	7942,874
A-15-a-1-w	1,36987	8004,883
A ₂ -15-a-1-w	1,37202	8136,478
A ₁ -15-b-1-w	1,40798	8345,689
A-15-b-1-w	1,41137	8400,225
A ₂ -15-b-1-w	1,41278	8469,725
B ₁ -5-a-1-w	1,35112	11198,452
B-5-a-1-w	1,35683	11093,179
B ₂ -5-a-1-w	1,35946	10987,658
B ₁ -5-b-1-w	1,43345	11545,687
B-5-b-1-w	1,43769	11749,874
B ₂ -5-b-1-w	1,43978	11812,35
B ₁ -10-a-1-w	1,32754	10306,1397
B-10-a-1-w	1,32338	10270,647
B ₂ -10-a-1-w	1,32064	10186,7659
B ₁ -10-b-1-w	1,42187	10954,8921
B-10-b-1-w	1,41949	10796,526
B ₂ -10-b-1-w	1,41315	10568,7145
B ₁ -15-a-1-w	1,29417	9874,623
B-15-a-1-w	1,29960	9998,446
B ₂ -15-a-1-w	1,30153	10013,647
B ₁ -15-b-1-w	1,36217	10072,691
B-15-b-1-w	1,36981	10113,085
B ₂ -15-b-1-w	1,37361	10122,797

Tablo 5.4. %20 Demir tozu katkılı deney numunelerinin süneklik ve taşıdıkları maksimum yük sonuçları

Numune İsmi	Süneklik Katsayısı	Maksimum Yük (kgf)
A ₁ -5-a-2-y	1,83016	7759,378
A-5-a-2-y	1,83444	7859,577
A ₂ -5-a-2-y	1,84127	7895,748
A ₁ -5-b-2-y	1,88025	7919,354
A-5-b-2-y	1,88975	7977,602
A ₂ -5-b-2-y	1,89767	8001,356
A ₁ -10-a-2-y	1,69782	7253,654
A-10-a-2-y	1,70810	7316,756
A ₂ -10-a-2-y	1,71658	7411,287

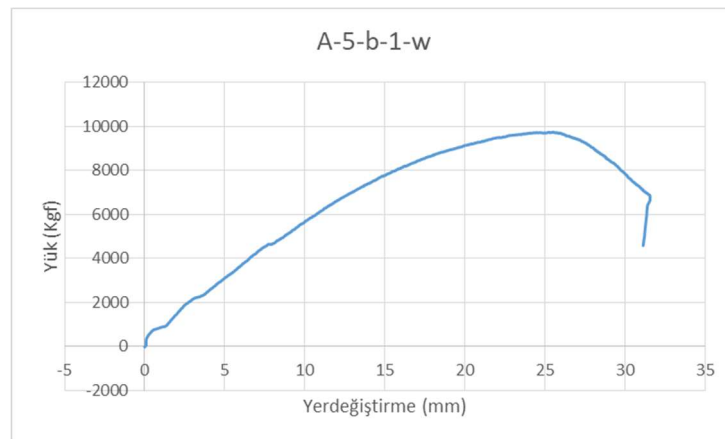
Tablo 5.4. (Devamı)

A ₁ -10-b-2-y	1,77074	7435,879
A-10-b-2-y	1,77361	7492,676
A ₂ -10-b-2-y	1,77816	7578,356
A ₁ -15-a-2-y	1,64789	6498,798
A-15-a-2-y	1,65062	6536,865
A ₂ -15-a-2-y	1,65637	6608,187
A ₁ -15-b-2-y	1,73513	6912,746
A-15-b-2-y	1,73780	6999,869
A ₂ -15-b-2-y	1,73982	7074,657
B ₁ -5-a-2-y	1,61987	8650,279
B-5-a-2-y	1,62447	8828,743
B ₂ -5-a-2-y	1,62783	8914,876
B ₁ -5-b-2-y	1,68110	9000,741
B-5-b-2-y	1,68311	9093,281
B ₂ -5-b-2-y	1,68763	9197,356
B ₁ -10-a-2-y	1,48467	8298,476
B-10-a-2-y	1,48869	8380,106
B ₂ -10-a-2-y	1,49014	8428,364
B ₁ -10-b-2-y	1,60125	8694,783
B-10-b-2-y	1,60425	8722,390
B ₂ -10-b-2-y	1,60627	8804,469
B ₁ -15-a-2-y	1,34547	8016,789
B-15-a-2-y	1,34880	8070,042
B ₂ -15-a-2-y	1,34989	8109,510
B ₁ -15-b-2-y	1,56297	8187,357
B-15-b-2-y	1,56603	8242,939
B ₂ -15-b-2-y	1,56676	8304,934



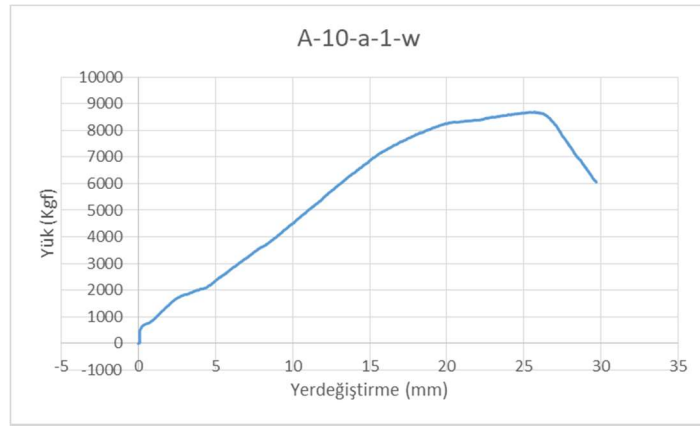
Şekil 5.6. A-5-a-1-w numunesi grafiği

Şekil 5.6.'da görülen grafik numunesi katkısız, dengealtı donatılı, 50 mm etriye adım mesafesine sahip ve 90 derece etriye kanca açısına sahiptir. A-5-a-1-w numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 9428,188 Kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 8013,959 kgf'de 1,515 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 7071,141 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 17,89 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,515 olarak belirlenmiştir.



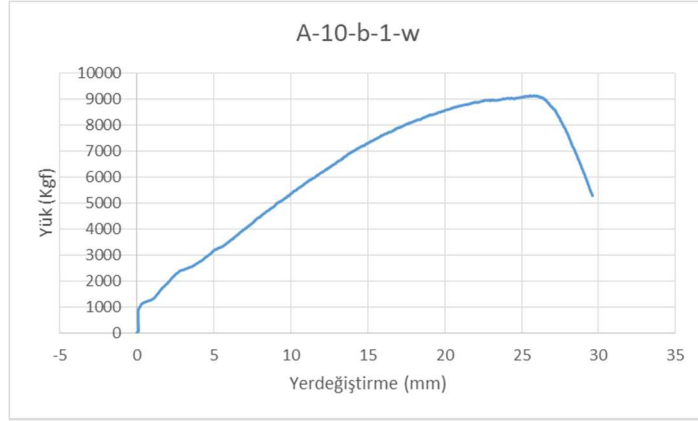
Şekil 5.7. A-5-b-1-w numunesi grafiği

Şekil 5.7.'de görülen grafik numunesi katkısız, dengealtı donatılı, 50 mm etriye adım mesafesine sahip ve 135 derece etriye kanca açısına sahiptir. A-5-b-1-w numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 9752,784 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15'lik yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 8289,86 kgf'de 29,4 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 7314,588 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 18,38 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31 uygulanmasıyla μ 1,599 olarak belirlenmiştir.



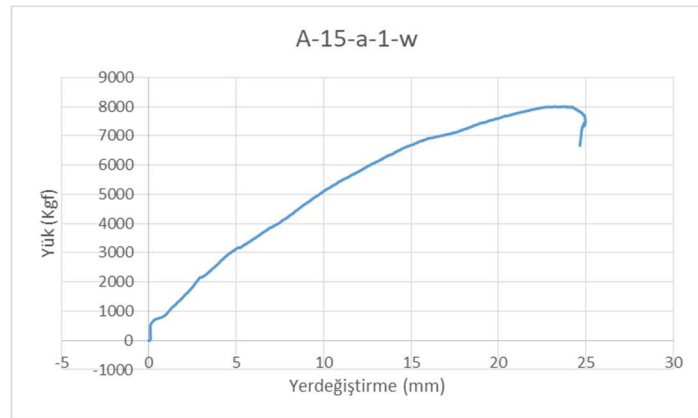
Şekil 5.8. A-10-a-1-w numunesi grafiği

Şekil 5.8.'de görülen grafik numunesi katkısız, dengealtı donatılı, 100 mm etriye adım mesafesine sahip ve 90 derece etriye kanca açısına sahiptir. A-10-a-1-w numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 8695,798 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 7391,428 kgf'de 31,9 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 6521,848 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 19,27 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,454 olarak belirlenmiştir.



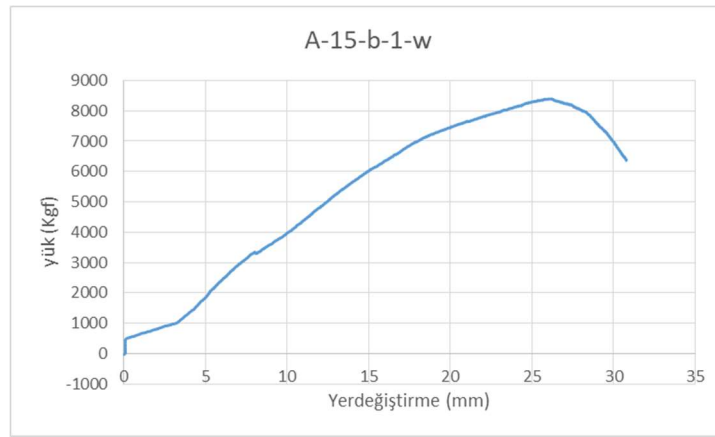
Şekil 5.9. A-10-b-1-w numunesi grafiği

Şekil 5.9.'da görülen grafik numunesi katkısız, dengealtı donatılı, 100 mm etriye adım mesafesine sahip ve 135 derece etriye kanca açısına sahiptir. A-10-b-1-w numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 9125,288 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 7756,49 kgf'de 31,6 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 6843,966 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 18,546 mm olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,50059 olarak belirlenmiştir.



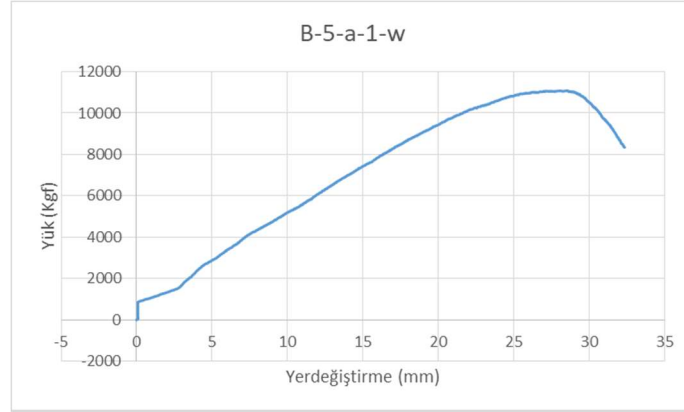
Şekil 5.10. A-15-a-1-w numunesi grafiği

Şekil 5.10.'da görülen grafik numunesi katkısız, dengealtı donatılı, 150 mm etriye adım mesafesine sahip ve 90 derece etriye kanca açısına sahiptir. A-15-a-1-w numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 8004,883 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 6804,15 kgf'de 24,37 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 6003,66 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 17,79 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,369 olarak belirlenmiştir.



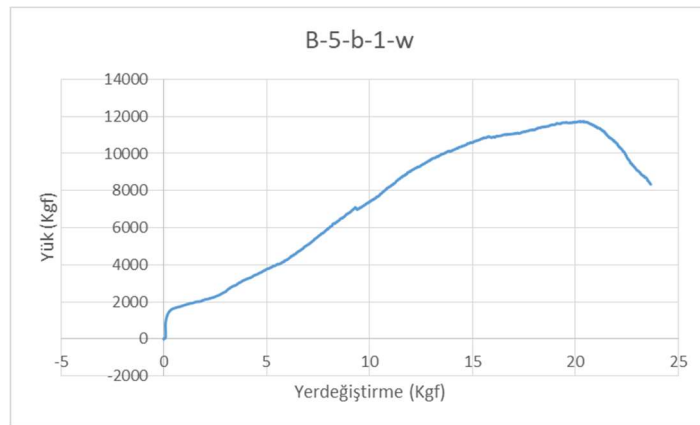
Şekil 5.11. A-15-b-1-w numunesi grafiği

Şekil 5.11.'de görülen grafik numunesi katkısız, dengealtı donatılı, 150 mm etriye adım mesafesine sahip ve 135 derece etriye kanca açısına sahiptir. A-15-b-1-w numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 8400,225 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 7140,191 kgf'de 29,78 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 6300,168 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 21,1 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,411 olarak belirlenmiştir.



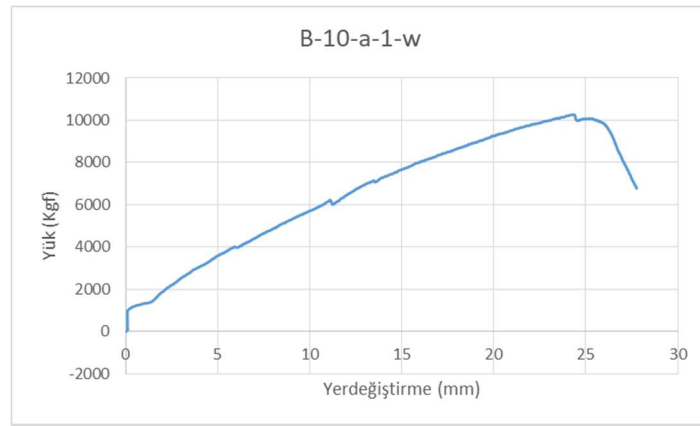
Şekil 5.12. B-5-a-1-w numunesi grafiği

Şekil 5.12.'de görülen grafik numunesi katkısız, dengeüstü donatılı, 50 mm etriye adım mesafesine sahip ve 90 derece etriye kanca açısına sahiptir. B-5-a-1-w numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 11093,17 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'in %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 9429,19 kgf'de 31,18 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'in %75'ine ulaştığı andaki 8319,87 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 22,98 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,357 olarak belirlenmiştir.



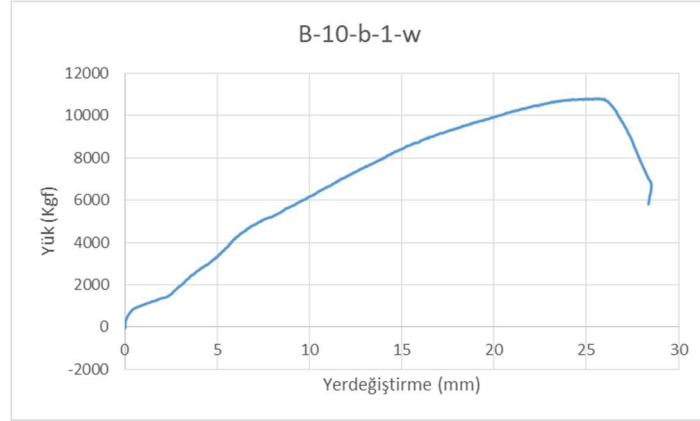
Şekil 5.13. B-5-b-1-w numunesi grafiği

Şekil 5.13.'de görülen grafik numunesi katkısız, dengeüstü donatılı, 50 mm etriye adım mesafesine sahip ve 135 derece etriye kanca açısına sahiptir. B-5-a-1-w numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 11749,87 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 9987,38 kgf'de 22,5 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 8812,4 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 15,65 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,437 olarak belirlenmiştir.



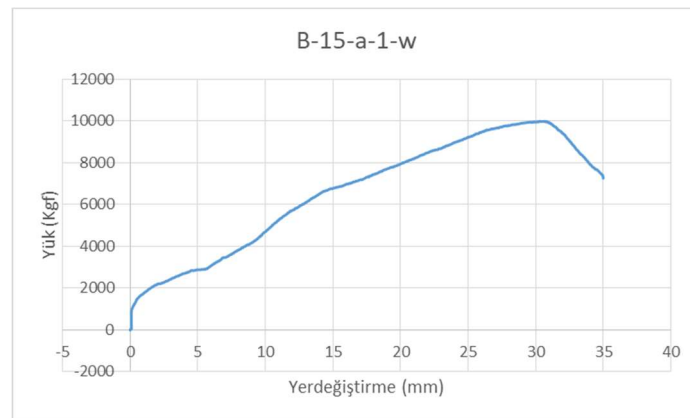
Şekil 5.14. B-10-a-1-w numunesi grafiği

Şekil 5.14.'de görülen grafik numunesi katkısız, dengeüstü donatılı, 100 mm etriye adım mesafesine sahip ve 90 derece etriye kanca açısına sahiptir. B-10-a-1-w numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 10270,64 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 8730,044 kgf'de 26,68 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 7702,98 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 20,1594 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,323 olarak belirlenmiştir.



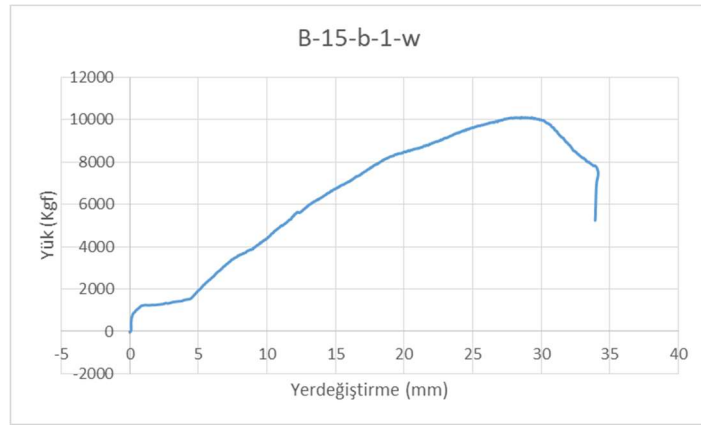
Şekil 5.15. B-10-b-1-w numunesi grafiği

Şekil 5.15.'de görülen grafik numunesi katkısız, dengeüstü donatılı, 100 mm etriye adım mesafesine sahip ve 135 derece etriye kanca açısına sahiptir. B-10-b-1-w numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 10796,53 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 9177,05 kgf'de 27,26 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 8097,398 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 19,2 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,419 olarak belirlenmiştir.



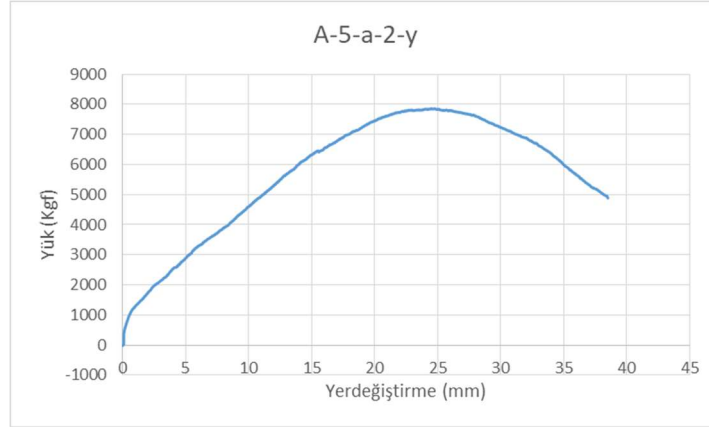
Şekil 5.16. B-15-a-1-w numunesi grafiği

Şekil 5.16.'da görülen grafik numunesi katkısız, dengeüstü donatılı, 150 mm etriye adım mesafesine sahip ve 90 derece etriye kanca açısına sahiptir. B-15-a-1-w numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 9998,446 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 8498,679 kgf'de 32,88 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 7498,835 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 25,3 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,298 olarak belirlenmiştir.



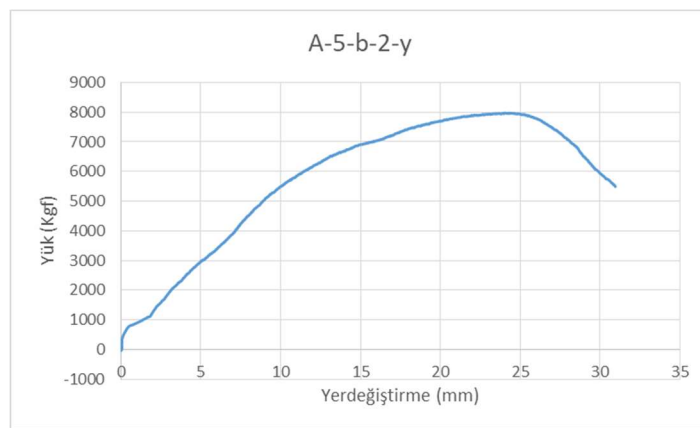
Şekil 5.17. B-15-b-1-w numunesi grafiği

Şekil 5.17.'de görülen grafik numunesi katkısız, dengeüstü donatılı, 150 mm etriye adım mesafesine sahip ve 135 derece etriye kanca açısına sahiptir. B-15-b-1-w numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 10113,08 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 8596,118 kgf'de 32,31 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 7584,81 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 23,5871 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,3698 olarak belirlenmiştir.



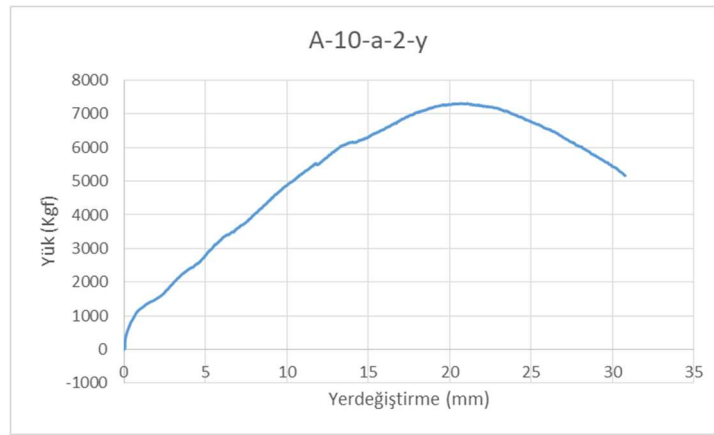
Şekil 5.18. A-5-a-2-y numunesi grafiği

Şekil 5.18.'de görülen grafik numunesi %20 demir tozu katkı, dengealtı donatılı, 50 mm etriye adım mesafesine sahip ve 90 derece etriye kanca açısına sahiptir. A-5-a-2-y numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 7859,577 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 6680,64 kgf'de 32,8881 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 5894,682 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 17,9281 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,834 olarak belirlenmiştir.



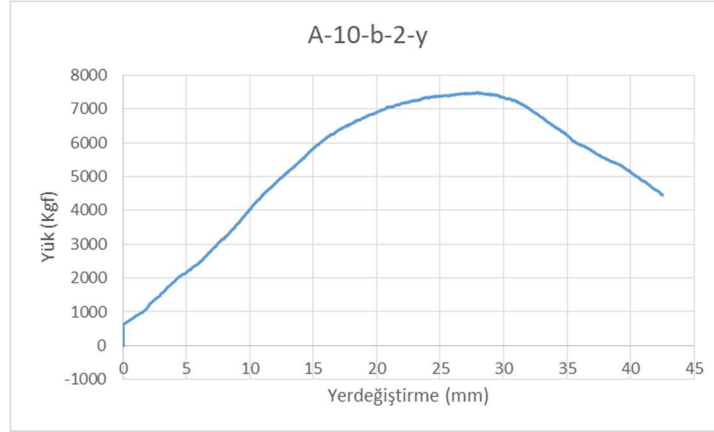
Şekil 5.19. A-5-b-2-y numunesi grafiği

Şekil 5.19.'da görülen grafik numunesi %20 demir tozu katkılı, dengealtı donatılı, 50 mm etriye adım mesafesine sahip ve 135 derece etriye kanca açısına sahiptir. A-5-b-2-y numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 7977,602 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 6780,962 kgf'de 28,599 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 5983,201 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 15,134 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,889 olarak belirlenmiştir.



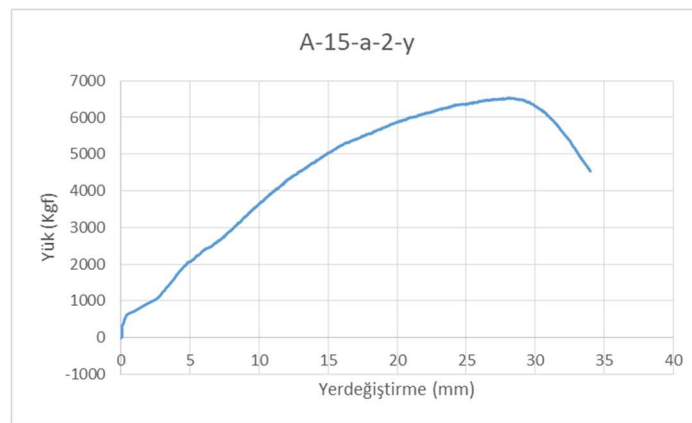
Şekil 5.20. A-10-a-2-y numunesi grafiği

Şekil 5.20.'de görülen grafik numunesi %20 demir tozu katkılı, dengealtı donatılı, 100 mm etriye adım mesafesine sahip ve 90 derece etriye kanca açısına sahiptir. A-10-a-2-y numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 7316,756 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 6219,243 kgf'de 27,2735 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 5487,567 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 15,9671 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,708 olarak belirlenmiştir.



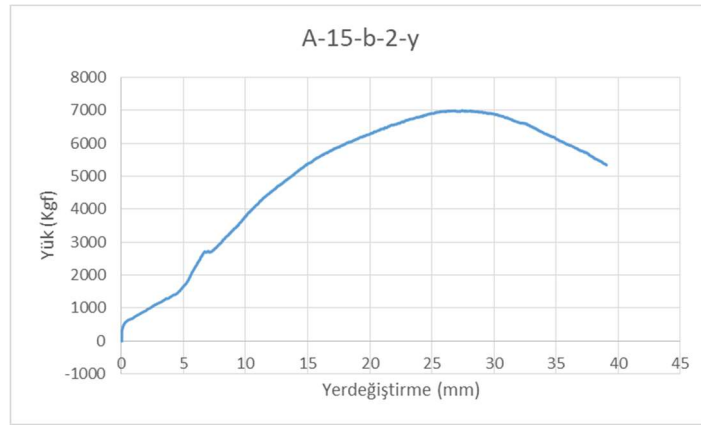
Şekil 5.21. A-10-b-2-y numunesi grafiği

Şekil 5.21.'de görülen grafik numunesi %20 demir tozu katkı, dengealtı donatılı, 100 mm etriye adım mesafesine sahip ve 135 derece etriye kanca açısına sahiptir. A-10-b-2-y numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 7492,676 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 6368,775 kgf'de 34,4905 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 5619,507 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 19,4464 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,7736 olarak belirlenmiştir.



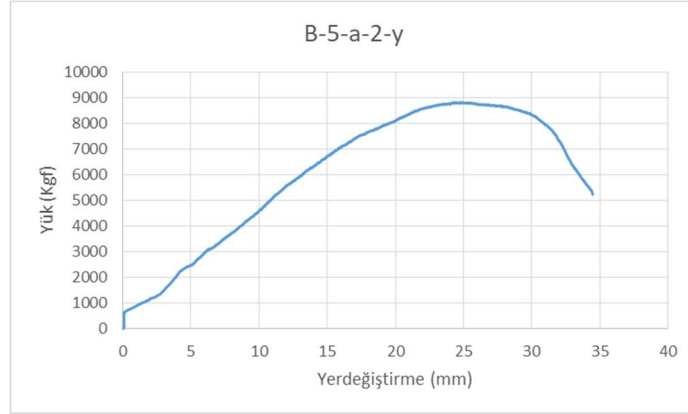
Şekil 5.22. A-15-a-2-y numunesi grafiği

Şekil 5.22.'de görülen grafik numunesi %20 demir tozu katkılı, dengealtı donatılı, 150 mm etriye adım mesafesine sahip ve 90 derece etriye kanca açısına sahiptir. A-15-a-2-y numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 6536,865 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 5556,335 kgf'de 32,0743 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 4902,648 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 19,4316 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,650 olarak belirlenmiştir.



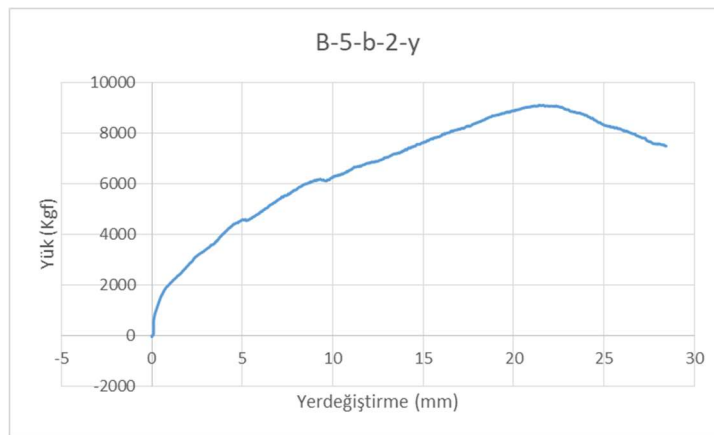
Şekil 5.23. A-15-b-2-y numunesi grafiği

Şekil 5.23.'de görülen grafik numunesi %20 demir tozu katkılı, dengealtı donatılı, 150 mm etriye adım mesafesine sahip ve 135 derece etriye kanca açısına sahiptir. A-15-b-2-y numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 6999,869 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 5949,888 kgf'de 35,8812 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 5249,901 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 20,6474 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,7378 olarak belirlenmiştir.



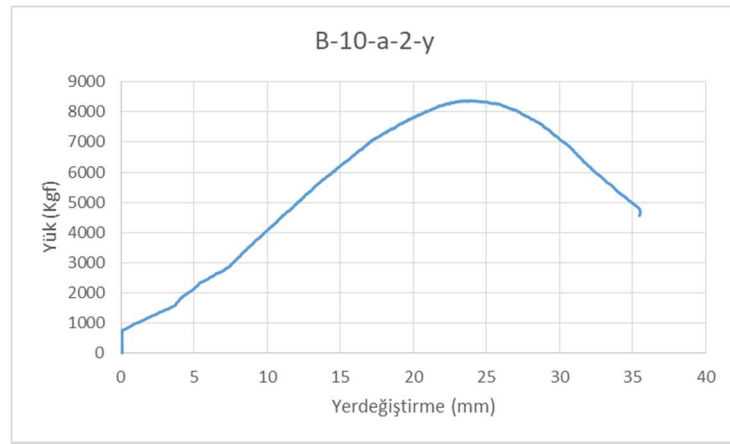
Şekil 5.24. B-5-a-2-y numunesi grafiği

Şekil 5.24.'de görülen grafik numunesi %20 demir tozu katkı, dengeüstü donatılı, 50 mm etriye adım mesafesine sahip ve 90 derece etriye kanca açısına sahiptir. B-5-a-2-y numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 8828,743 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 7504,43 kgf'de 31,83 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 6621,557 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 19,594 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,624 olarak belirlenmiştir.



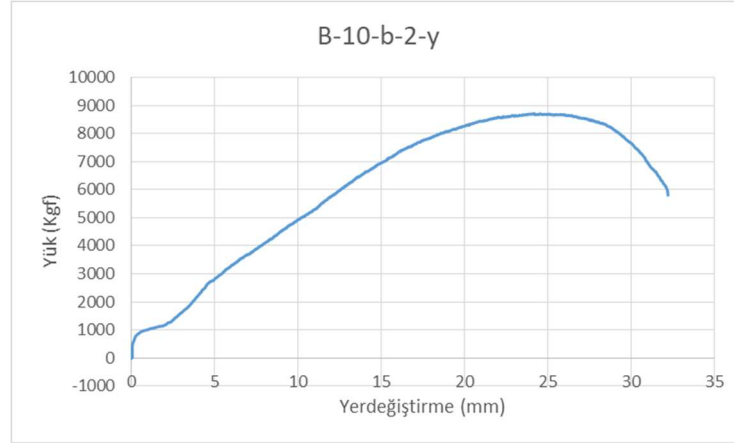
Şekil 5.25. B-5-b-2-y numunesi grafiği

Şekil 5.25.'de görülen grafik numunesi %20 demir tozu katkılı, dengeüstü donatılı, 50 mm etriye adım mesafesine sahip ve 135 derece etriye kanca açısına sahiptir. B-5-b-2-y numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 9093,281 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 7729,288 kgf'de 27,2823 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 6819,96 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 16,2094 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,683 olarak belirlenmiştir.



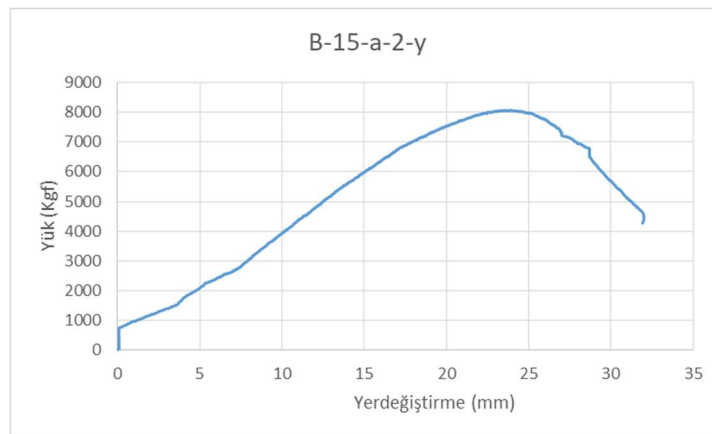
Şekil 5.26. B-10-a-2-y numunesi grafiği

Şekil 5.26.'da görülen grafik numunesi %20 demir tozu katkılı, dengeüstü donatılı, 100 mm etriye adım mesafesine sahip ve 90 derece etriye kanca açısına sahiptir. B-10-a-2-y numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 8380,106 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 7123,09 kgf'de 29,8 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 6285,08 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 20,0175 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,48 olarak belirlenmiştir.



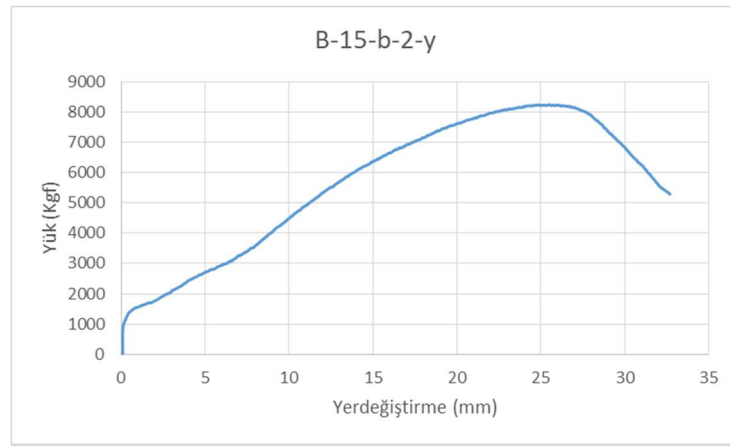
Şekil 5.27. B-10-b-2-y numunesi grafiği

Şekil 5.27.'de görülen grafik numunesi %20 demir tozu katkı, dengeüstü donatılı, 100 mm etriye adım mesafesine sahip ve 135 derece etriye kanca açısına sahiptir. B-10-b-2-y numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 8722,39 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 7414,032 kgf'de 30,3883 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 6541,793 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 18,9423 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,604 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.28. B-15-a-2-y numunesi grafiği

Şekil 5.28.'de görülen grafik numunesi %20 demir tozu katkı, dengeüstü donatılı, 150 mm etriye adım mesafesine sahip ve 90 derece etriye kanca açısına sahiptir. B-15-a-2-y numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 8070,042 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 6859,536 kgf'de 27,34 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 6052,53 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 20,2698 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,348 olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.29. B-15-b-2-y numunesi grafiği

Şekil 5.29.'da görülen grafik numunesi %20 demir tozu katkı, dengeüstü donatılı, 150 mm etriye adım mesafesine sahip ve 135 derece etriye kanca açısına sahiptir. B-15-b-2-y numunesi taşıyabileceği maksimum yüke 8242,939 kgf'de ulaşmıştır. Numunede maksimum yerdeğiştirmesi (Δ_u) için P_{maks} 'ın %15 yük düşüşü gerçekleştiği nokta kabul edilmiş olup 7006,498 kgf'de 29,6784 mm olarak belirlenmiştir. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) bulunurken tam yeri belli olmadığından P_{maks} 'ın %75'ine ulaştığı andaki 6182,204 kgf yük değeri ile 0 noktası arasından bir doğru geçirilerek geometrik olarak belirlenmiştir. Bu numunede 18,9513 olarak belirlenmiştir. Denklem 3.31'in uygulanmasıyla μ 1,566 olarak belirlenmiştir.

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde birbirinden farklı niteliklere sahip üretilen konsol kirişlerden elde edilen veriler tablolar ve grafikler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar yorumlanıp çıkarımlarda bulunulmuştur.

6.1. Etriye Adım Mesafesi Bakımından Karşılaştırma

Denge altı donatılı ve denge üstü donatılı kirişler etriye kanca açıları ve katkısız durumda sabit tutulup kendi aralarında etriye adım mesafesinin değiştiği durumdaki karşılaştırmaları Tablo 6.1.'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Katkısız konsol kiriş numunelerinde etriye adım mesafesi bakımından karşılaştırma tablosu

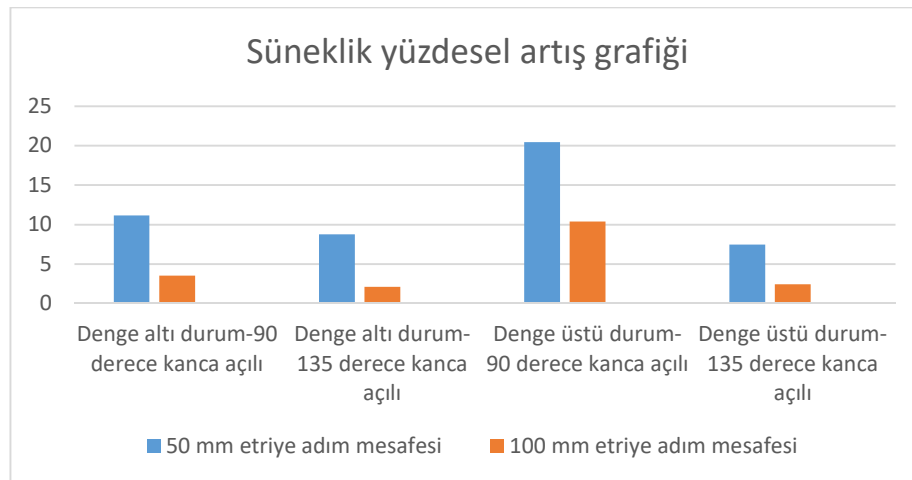
Numune İsmi	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ	Yüzdesel Artış (%)	P_{max} (kgf)	Yüzdesel Artış (%)
A-5-a-1-w	17,89	27,2	1,515	10,664	9428,188	17,78
A-10-a-1-w	19,27	28,0203	1,454	6,208	8695,798	8,63
A-15-a-1-w	17,79	24,37	1,369	-	8004,883	-
A-5-b-1-w	18,78	29,4	1,599	13,323	9752,784	16,101
A-10-b-1-w	18,546	27,83	1,50059	6,349	9125,2878	8,6314
A-15-b-1-w	21,1	29,78	1,411	-	8400,225	-
B-5-a-1-w	22,98	31,18	1,357	4,54	11093,17	10,948
B-10-a-1-w	20,159	26,68	1,323	1,92	10270,64	2,722
B-15-a-1-w	25,3	32,88	1,298	-	9998,446	-
B-5-b-1-w	15,65	22,5	1,437	4,905	11749,87	16,184
B-10-b-1-w	19,2	27,26	1,419	3,59	10796,526	6,75
B-15-b-1-w	23,5871	32,31	1,3698	-	10113,08	-

Denge altı donatılı ve denge üstü donatılı kirişler etriye kanca açıları ve %20 demir tozu katkıli durumda sabit tutulup kendi aralarında etriye adım mesafesinin değiştiği durumdaki karşılaştırmaları Tablo 6.2.'de verilmiştir.

Tablo 6.2. %20 Demir tozu katkıli konsol kiriş numunelerinde etriye adım mesafesi bakımından karşılaştırma tablosu

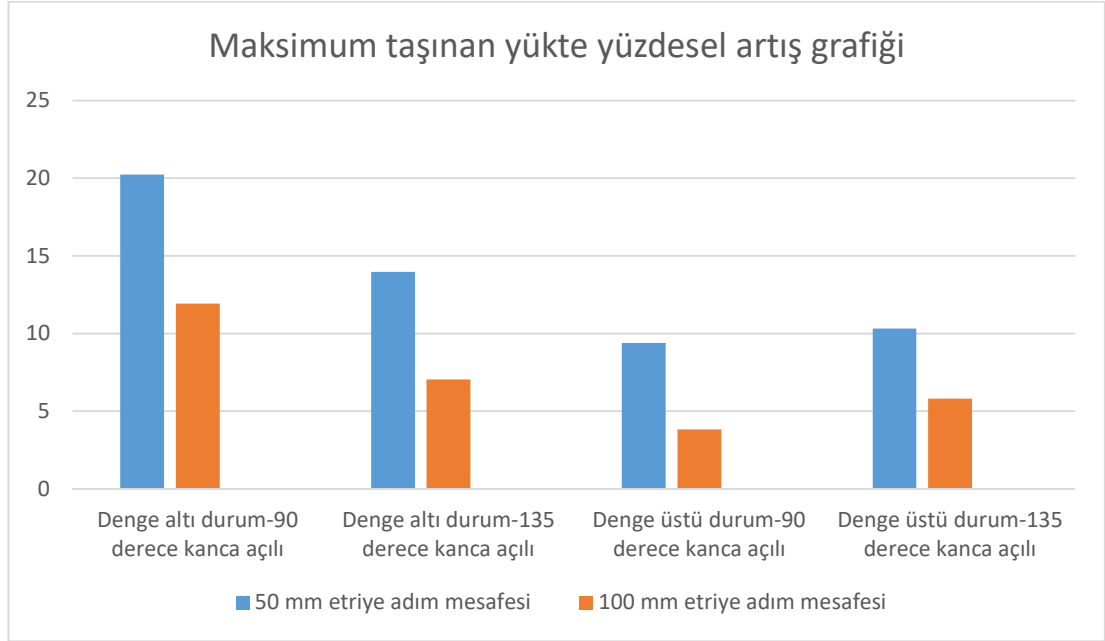
Numune İsmi	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ	Yüzdesel Artış (%)	P_{max} (kgf)	Yüzdesel Artış (%)
A-5-a-2-y	17,9281	32,8881	1,834	11,151	7859,577	20,23
A-10-a-2-y	15,9671	27,2735	1,708	3,515	7316,756	11,93
A-15-a-2-y	19,4316	32,0743	1,650	-	6536,865	-
A-5-b-2-y	15,134	28,595	1,889	8,750	7977,602	13,967
A-10-b-2-y	19,4464	34,4905	1,7736	2,107	7492,676	7,040
A-15-b-2-y	20,6474	35,8812	1,737	-	6999,869	-
B-5-a-2-y	19,594	31,83	1,624	20,474	8828,743	9,401
B-10-a-2-y	20,0175	29,8	1,488	10,385	8380,106	3,842
B-15-a-2-y	20,2698	27,34	1,348	-	8070,042	-
B-5-b-2-y	16,2094	27,2823	1,683	7,471	9093,281	10,316
B-10-b-2-y	18,9423	30,3883	1,604	2,426	8722,39	5,816
B-15-b-2-y	18,9513	29,6784	1,566	-	8242,939	-

Şekil 6.1.'de 150 mm etriye adım mesafesine göre 50 mm adım mesafesinin ve 100 mm adım mesafesinin süneklik bakımından yüzdesel artış grafiği verilmiştir.



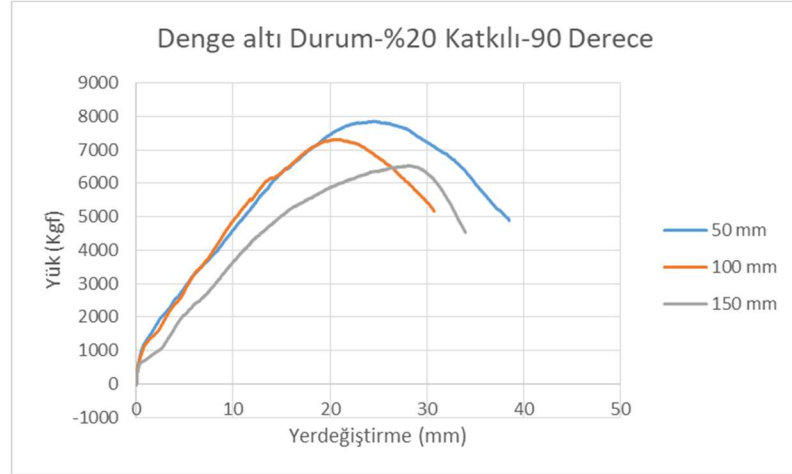
Şekil 6.1. Süneklikte yüzdesel artış grafiği

Şekil 6.2.'de 150 mm etriye adım mesafesine göre 50 mm adım mesafesinin ve 100 mm adım mesafesinin taşınan maksimum yük bakımından yüzdesel artış grafiği verilmiştir.



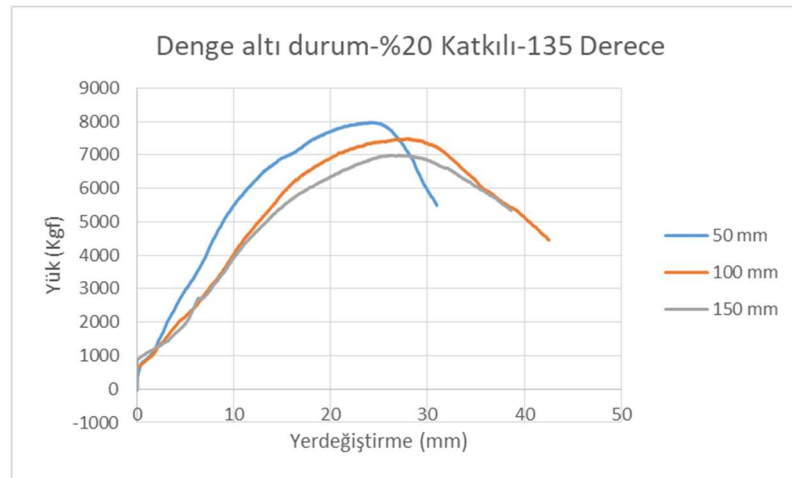
Şekil 6.2. Maksimum yükte meydana gelen yüzdesel artış grafiği

%20 Demir tozu katkılı, denge altı durumdaki numuneler arasında 150 mm etriye adım mesafesine göre bir karşılaştırma yapılacak olursa 100 mm adım mesafeli kiriş süneklik bakımından %3,515'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından da %11,93'lük bir artış görülmüştür. 50 mm adım mesafeli kirişte ise 150 mm adım mesafeli kirişe oranla süneklik bakımından %11,151'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından da %20,23'lük artış görülmüştür. Şekil 6.3.'de denge altı donatılı, %20 demir tozu katkılı ve etriye kanca açısı 90 derece olan konsol kirişler için etriye adım mesafelerinin süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



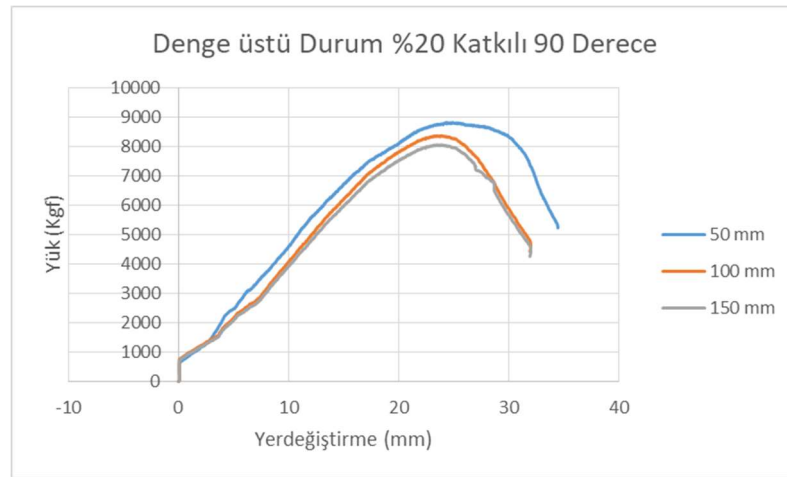
Şekil 6.3. Denge altı durum-%20 Katkılı-90 Derece Kanca Açılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

%20 Demir tozu katkı, denge altı durumdaki numuneler arasında 150 mm etriye adım mesafesine göre bir karşılaştırma yapılacak olursa 100 mm adım mesafeli kiriş süneklik bakımından %2,107'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından da %7,040'lık bir artış görülmüştür. 50 mm adım mesafeli kirişte ise 150 mm adım mesafeli kirişe oranla süneklik bakımından %8,750'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından da %13,967'lik artış görülmüştür. Şekil 6.4.'de denge altı donatılı, %20 demir tozu katkı ve etriye kanca açısı 135 derece olan konsol kirişler için etriye adım mesafelerinin süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



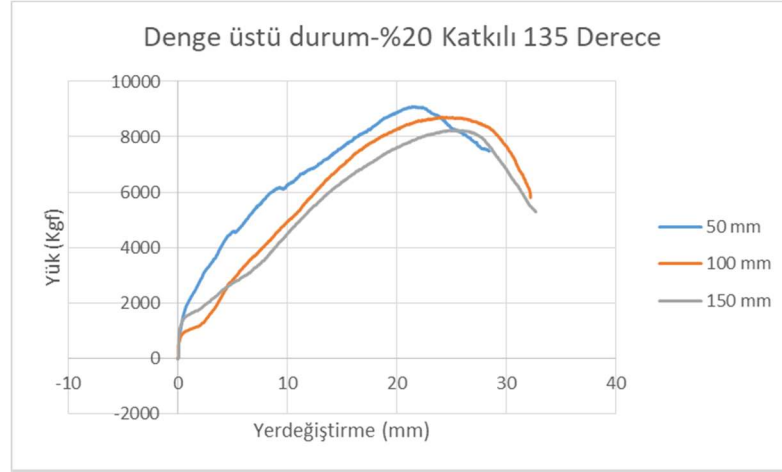
Şekil 6.4. Denge altı durum-%20 Katkılı-135 Derece Kanca Açılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

%20 Demir tozu katkılı, denge üstü durumdaki numuneler arasında 150 mm etriye adım mesafesine göre bir karşılaştırma yapılacak olursa 100 mm adım mesafeli kiriş süneklik bakımından %10,385'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından da %3,842'lik bir artış görülmüştür. 50 mm adım mesafeli kirişte ise 150 mm adım mesafeli kirişe oranla süneklik bakımından %20,474'lük artış, taşınan maksimum yük bakımından da %9,401'lik artış görülmüştür. Şekil 6.5.'de denge üstü donatılı, %20 demir tozu katkılı ve etriye kanca açısı 90 derece olan konsol kirişler için etriye adım mesafelerinin süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 6.5. Denge üstü durum-%20 Katkılı-90 Derece Kanca Açılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

%20 Demir tozu katkılı, denge üstü durumdaki numuneler arasında 150 mm etriye adım mesafesine göre bir karşılaştırma yapılacak olursa 100 mm adım mesafeli kiriş süneklik bakımından %2,426'lık artış, taşınan maksimum yük bakımından da %5,816'lık bir artış görülmüştür. 50 mm adım mesafeli kirişte ise 150 mm adım mesafeli kirişe oranla süneklik bakımından %7,471'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından da %10,316'lık artış görülmüştür. Şekil 6.6.'da denge üstü donatılı, %20 demir tozu katkılı ve etriye kanca açısı 135 derece olan konsol kirişler için etriye adım mesafelerinin süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 6.6. Denge üstü Durum-%20 Katkılı-135 Derece Kanca Açılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

6.2. Etriye Kanca Açısı Bakımından Karşılaştırma

Denge altı donatılı ve denge üstü donatılı kirişler katkısız durumda etriye adım mesafeleri sabit tutulup kendi aralarında etriye kanca açısının değişmesi sonucu davranışındaki karşılaştırmaları Tablo 6.3.'de verilmiştir.

Tablo 6.3. Katkısız konsol kiriş numunelerinde etriye kanca açısı bakımından karşılaştırma tablosu

Numune İsmi	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ	Yüzdesele Artış (%)	P_{max} (kgf)	Yüzdesele Artış (%)
A-5-a-1-w	17,89	27,2	1,515	-	9428,188	-
A-5-b-1-w	18,78	29,4	1,599	5,544	9752,784	3,44
A-10-a-1-w	19,27	28,0203	1,454	-	8695,798	-
A-10-b-1-w	18,546	27,83	1,50059	3,20	9125,2878	4,939
A-15-a-1-w	17,79	24,37	1,369	-	8004,883	-
A-15-b-1-w	21,1	29,78	1,411	3,067	8400,225	4,938
B-5-a-1-w	22,98	31,18	1,357	-	11093,17	-
B-5-b-1-w	15,65	22,5	1,437	5,895	11749,87	5,919
B-10-a-1-w	20,159	26,68	1,323	-	10270,64	-
B-10-b-1-w	19,2	27,26	1,419	7,256	10796,526	5,120
B-15-a-1-w	25,3	32,88	1,298	-	9998,446	-
B-15-b-1-w	23,5871	32,31	1,3698	5,531	10113,08	1,146

Denge altı donatılı ve denge üstü donatılı kirişler %20 demir tozu katkıli durumda etriye adım mesafeleri sabit tutulup kendi aralarında etriye kanca açısının değişmesi sonucu davranışındaki karşılaştırmaları Tablo 6.4.'de verilmiştir.

Tablo 6.4. %20 Demir tozu katkıli konsol kiriş numunelerinde etriye kanca açısı bakımından karşılaştırma tablosu

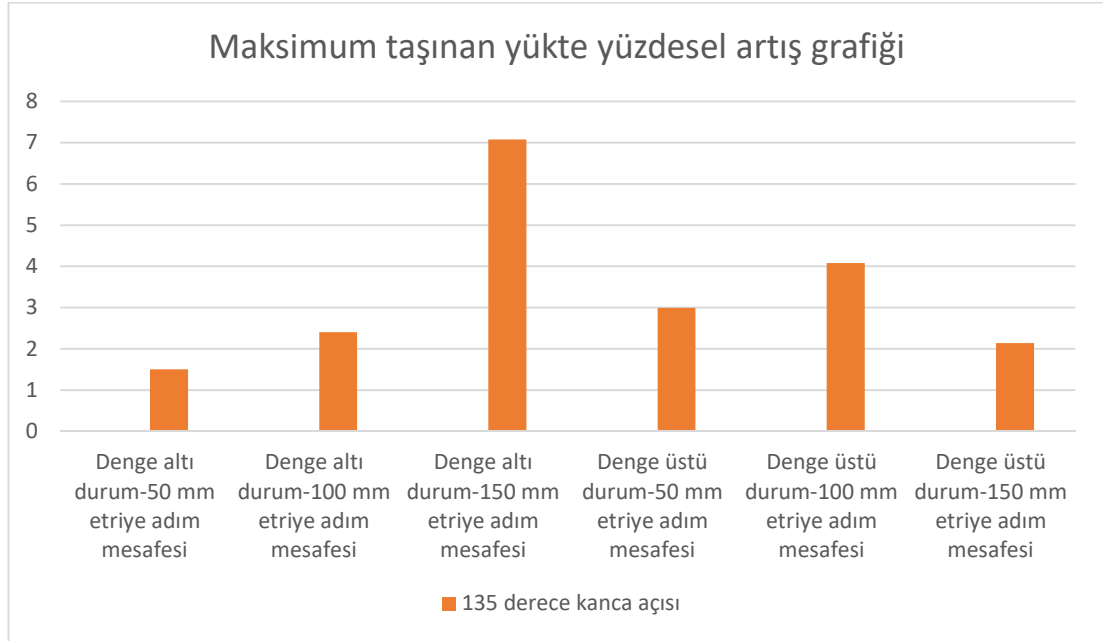
Numune İsmi	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ	Yüzdesel Artış (%)	P_{max} (kgf)	Yüzdesel Artış (%)
A-5-a-2-y	17,9281	32,8881	1,834	-	7859,577	-
A-5-b-2-y	15,134	28,595	1,889	2,998	7977,602	1,50
A-10-a-2-y	15,9671	27,2735	1,708	-	7316,756	-
A-10-b-2-y	19,4464	34,4905	1,7736	3,840	7492,676	2,404
A-15-a-2-y	19,4316	32,0743	1,650	-	6536,865	-
A-15-b-2-y	20,6474	35,8812	1,737	5,272	6999,869	7,082
B-5-a-2-y	19,594	31,83	1,624	-	8828,743	-
B-5-b-2-y	16,2094	27,2823	1,683	3,633	9093,281	2,99
B-10-a-2-y	20,0175	29,8	1,488	-	8380,106	-
B-10-b-2-y	18,9423	30,3883	1,604	7,795	8722,39	4,084
B-15-a-2-y	20,2698	27,34	1,348	-	8070,042	-
B-15-b-2-y	18,9513	29,6784	1,566	16,172	8242,939	2,142

Şekil 6.7.'de 135 derece kanca açılı durumda 90 derece kanca açılı duruma göre süneklik bakımından yüzdesel artış grafiği verilmiştir.



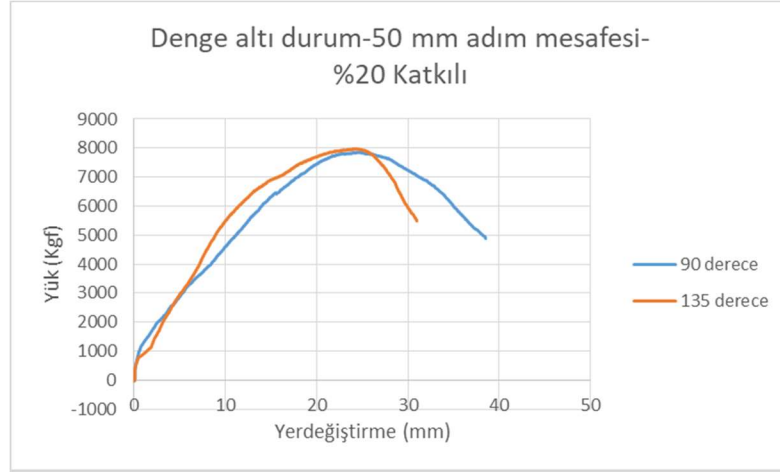
Şekil 6.7. Süneklikte yüzdesel artış grafiği

Şekil 6.8.'de 135 derece kanca açılı durumda 90 derece kanca açılı duruma göre taşınan maksimum yük bakımından yüzdesel artış grafiği verilmiştir.



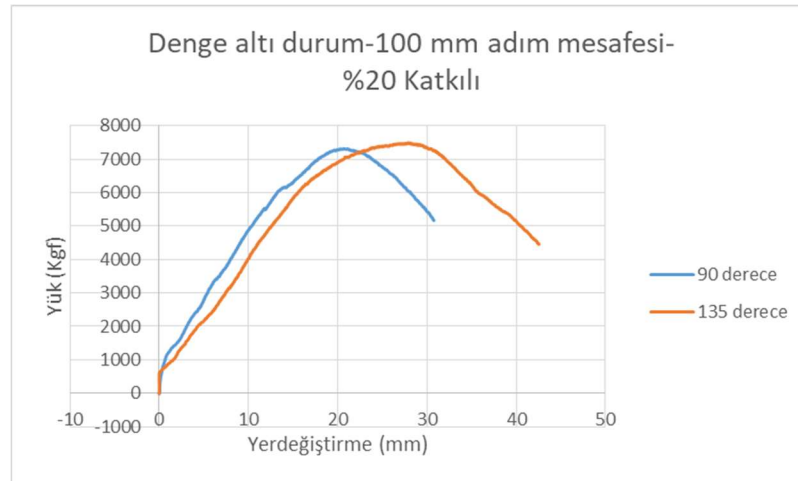
Şekil 6.8. Maksimum taşınan yükte yüzdesel artış grafiği

%20 Demir tozu katkılı, denge altı durumdaki, 50 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 135 derece kanca açısına sahip olanları 90 derece kanca açısına sahip olanlara oranla süneklik bakımından %2,998'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından da %1,50'lık bir artış görülmüştür. Şekil 6.9.'da denge altı donatılı, %20 demir tozu katkılı ve etriye adım mesafesi 50 mm olan konsol kirişler için etriye kanca açıları değişimi ile süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



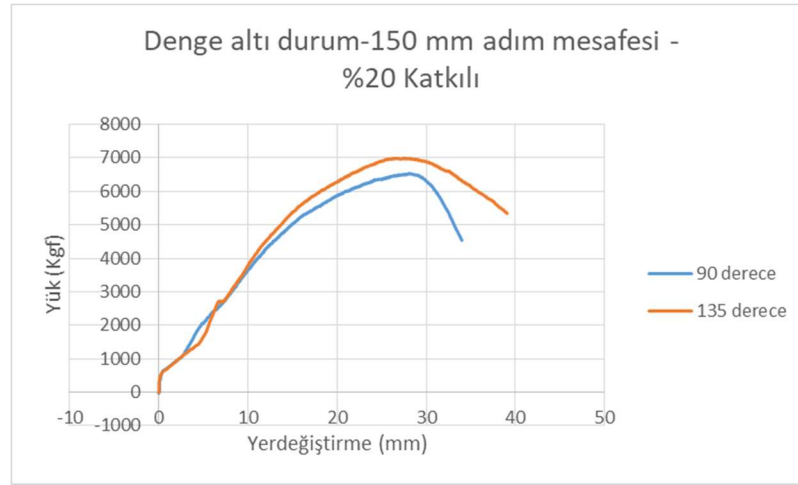
Şekil 6.9. Denge altı Durum-%20 Katkılı-50 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

%20 Demir tozu katkılı, denge altı durumdaki, 100 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 135 derece kanca açısına sahip olanları 90 derece kanca açısına sahip olanlara oranla süneklik bakımından %3,840'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından da %2,404'lük bir artış görülmüştür. Şekil 6.10.'da denge altı donatılı, %20 demir tozu katkılı ve etriye adım mesafesi 100 mm olan konsol kirişler için etriye kanca açıları değişimi ile süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



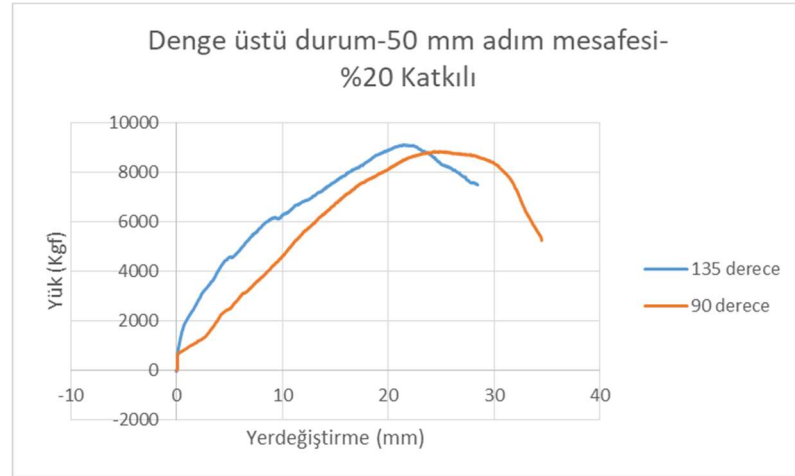
Şekil 6.10. Denge altı Durum-%20 Katkılı-100 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

%20 Demir tozu katkılı, denge altı durumdaki, 150 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 135 derece kanca açısına sahip olanları 90 derece kanca açısına sahip olanlara oranla süneklik bakımından %5,272'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından da %7,082'lik bir artış görülmüştür. Şekil 6.11.'de denge altı donatılı, %20 demir tozu katkılı ve etriye adım mesafesi 150 mm olan konsol kirişler için etriye kanca açıları değişimi ile süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



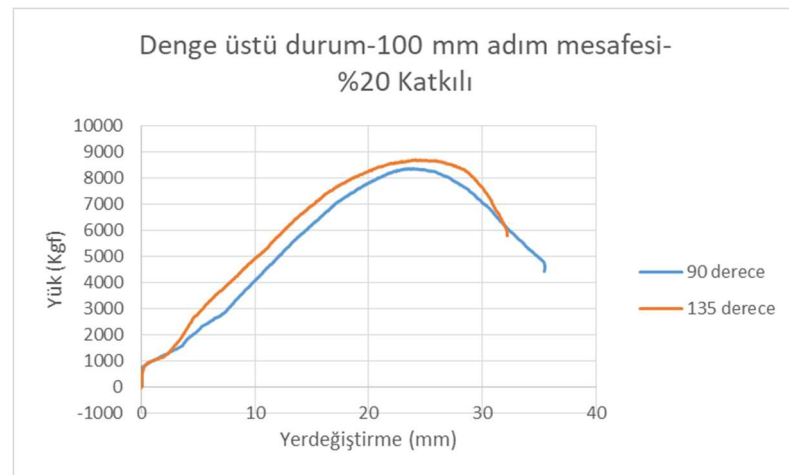
Şekil 6.11. Denge altı Durum-%20 Katkılı-150 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

%20 Demir tozu katkılı, denge üstü durumdaki, 50 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 135 derece kanca açısına sahip olanları 90 derece kanca açısına sahip olanlara oranla süneklik bakımından %3,633'lük artış, taşınan maksimum yük bakımından da %2,99'lük bir artış görülmüştür. Şekil 6.12.'de denge üstü donatılı, %20 demir tozu katkılı ve etriye adım mesafesi 50 mm olan konsol kirişler için etriye kanca açıları değişimi ile süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



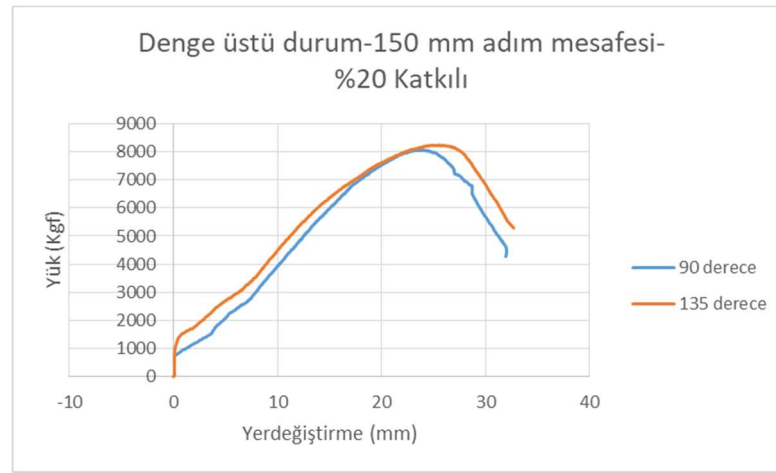
Şekil 6.12. Denge altı Durum-%20 katkılı-150 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

%20 Demir tozu katkılı, denge üstü durumdaki, 100 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 135 derece kanca açısına sahip olanları 90 derece kanca açısına sahip olanlara oranla süneklik bakımından %7,795'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından da %4,084'lük bir artış görülmüştür. Şekil 6.13.'de denge üstü donatılı, %20 demir tozu katkılı ve etriye adım mesafesi 100 mm olan konsol kirişler için etriye kanca açıları değişimi ile süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 6.13. Denge altı Durum-%20 katkılı-150 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

%20 Demir tozu katkılı, denge üstü durumdaki, 150 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 135 derece kanca açısına sahip olanları 90 derece kanca açısına sahip olanlara oranla süneklik bakımından %16,172'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından da %2,142'lik bir artış görülmüştür. Şekil 6.14.'de denge üstü donatılı, %20 demir tozu katkılı ve etriye adım mesafesi 150 mm olan konsol kirişler için etriye kanca açıları değişimi ile süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 6.14. Denge altı Durum-%20 Katkılı-150 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

6.3. Denge Altı ve Denge üstü Durum Bakımından Karşılaştırma

Katkısız durumda etriye adım mesafesi ve etriye kanca açısı sabit tutulup denge altı donatılı ve denge üstü donatılı konsol kirişlerin taşıdıkları maksimum yük ve süneklik davranışlarına ait veri karşılaştırmaları Tablo 6.5.'de verilmiştir.

Tablo 6.5. Katkısız konsol kiriş numunelerinde denge altı ve denge üstü duruma göre karşılaştırma tablosu

Numune İsmi	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ	Yüzdesel Artış (%)	P_{max} (kgf)	Yüzdesel Artış (%)
A-5-a-1-w	17,89	27,2	1,515	11,643	9428,188	-15,009
B-5-a-1-w	22,98	31,18	1,357	-	11093,17	-
A-10-a-1-w	19,27	28,0203	1,454	9,901	8695,798	-15,33
B-10-a-1-w	20,159	26,68	1,323	-	10270,64	-

Tablo 6.5. (Devamı)

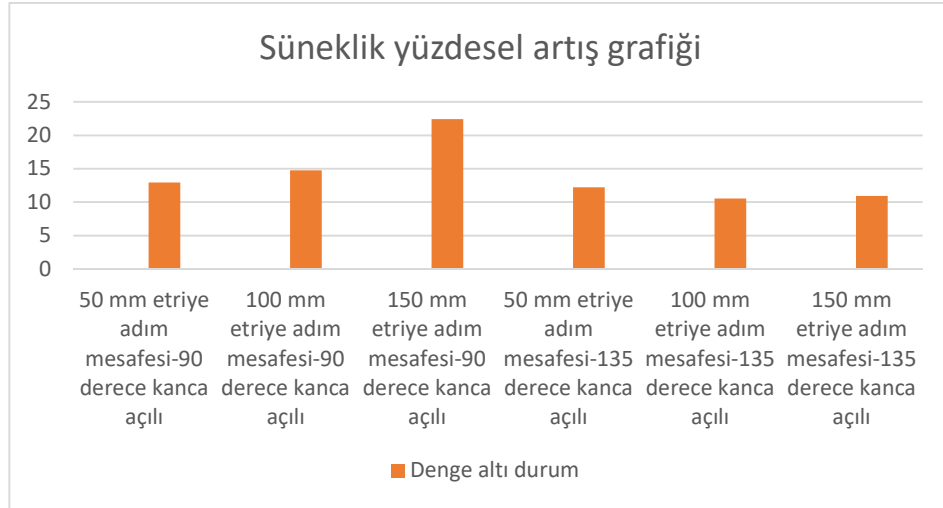
A-15-a-1-w	17,79	24,37	1,369	5,469	8004,883	-19,938
B-15-a-1-w	25,3	32,88	1,298	-	9998,446	-
A-5-b-1-w	18,78	29,4	1,599	11,27	9752,784	-16,996
B-5-b-1-w	15,65	22,5	1,437	-	11749,87	-
A-10-b-1-w	18,546	27,83	1,50059	5,749	9125,2878	-15,479
B-10-b-1-w	19,2	27,26	1,419	-	10796,526	-
A-15-b-1-w	21,1	29,78	1,411	3,007	8400,225	-16,937
B-15-b-1-w	23,5871	32,31	1,3698	-	10113,08	-

%20 Demir tozu katkılı durumda etriye adım mesafesi ve etriye kanca açısı sabit tutulup denge altı donatılı ve denge üstü donatılı konsol kirişlerin taşıdıkları maksimum yük ve süneklik davranışlarına ait veri karşılaştırmaları Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6. %20 Demir tozu katkılı konsol kiriş numunelerinde denge altı ve denge üstü duruma göre karşılaştırma tablosu

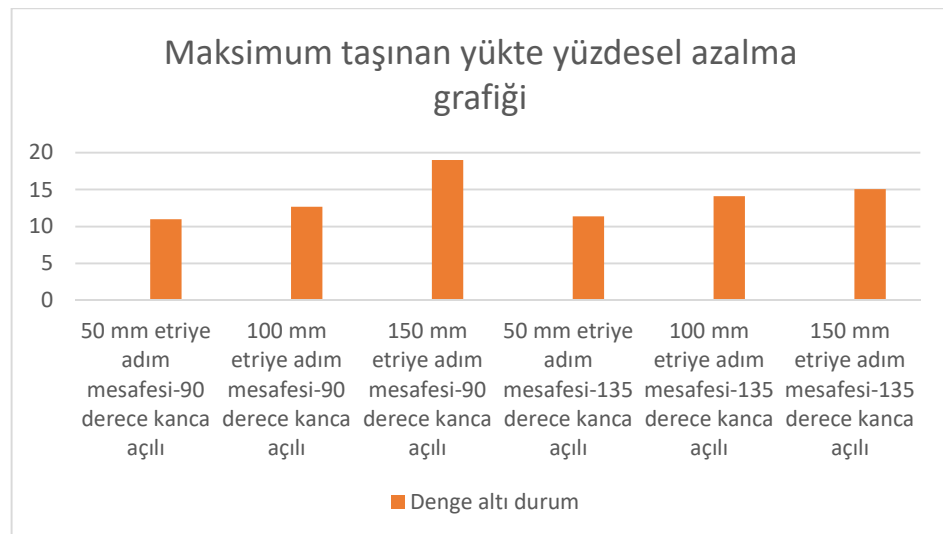
Numune İsmi	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ	Yüzdesele Artış (%)	P_{max} (kgf)	Yüzdesele Artış (%)
A-5-a-2-y	17,9281	32,8881	1,834	12,931	7859,577	-10,977
B-5-a-2-y	19,594	31,83	1,624	-	8828,743	-
A-10-a-2-y	15,9671	27,2735	1,708	14,784	7316,756	-12,688
B-10-a-2-y	20,0175	29,8	1,488	-	8380,106	-
A-15-a-2-y	19,4316	32,0743	1,650	22,403	6536,865	-18,998
B-15-a-2-y	20,2698	27,34	1,348	-	8070,042	-
A-5-b-2-y	15,134	28,595	1,889	12,240	7977,602	-11,392
B-5-b-2-y	16,2094	27,2823	1,683	-	9093,281	-
A-10-b-2-y	19,4464	34,4905	1,7736	10,573	7492,676	-14,098
B-10-b-2-y	18,9423	30,3883	1,604	-	8722,39	-
A-15-b-2-y	20,6474	35,8812	1,737	10,919	6999,869	-15,080
B-15-b-2-y	18,9513	29,6784	1,566	-	8242,939	-

Şekil 6.15.'de 50 mm etriye adım mesafeli, 100 mm etriye adım mesafeli, 150 mm etriye adım mesafeli ve 90 derece ile 135 derece kanca açılı halde iken denge üstü duruma göre denge altı durumda süneklik açısından yüzdesel artış grafiği verilmiştir.



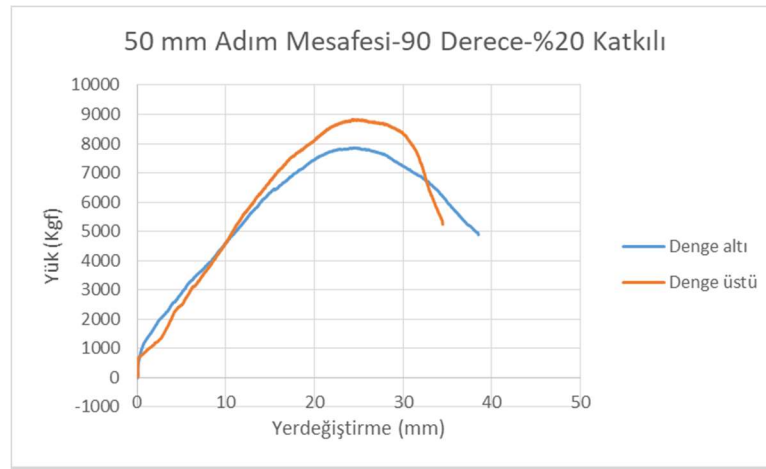
Şekil 6.15. Süneklikte yüzdesel artış grafiği

Şekil 6.16.'da 50 mm etriye adım mesafeli, 100 mm etriye adım mesafeli, 150 mm etriye adım mesafeli ve 90 derece ile 135 derece kanca açılı halde iken denge üstü duruma göre denge altı durumda taşınan maksimum yük açısından yüzdesel azalma grafiği verilmiştir.



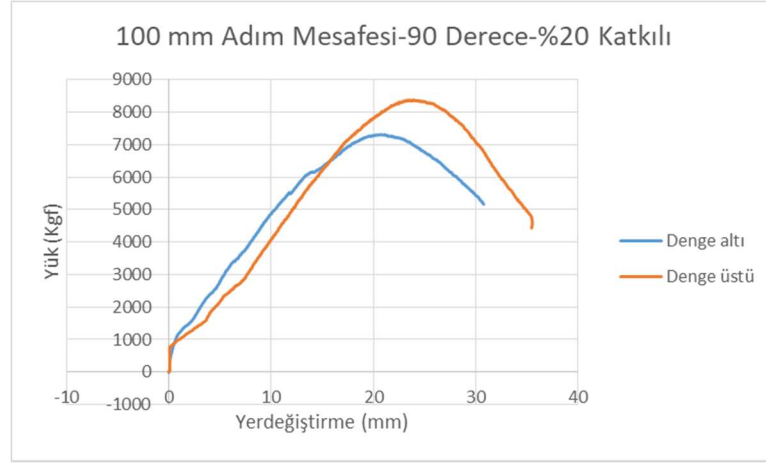
Şekil 6.16. Maksimum taşınan yükte yüzdesel azalma grafiği

%20 Demir tozu katkılı, 50 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 90 derece kanca açısına sahip olanları arasında denge altı donatılı konsol kiriş numuneleri denge üstü donatılı numunelere oranla süneklik bakımından %12,931'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %10,977'lik bir azalma görülmüştür. Şekil 6.17.'de 50 mm etriye adım mesafesine ve 90 derece kanca açısına sahip olan numuneler arasında denge altı donatılı numuneler ile denge üstü donatılı numuneler süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



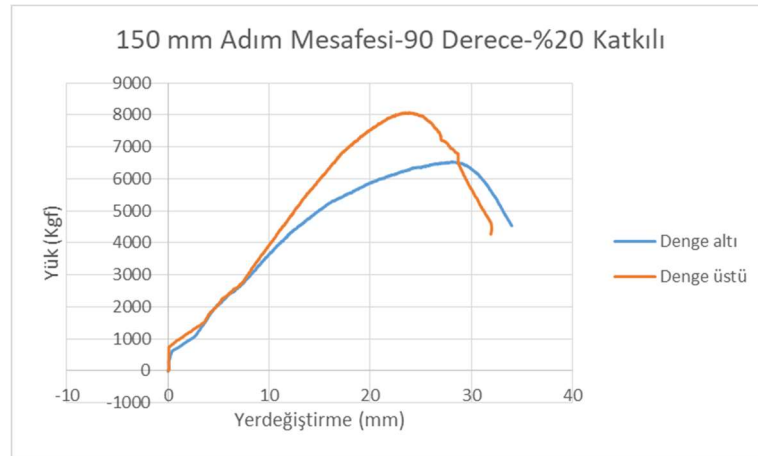
Şekil 6.17. 90 Derece Kanca açılı-%20 Katkılı-50 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

%20 Demir tozu katkılı, 100 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 90 derece kanca açısına sahip olanları arasında denge altı donatılı konsol kiriş numuneleri denge üstü donatılı numunelere oranla süneklik bakımından %14,784'lük artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %12,688'lik bir azalma görülmüştür. Şekil 6.18.'de 100 mm etriye adım mesafesine ve 90 derece kanca açısına sahip olan numuneler arasında denge altı donatılı numuneler ile denge üstü donatılı numuneler süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



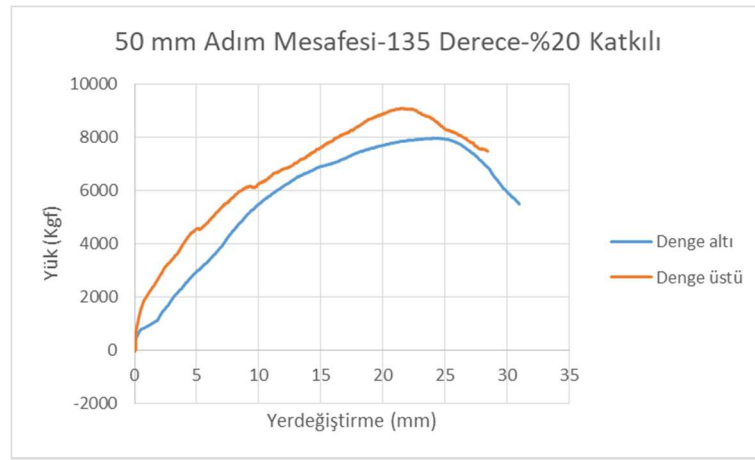
Şekil 6.18. 90 Derece Kanca açılı-%20 Katkılı-100 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

%20 Demir tozu katkı, 150 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 90 derece kanca açısına sahip olanları arasında denge altı donatılı konsol kiriş numuneleri denge üstü donatılı numunelere oranla süneklik bakımından %22,403'lük artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %18,998'lik bir azalma görülmüştür. Şekil 6.19.'da 150 mm etriye adım mesafesine ve 90 derece kanca açısına sahip olan numuneler arasında denge altı donatılı numuneler ile denge üstü donatılı numuneler süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



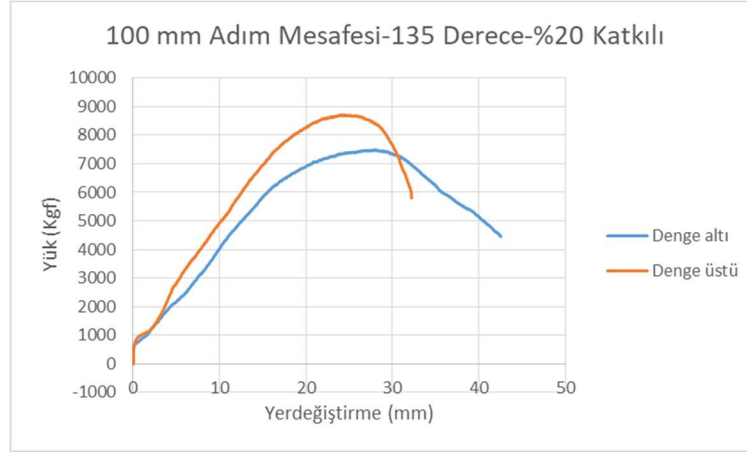
Şekil 6.19. 90 Derece Kanca açılı-%20 Katkılı-150 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

%20 Demir tozu katkılı, 50 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 135 derece kanca açısına sahip olanları arasında denge altı donatılı konsol kiriş numuneleri denge üstü donatılı numunelere oranla süneklik bakımından %12,240'lık artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %11,392'lik bir azalma görülmüştür. Şekil 6.20.'de 50 mm etriye adım mesafesine ve 135 derece kanca açısına sahip olan numuneler arasında denge altı donatılı numuneler ile denge üstü donatılı numuneler süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



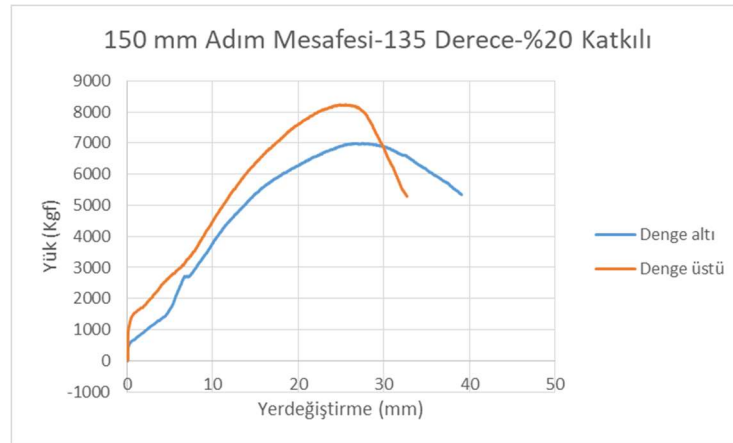
Şekil 6.20. 135 Derece Kanca açılı-%20 Katkılı-50 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

%20 Demir tozu katkılı, 100 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 135 derece kanca açısına sahip olanları arasında denge altı donatılı konsol kiriş numuneleri denge üstü donatılı numunelere oranla süneklik bakımından %10,573'lük artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %14,098'lik bir azalma görülmüştür. Şekil 6.21.'de 100 mm etriye adım mesafesine ve 135 derece kanca açısına sahip olan numuneler arasında denge altı donatılı numuneler ile denge üstü donatılı numuneler süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 6.21. 135 Derece Kanca açılı-%20 Katkılı-100 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

%20 Demir tozu katkı, 150 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 135 derece kanca açısına sahip olanları arasında denge altı donatılı konsol kiriş numuneleri denge üstü donatılı numunelere oranla süneklik bakımından %10,919'lık artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %15,080'lik bir azalma görülmüştür. Şekil 6.22.'de 150 mm etriye adım mesafesine ve 135 derece kanca açısına sahip olan numuneler arasında denge altı donatılı numuneler ile denge üstü donatılı numuneler süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 6.22. 135 Derece Kanca açılı-%20 Katkılı-150 mm Adım Mesafeli Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

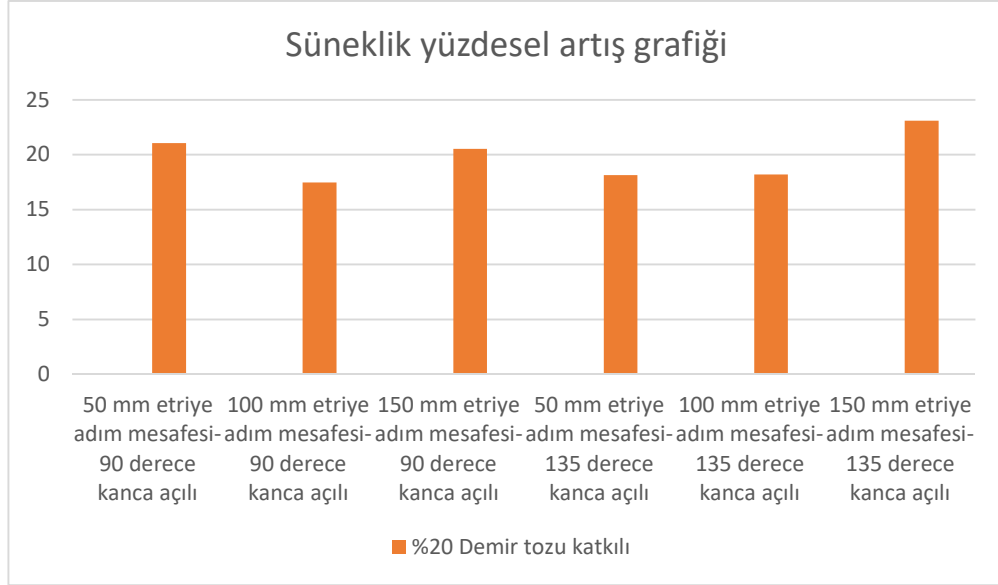
6.4. Katkı Maddesinin Etkisi Bakımından Karşılaştırma

Denge altı donatılı, etriye adım mesafeleri ve etriye kanca açıları sabit tutulup katkısız ile %20 demir tozu katkı maddesi kullanılması durumunda süneklik ve maksimum taşıdıkları yük miktarı açısından verilerin karşılaştırmaları Tablo 6.7.'de verilmiştir.

Tablo 6.7. Denge altı donatılı konsol kiriş numunelerinde katkılı ve %20 demir tozu katkılı duruma göre karşılaştırma tablosu

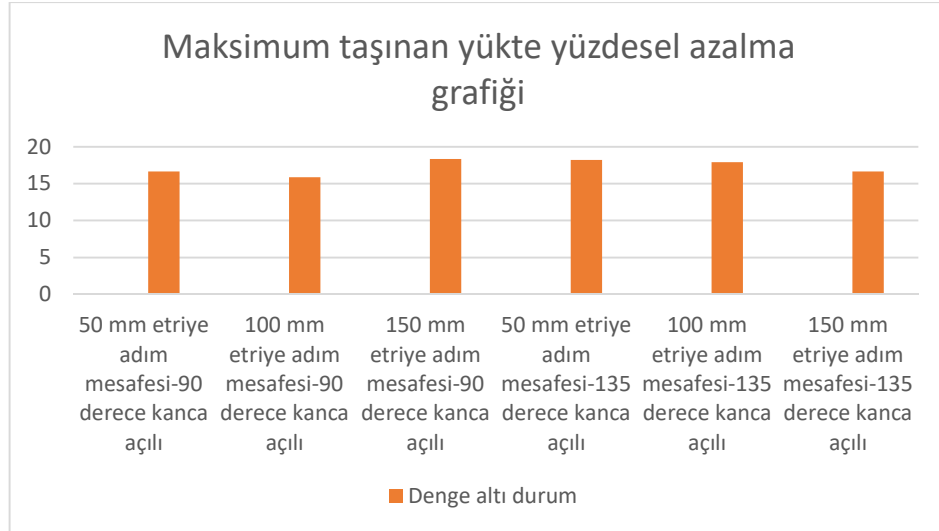
Numune İsmi	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ	Yüzdesel Artış (%)	P_{max} (kgf)	Yüzdesel Artış (%)
A-5-a-1-w	17,89	27,2	1,515	-	9428,188	-
A-5-a-2-y	17,9281	32,8881	1,834	21,056	7859,577	-16,637
A-10-a-1-w	19,27	28,0203	1,454	-	8695,798	-
A-10-a-2-y	15,9671	27,2735	1,708	17,469	7316,756	-15,858
A-15-a-1-w	17,79	24,37	1,369	-	8004,883	-
A-15-a-2-y	19,4316	32,0743	1,650	20,525	6536,865	-18,339
A-5-b-1-w	18,78	29,4	1,599	-	9752,784	-
A-5-b-2-y	15,134	28,595	1,889	18,136	7977,602	-18,201
A-10-b-1-w	18,546	27,83	1,50059	-	9125,2878	-
A-10-b-2-y	19,4464	34,4905	1,7736	18,193	7492,676	-17,891
A-15-b-1-w	21,1	29,78	1,411	-	8400,225	-
A-15-b-2-y	20,6474	35,8812	1,737	23,104	6999,869	-16,670

Şekil 6.23.'de denge altı durumunda 50 mm etriye adım mesafeli, 100 mm etriye adım mesafeli, 150 mm etriye adım mesafeli ve 90 derece ile 135 derece kanca açılı halde iken %20 demir tozu katkısının katkısız numunelere oranla süneklik açısından meydana gelen yüzdesel artış grafiği verilmiştir.



Şekil 6.23. Süneklik yüzdesel artış grafiği

Şekil 6.24.'de denge altı durumda 50 mm etriye adım mesafeli, 100 mm etriye adım mesafeli, 150 mm etriye adım mesafeli ve 90 derece ile 135 derece kanca açılı halde iken %20 demir tozu katkısının katkısız numunelere oranla taşınan maksimum yük kapasitesinde meydana gelen yüzdesel azalma grafiği verilmiştir.



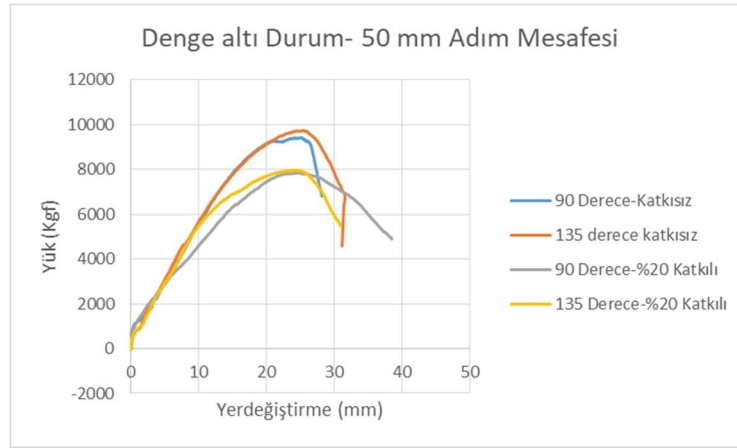
Şekil 6.24. Maksimum taşınan yükte yüzdesel azalma grafiği

Denge altı donatılı ve 50 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 90 derece kanca açılı %20 katkılı numunelerde 90 derece kanca açılı katkısız numunelere göre süneklik

bakımından %21,056'lık artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %16,637'lik bir azalma görülmüştür.

Denge altı donatılı ve 50 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 135 derece kanca açılı %20 katkılı numunelerde 135 derece kanca açılı katkısız numunelere göre süneklik bakımından %18,136'lık artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %18,201'lik bir azalma görülmüştür.

Şekil 6.25.'de denge altı donatı ve 50 mm etriye adım mesafesine sahip fakat farklı kanca açıları ve katkı durumuna ait olan numuneler arasında süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.

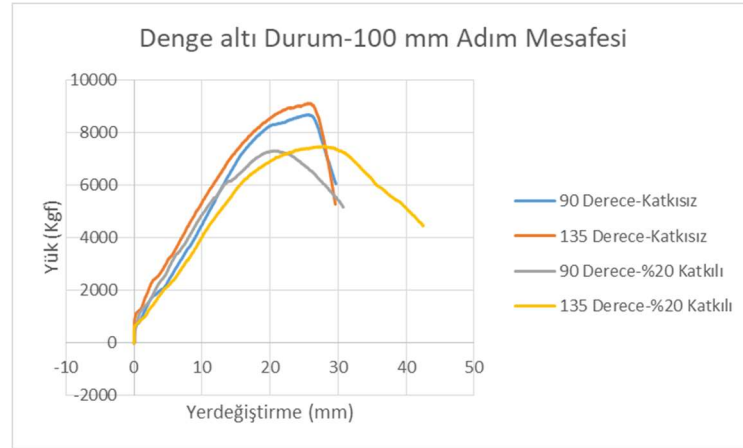


Şekil 6.25. 50 mm Adım Mesafeli –Denge altı Donatılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

Denge altı donatılı ve 100 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 90 derece kanca açılı %20 katkılı numunelerde 90 derece kanca açılı katkısız numunelere göre süneklik bakımından %17,469'lık artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %15,858'lik bir azalma görülmüştür.

Denge altı donatılı ve 100 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 135 derece kanca açılı %20 katkılı numunelerde 135 derece kanca açılı katkısız numunelere göre süneklik bakımından %18,193'lık artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %17,891'lik bir azalma görülmüştür.

Şekil 6.26.'da denge altı donatı ve 100 mm etriye adım mesafesine sahip fakat farklı kanca açıları ve katkı durumuna ait olan numuneler arasında süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.

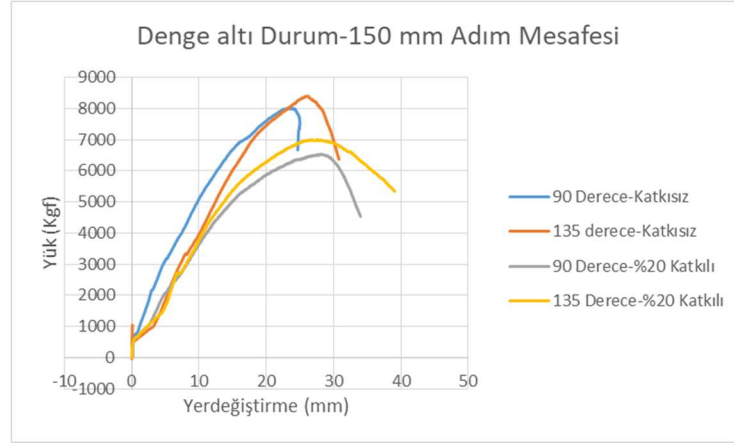


Şekil 6.26. 100 mm Adım Mesafeli –Denge altı Donatılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

Denge altı donatılı ve 150 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 90 derece kanca açılı %20 katkılı numunelerde 90 derece kanca açılı katkısız numunelere göre süneklik bakımından %20,525'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %18,339'luk bir azalma görülmüştür.

Denge altı donatılı ve 150 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 135 derece kanca açılı %20 katkılı numunelerde 135 derece kanca açılı katkısız numunelere göre süneklik bakımından %23,104'lük artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %16,670'lik bir azalma görülmüştür.

Şekil 6.27.'de denge altı donatı ve 150 mm etriye adım mesafesine sahip fakat farklı kanca açıları ve katkı durumuna ait olan numuneler arasında süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 6.27. 150 mm Adım Mesafeli –Denge altı Donatılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

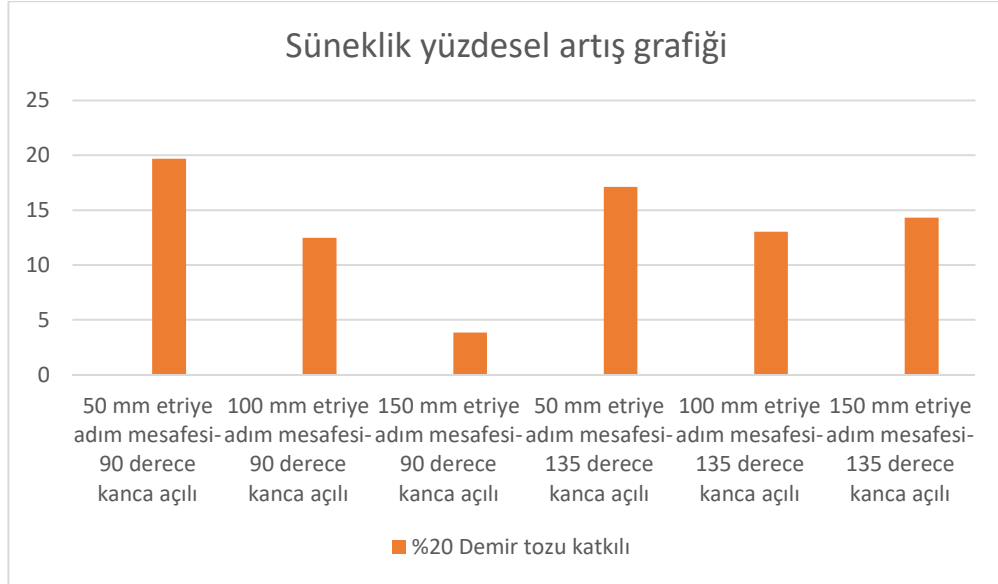
Denge altı donatılı, etriye adım mesafeleri ve etriye kanca açıları sabit tutulup katkısız ile %20 demir tozu katkı maddesi kullanılması durumunda süneklik ve maksimum taşıdıkları yük miktarı açısından verilerin karşılaştırmaları Tablo 6.8.'de verilmiştir.

Tablo 6.8. Denge üstü donatılı konsol kiriş numunelerinde katkı ve %20 demir tozu katkı duruma göre karşılaştırma tablosu

Numune İsmi	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ	Yüzdesele Artış (%)	P_{max} (kgf)	Yüzdesele Artış (%)
B-5-a-1-w	22,98	31,18	1,357	-	11093,17	-
B-5-a-2-y	19,594	31,83	1,624	19,675	8828,743	-20,412
B-10-a-1-w	20,159	26,68	1,323	-	10270,64	-
B-10-a-2-y	20,0175	29,8	1,488	12,471	8380,106	-18,407
B-15-a-1-w	25,3	32,88	1,298	-	9998,446	-
B-15-a-2-y	20,2698	27,34	1,348	3,852	8070,042	-19,28
B-5-b-1-w	15,65	22,5	1,437	-	11749,87	-
B-5-b-2-y	16,2094	27,2823	1,683	17,118	9093,281	-22,609
B-10-b-1-w	19,2	27,26	1,419	-	10796,526	-
B-10-b-2-y	18,9423	30,3883	1,604	13,037	8722,39	-19,211
B-15-b-1-w	23,5871	32,31	1,3698	-	10113,08	-
B-15-b-2-y	18,9513	29,6784	1,566	14,323	8242,939	-18,492

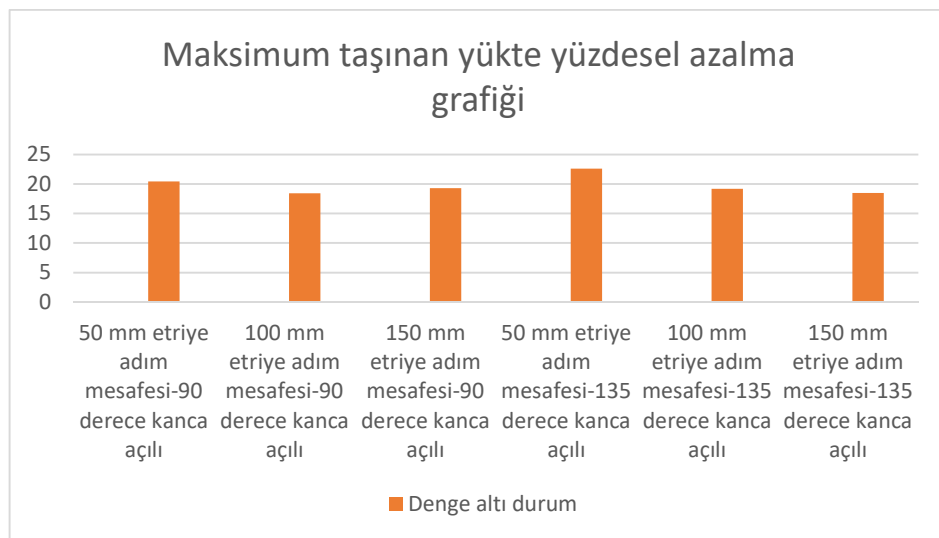
Şekil 6.28.'de denge üstü durumda 50 mm etriye adım mesafeli, 100 mm etriye adım mesafeli, 150 mm etriye adım mesafeli ve 90 derece ile 135 derece kanca açılı halde

iken %20 demir tozu katkısının katkısız numunelere oranla süneklik açısından meydana gelen yüzdesel artış grafiği verilmiştir.



Şekil 6.28. Süneklik yüzdesel artış grafiği

Şekil 6.29.'de denge üstü durumda 50 mm etriye adım mesafeli, 100 mm etriye adım mesafeli, 150 mm etriye adım mesafeli ve 90 derece ile 135 derece kanca açılı halde iken %20 demir tozu katkısının katkısız numunelere oranla taşınan maksimum yük kapasitesinde meydana gelen yüzdesel azalma grafiği verilmiştir.

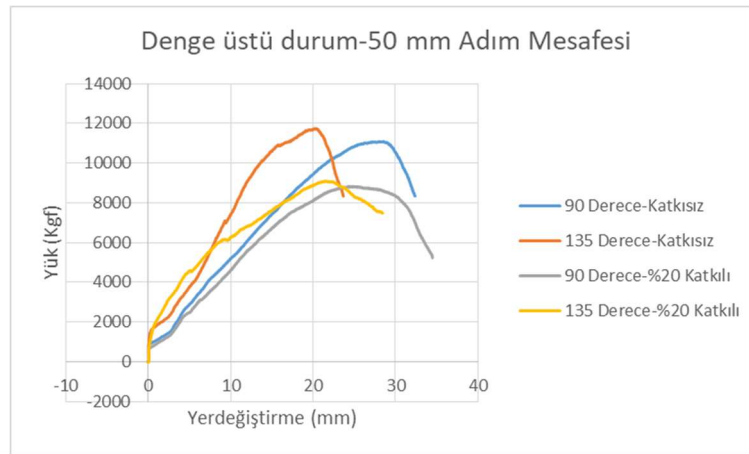


Şekil 6.29. Maksimum taşınan yükte yüzdesel azalma grafiği

Denge üstü donatılı ve 50 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 90 derece kanca çılı %20 katkılı numunelerde 90 derece kanca açılı katkısız numunelere göre süneklik bakımından %19,675'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %20,412'lik bir azalma görülmüştür.

Denge üstü donatılı ve 50 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 135 derece kanca açılı %20 katkılı numunelerde 135 derece kanca açılı katkısız numunelere göre süneklik bakımından %17,118'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %22,609'luk bir azalma görülmüştür.

Şekil 6.30.'de denge üstü donatı ve 50 mm etriye adım mesafesine sahip fakat farklı kanca açıları ve katkı durumuna ait olan numuneler arasında süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



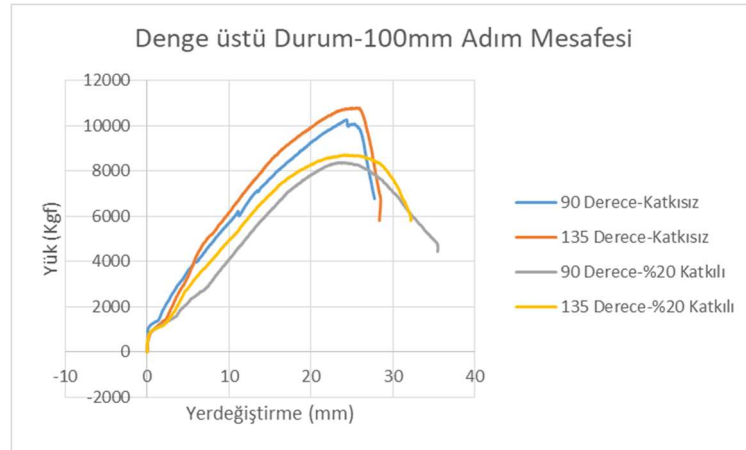
Şekil 6.30. 50 mm Adım Mesafeli –Denge üstü Donatılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

Denge üstü donatılı ve 100 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 90 derece kanca çılı %20 katkılı numunelerde 90 derece kanca açılı katkısız numunelere göre süneklik bakımından %12,471'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %18,407'lik bir azalma görülmüştür.

Denge üstü donatılı ve 100 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 135 derece kanca açılı %20 katkılı numunelerde 135 derece kanca açılı katkısız numunelere göre

süneklik bakımından %13,037'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %19,211'lik bir azalma görülmüştür.

Şekil 6.31.'de denge üstü donatı ve 100 mm etriye adım mesafesine sahip fakat farklı kanca açıları ve katkı durumuna ait olan numuneler arasında süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.

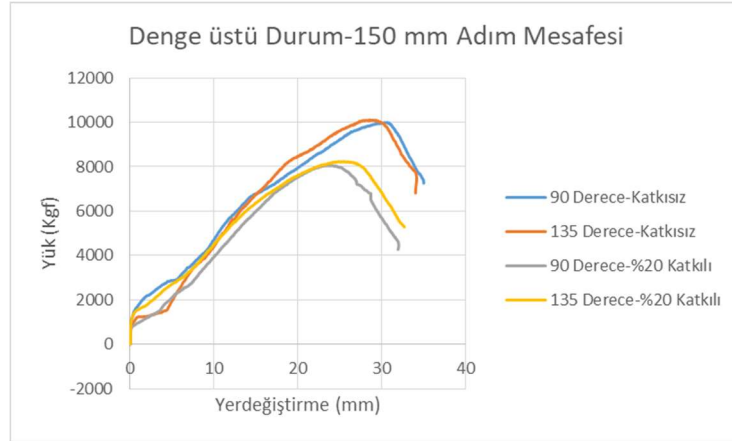


Şekil 6.31. 100 mm Adım Mesafeli –Denge üstü Donatılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

Denge üstü donatılı ve 150 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 90 derece kanca açılı %20 katkılı numunelerde 90 derece kanca açılı katkısız numunelere göre süneklik bakımından %3,852'lik artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %19,28'lik bir azalma görülmüştür.

Denge altı donatılı ve 150 mm etriye adım mesafesine sahip kirişlerde 135 derece kanca açılı %20 katkılı numunelerde 135 derece kanca açılı katkısız numunelere göre süneklik bakımından %14,323'lük artış, taşınan maksimum yük bakımından ise %18,492'lik bir azalma görülmüştür.

Şekil 6.32.'de denge üstü donatı ve 150 mm etriye adım mesafesine sahip fakat farklı kanca açıları ve katkı durumuna ait olan numuneler arasında süneklik ve maksimum taşınan yük bakımından farkları görülmesi amacıyla grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 6.32. 150 mm Adım Mesafeli –Denge üstü Donatılı Numunelerin Karşılaştırmalı Grafiği

BÖLÜM 7. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, betonarme konsol kirişlerde demir tozu katkı maddesi ile etriye kullanım şeklinin süneklik ve taşınan maksimum yük kapasitesi üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelendiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Literatür araştırmaları sonucunda demir tozu gibi katkı maddelerinin beton yapı malzemesi üzerinde dayanımı ne yönde etkilediğine dair çalışmalar görülmüştür. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı yönü ise betonarme bir eleman üzerinde demir tozu katkı maddesinin basit eğilme altındaki bir konsol kirişte ne tür bir davranışa etkisi olabileceği gözlemlenmek istenmiştir.

Bu yapılan çalışma, deneysel olarak gerçekleştirilip toplam 48 adet konsol kiriş üretilmiştir. Bu konsol kirişlerin çekme donatıları denge altı donatılı ve denge üstü donatılı olacak şekilde iki ana tip olarak belirlenmiş olup içerisindeki etriye kanca açısı 90 ve 135 derece olarak, etriye adım mesafeleri ise 50 mm, 100 mm, 150 mm olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan kirişlerin 24 tanesi katkısız referans numuneler olup 24 tanesi demir tozu katkılıdır. Demir tozu katkısı çimento ağırlığının %20'si oranında kullanılmıştır. %20 kullanılmasındaki amaç ise yapılan literatür çalışmaları sonucu demir tozu katkısının beton üzerinde en iyi sonuçları %20 oranda verdiği için dolayısıdır. Tasarlanan ve üretimi gerçekleştirilen numunelerin deneyleri yapılması için çelik çerçeve altında ankastre mesnetleme koşulu sağlayabilecek bir konsol kiriş düzeneği kurulmuştur. Konsol kirişler deney düzeneğinden sabitlendikten üst kısmında bir piston ile tek noktadan yüklemeye tabi tutulup basit eğilme davranışı gerçekleştirilmiştir. Konsol kiriş numunelerde uç kısmında potansiyometre aracılığıyla basit eğilme altında yerdeğiştirmesi ölçülmüştür. Elde edilen veriler ışığında süneklik ve taşınan maksimum yükler hakkında bilgiler edinilip betonarme konsol kirişin davranışını ne yönde gerçekleştirdiği incelenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneyler sonucu bulunan sonuçlar incelenip etriye adım mesafesinin, etriye kanca açısının, demir tozu katkı maddesinin, denge altı donatı ve denge üstü donatı durumunun konsol kiriş davranışına etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular 4 ana başlık altında incelenmiş olup aşağıda sunulmuştur;

1. %20 Demir tozu katkılı, denge altı donatılı durumda, etriye kanca açısı 135 dereceli numunelerde, 90 dereceli numunelerde de etriye adım mesafesi 50 mm olan kirişler süneklik açısından 150 mm adım mesafeli numunelere oranla yaklaşık %8 ile %11 arası bir artış göstermiştir. Taşıdıkları maksimum yük miktarı açısından ise %13 ile %20 arası bir artış göstermiştir. Aynı numunelerde 100 mm adım mesafeli numuneler ise 150 mm adım mesafeli numunelere oranla %2,5 ile %3,5 arası bir artış göstermiştir. Taşıdıkları maksimum yük miktarın açısından ise %7 ile %11 arasında bir artış göstermiştir.

%20 Demir tozu katkılı, denge üstü donatılı durumda, etriye kanca açısı 135 dereceli numunelerde, 90 dereceli numunelerde de etriye adım mesafesi 50 mm olan kirişler süneklik açısından 150 mm adım mesafeli numunelere oranla yaklaşık %7 ile %20 arası bir artış göstermiştir. Taşıdıkları maksimum yük miktarı açısından ise %9,5 ile %10,5 arası bir artış göstermiştir. Aynı numunelerde 100 mm adım mesafeli numuneler ise 150 mm adım mesafeli numunelere oranla %3 ile %10 arası bir artış göstermiştir. Taşıdıkları maksimum yük miktarın açısından ise %3,5 ile %6 arasında bir artış göstermiştir. Tüm durumlar göz önüne alındığında 50 mm etriye adım mesafeli konsol kiriş numuneler hem süneklik açısından hemde taşınan maksimum yük miktarı açısından daha yüksek seviyelerde sonuç vermiş olduğu görülmüştür.

2. %20 Demir tozu katkılı, denge altı donatılı numunelerde, etriye kanca açısı 135 derece olan numuneler kanca açısı 90 derece olan numunelere oranla 50 mm

adım mesafesli numunelerde sünekli açısından %3 civarı taşınan maksimum yük miktarı açısından ise %1,5 civarı artış göstermiştir. 100 mm adım mesafeli numunelerde süneklik açısından %3,5 civarı taşınan maksimum yük miktarı açısından ise %2,5 civarı bir artış göstermiştir. 150 mm adım mesafeli numunelerde ise süneklik açısından %5,5 civarı taşınan maksimum yük miktarı açısından ise %7 civarı artış göstermiştir.

%20 Demir tozu katkılı, denge üstü donatılı numunelerde, etriye kanca açısı 135 derece olan numuneler kanca açısı 90 derece olan numunelere oranla 50 mm adım mesafesli numunelerde sünekli açısından %3,5 civarı taşınan maksimum yük miktarı açısından ise %3 civarı artış göstermiştir. 100 mm adım mesafeli numunelerde süneklik açısından %8 civarı taşınan maksimum yük miktarı açısından ise %4 civarı bir artış göstermiştir. 150 mm adım mesafeli numunelerde ise süneklik açısından %15 civarı taşınan maksimum yük miktarı açısından ise %3 civarı artış göstermiştir. Tüm durumlar göz önüne alındığında etriye kanca açısı 135 derece olan konsol kiriş numuneler süneklik açısından ortalama %5 daha sünek davranış göstermiş olup taşınan maksimum yük miktarı açısından ortalama olarak %3,5 civarı daha yüksek seviyelerde sonuç vermiş olduğu görülmüştür.

3. %20 Demir tozu katkılı, etriye kanca açısı 90 derece olan numuneler, 50 mm etriye adım mesafesine sahip olan numunelerde denge altı donatılı numuneler denge üstü donatılı numunelere oranla süneklik açısından %13 civarı, taşınan maksimum yük miktarında ise %11 civarı azalma görülmüştür. 100 mm adım mesafeli numunelerde ise denge altı donatılı numuneler denge üstü donatılı numunelere oranla süneklik açısından %15 civarı artış, taşınan maksimum yük miktarında ise %12,5 civarı azalma görülmektedir. 150 mm adım mesafeli numunelerde ise denge altı donatılı numuneler denge üstü donatılı numunelere oranla süneklik açısından %22,5 civarı artış, taşınan maksimum yük miktarında ise %19 civarı azalma görülmektedir.

%20 Demir tozu katkılı, etriye kanca açısı 135 derece olan numuneler, 50 mm etriye adım mesafesine sahip olan numunelerde denge altı donatılı numuneler denge üstü donatılı numunelere oranla süneklik açısından %12 civarı, taşınan maksimum yük miktarında ise %11 civarı azalma görülmüştür. 100 mm adım mesafeli numunelerde ise denge altı donatılı numuneler denge üstü donatılı numunelere oranla süneklik açısından %10,5 civarı artış, taşınan maksimum yük miktarında ise %14 civarı azalma görülmektedir. 150 mm adım mesafeli numunelerde ise denge altı donatılı numuneler denge üstü donatılı numunelere oranla süneklik açısından %11 civarı artış, taşınan maksimum yük miktarında ise %15 civarı azalma görülmektedir. Tüm durumlar göz önüne alındığında denge altı donatılı olan konsol kiriş numuneler denge üstü donatılı kiriş numunelere oranla süneklik açısından ortalama %15 civarı daha sünek davranış gösterir iken taşınan maksimum yük miktarı açısından ortalama olarak %14 civarı daha düşük sonuç vermiş olduğu görülmüştür.

4. Etriye kanca açısı 90 derece ve 135 derece olan, denge altı donatılı durumda, etriye adım mesafesi 50 mm olan numunelerde %20 demir tozu katkılı numuneler katkısız numunelere oranla süneklik açısından %20 civarı artış göstermiş olup, taşınan maksimum yük miktarı açısından ise %17 civarı azalma görülmüştür. Etriye adım mesafesi 100 mm olan numunelerde %20 demir tozu katkılı numuneler katkısız numunelere oranla süneklik açısından %17 civarı artış göstermiş olup, taşınan maksimum yük miktarı açısından ise %16 civarı azalma görülmüştür. Etriye adım mesafesi 150 mm olan numunelerde %20 demir tozu katkılı numuneler katkısız numunelere oranla süneklik açısından %22 civarı artış göstermiş olup, taşınan maksimum yük miktarı açısından ise %17 civarı azalma görülmüştür.

Etriye kanca açısı 90 derece ve 135 derece olan, denge üstü donatılı durumda, etriye adım mesafesi 50 mm olan numunelerde %20 demir tozu katkılı numuneler katkısız numunelere oranla süneklik açısından %18 civarı artış göstermiş olup, taşınan maksimum yük miktarı açısından ise %20 civarı

azalma görülmüştür. Etriye adım mesafesi 100 mm olan numunelerde %20 demir tozu katkılı numuneler katkısız numunelere oranla süneklik açısından %13 civarı artış göstermiş olup, taşınan maksimum yük miktarı açısından ise %18 civarı azalma görülmüştür. Etriye adım mesafesi 150 mm olan numunelerde %20 demir tozu katkılı numuneler katkısız numunelere oranla süneklik açısından %10 civarı artış göstermiş olup, taşınan maksimum yük miktarı açısından ise %18 civarı azalma görülmüştür. Tüm durumlar göz önüne alındığında %20 demir tozu katkılı numuneler süneklik açısından tüm numunelerde yaklaşık %18 civarı süneklik davranışında artış gösterirken taşıdıkları maksimum yük miktarı açısından ise yaklaşık %16 civarı azalma görülmüştür.

KAYNAKLAR


- [1] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, İnşaat Teknolojisi, Sürekli-Konsol ve Ters Kiriş Donatıları, Ankara, 2013.
- [2] Beycioğlu, C. Başyigit, S. Subaşı, "Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması", Çevre ve Sorunları Sempozyumu, Kocaeli, 1386-1394, 2008.
- [3] H. Binici, A. H. Sevinç, H. Geçkil, "Atık Demir Tozu Katkılı Harç ve Betonların Durabilite Özellikleri," Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(1), 1-16 ss., Haziran 2015.
- [4] H. Hüseyin Taş, Ö. Çoban, B. Topbaşı, Endüstriyel Demir Talaşı Atığının Betonun Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi, SDU International Technologic Science Vol. 5, No 1, June 2013 pp. 1-11.
- [5] Uzun M., Çöğürçü M., Keskin Ü., "CAM TOZUNUN BETON BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ". Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 11 (2019): 42-51
- [6] Çakıroğlu A., M. Kasap, S. Keskin, N. (2011). Betona Atık Teneke Ambalajlarının İlave Edilmesinin Basınç Dayanımına Etkisinin İncelenmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma. International Advanced Technologies Symposium, 92-95 s., Elazığ-Türkiye.
- [7] Çakır Ö, Dilbas H. A comparative analysis of elasticity modulus of recycled aggregate concrete with silica fume. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 2018; 24(6): 1069-1078.
- [8] Kara, C. "Endüstriyel Atıkların Beton Dayanımı Etkisi Üzerine Bir Çalışma Çay Fabrikası Kömür Külü Örneği". Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi 7 (2018): 75-85
- [9] Meşçi, B., Ergun, ON., Çakıroğlu, M., "Bakır Endüstrisi Atıklarının Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması," 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 13-15 Nisan, Ankara, Türkiye, 2007.
- [10] C. Özel, M. Filiz, A. Sevinç ve C. Kıran, "BETONDA FİBER KATKI OLARAK POLİETİLEN TEREFALATIN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI", *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, c. 3, sayı. 2, ss. 17-28, Haz. 2011


- [11] Koçak, Y., Alpaslan, L. (2011). Atık Lastiklerin Çimento ve Beton Sektöründe Kullanım Potansiyelleri. International Advanced Technologies Symposium, 118-122 s., ElazığTürkiye.
- [12] Kalınçimen G, Öztürk A, Kaplan G, Yıldız S. Seramik Atıklarının Çimento İkame Malzemesi Olarak Kullanılması ve Asit Dayanıklılığının İncelenmesi. Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences. 2016; 1(1): 9-16.
- [13] Aykaç, S. Aykaç, B. Ekinci, “BA Yapılarda Konsol Kirişlere Aktarılan İlave Yükler,” İMO Teknik Dergi, 5449-5462, Yazı351, 2011.
- [14] S. Metin, H. Kara, İ. Fatih, A. Kubilay. “Değişik Yüklemeler Etkisi Altında Farklı Donatı Oranlarına Sahip Betonarme Kirişlerde Oluşan Deplasmanların Deneysel Olarak İncelenmesi,” Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 5, no.2(2016): 135-147.
- [15] Saatçi S, Batarlar B., “Çelik fiber katkılı etriyesiz betonarme kirişlerin davranışı,” Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(4), 1143 – 1154, 2017
- [16] Yüksel, S, Jamal, R, Foroughi, S. "KİRİŞLERDE BASINÇ DONATISI ORANININ MOMENT-EĞRİLİK İLİŞKİSİNE ETKİSİ". Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi 8 (2020): 1-17
- [17] Akın S. K., Kara N., Kaltakçı M. Y., "BETONARME ÇERÇEVELERDE ETRİYE DÜZENİNİN YATAY YÜK TAŞIMA KAPASİTESİNE ETKİLERİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA". Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi 21 / 1 (Mart 2006): 83-108.
- [18] Özkal, F. M., “Kesme açıklığı küçük olan betonarme kirişlerin etriye düzeni ve kenetlenme yönünden incelenmesi,” XX. Ulusal Mekanik Kongresi, (Bursa, Turkey), 551-561, 2017.
- [19] İ. Koçak, “Seçilen Bir Kamu Binasının Doğrusal Ötesi Davranışında Beton Dayanımı ve Etriye Aralığının Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2007.
- [20] F. M. Özkal, H. Uysal. “Betonarme Yapı Elemanlarında En Uygun Donatı Yerleşiminin Belirlenmesi: Konsol Kiriş Örneği,” Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2017.
- [21] S. Altın, Ö. Anıl, “Kesmeye Karşı Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Deprem Davranışı,” ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 14 Ekim 2002.

- [22] Z. Turmanidze, “Etriye Kanca Açısının Eksenel Yüklü Betonarme Kolon Davranışı Üzerindeki Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2017.
- [23] E. Töre, “Geniş Betonarme Kirişlerde Plastik Şekil Değiştirmenin Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2013.
- [24] H. Bilgin, H. Baytan Özmen., Çakıroğlu, M., “Kamu Yapılarında Beton Dayanımı ve Enine Donatının Performansa Etkisi,” Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 11-13 Ekim 2006.
- [25] Türker K, Birol T, Yavaş A, Hasgül U, Yazıcı H. Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton İçeren Kirişlerin Eğilme Davranışı. Teknik Dergi. 2019; 30(1): 8777-8801.
- [26] G. Şakar, Ö. Zafer Alku. Etriyersiz betonarme kirişlerin CFRP levhalarla kesmeye karşı güçlendirilmesi. İtü dergisi, Cilt 9, Sayı: 6, 3-12 (2010).
- [27] Türk Standartları Enstitüsü (TSE), “Çimento deney metotları-Bölüm 1: Dayanım tayini”, TS EN 196-1, Ankara, Türkiye, 2002.
- [28] TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [29] D. Adem, “Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı,”6. Baskı, İstanbul: Birsan Yayınevi, 2010.
- [30] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-1998 (ABYYHY-1998).
- [31] Ersoy U., Ünal M. Betonarme Kesitlerin Kapasite Momentlerinin Yaklaşık Hesabı. Teknik Dergi. 2018; 29(5): 8669-8674.
- [32] Park, R., “Ductility Evaluation from Laboratory and Analytical Testing,” Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo, Kyoto, 8, 605-616, 1988.
- [33] Z. Celep, “Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsal Kabulü ve Çözümleme,” Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 16-20 Ekim 2007.

EKLER

Ek 1: Donatı Çekme Deneyi Sonuçları

 BŞİ BAYRAKTAR SONDAJ TEKNOLOJİLERİ MÜH. VE LABORATUVAR HİZ. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.
Bağlar Mahallesi Yıldıztepe Caddesi No:3D ERENLER/SAKARYA

 T.C. ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI

BETON ÇELİK ÇUBUK DENEY RAPORU

YAPI BİLGİLERİ				DENEY TARİHİ			
DENEYİ İSTEYEN FIRMA	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ			DENEY TARİHİ	24.12.2020		
MÜTEAHHİT FIRMA				RAPOR TARİHİ	24.12.2020		
YAPI SAHİBİ / PROJE ADI	İNŞAAT BÖLÜMÜ ÇELİK ÇUBUK DENEYİ			RAPOR NO	--		
YAPININ ADRESİ				LAB NO	--		
İLGİLİ DAİRE				YİBE NO	--		
PAFTA / ADA / PARSEL				BRN NO	--		
ALINIŞ TARİHİ				ALINIŞ TARİHİ	--		



Kullanıldığı Yer	Temin Yeri	İhzarat Miktarı (Ton)				Sınıfı	Tipi				
		8	10	12	14		16	18	20	22	24
Anma Çapı (mm)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	
Adedi	3	--	3	--	3	--	--	--	--	--	--

DENEY SONU RULUNAN DEĞERLER								STANDARTTA İSTENİLEN DEĞERLER						
Nu. No	Anma Çapı (mm)	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Çekme Akma Oranı	Re,act / Re,nor	Kopma Uzaması %	Kütle (Kg/m ³)	Akma (N/mm ²) Min.	Çekme (N/mm ²) Min.	Çekme / Akma Oranı Min.	Re,act / Re,nor Max.	Kopma Uzaması (%) Min.	Anma Kütleleri (Kg/m)	
													Min.	Max.
1	8	478,68	601,11	1,26	1,14	41,17	0,400	420	500	1,15	1,30	10,00	0,371	0,418
2	8	427,95	581,21	1,36	1,02	49,32	0,400							
3	8	454,95	559,32	1,23	1,08	43,10	0,400							
4	12	448,51	623,67	1,39	1,07	26,55	0,890	420	500	1,15	1,30	10,00	0,848	0,927
5	12	452,13	595,36	1,32	1,08	36,65	0,890							
6	12	433,47	593,60	1,37	1,03	34,85	0,890							
7	16	454,55	519,51	1,14	1,08	23,31	1,580	420	500	1,15	1,30	10,00	1,508	1,651
8	16	447,30	532,44	1,19	1,07	38,55	1,580							
9	16	447,30	563,30	1,26	1,07	32,10	1,580							

NOTLAR

1. Beton Çelik Çubuk Deney Raporu 1 sayfadır, kısmen çoğaltılmamıştır.
2. İhzarat miktarı ve kullanıldığı yer firma beyanında.
3. Laboratuvarımız tarafından alınmayan numunelerin temini açısından laboratuvarımıza sorumlu değildir.
4. Bu sonuçlar sadece deney yapılan numuneler için geçerlidir.
5. Laboratuvarımız Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na 06/09/2013 tarih ve 444 sayılı "Laboratuvar İçin Belgesi"ne sahiptir.
6. Kullanılan Standartlar: TS 708, TS EN ISO 15630-1, TS EN 6892-1
7. EK : 1 Sayfa bilgisayar çıktısı

DENEYİ YAPAN **ONAYLAYAN**

ÖZGEÇMİŞ

Serhat Burukoğlu, 28.11.1996'da Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2014 yılında Mithatpaşa Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2014 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2018 yılında bitirdi. 2019 yılının şubat ayında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü anabilimdalında Yapı bilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı ve devam etmektedir.