

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENİNE DONATI OLARAK GEOGRİD KULLANILAN
BETONARME KİRİŞLERİN YÜKSEK SICAKLIK ETKİLERİ
ALTINDA YAPISAL DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Muhammed Orhan ÖZTÜRK

Danışman: Doç. Dr. Fatih Mehmet ÖZKAL

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ERZİNCAN

2019

Her Hakkı Saklıdır.

Kabul ve Onay Sayfası

Doç.Dr. Fatih Mehmet ÖZKAL danışmanlığında, Muhammed Orhan ÖZTÜRK tarafından hazırlanan bu çalışma 03/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Dr.Öğr.Üyesi Burak Kaan ÇIRPICI

İmza:

Üye : Doç.Dr. Fatih Mehmet ÖZKAL

İmza:

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Arif Emre SAĞSÖZ

İmza:

Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun 19 / 07 / 2019 tarih ve 28 / 12 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



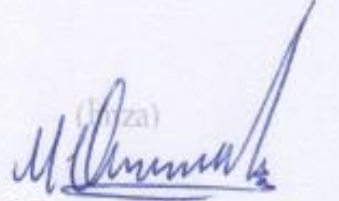
Prof. Dr. Mustafa Fatih ERTUGAY
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“Enine Donatı Olarak Geogrid Kullanılan Betonarme Kirişlerin Yüksek Sıcaklık Etkileri Altında Yapısal Davranışlarının İncelenmesi” isimli “Yüksek Lisans” tezim tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 03.10.2019



**Muhammed Orhan
ÖZTÜRK**

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENİNE DONATI OLARAK GEOGRİD KULLANILAN BETONARME KİRİŞLERİN YÜKSEK SICAKLIK ETKİLERİ ALTINDA YAPISAL DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Muhammed Orhan ÖZTÜRK

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fatih Mehmet ÖZKAL

Bu çalışmada, ülkemizde inşaat sektöründe kendine özellikle zemin iyileştirme alanlarında yer bulmaya çalışan geogrid malzemesi ile kullanımı yaygın olan çelik donatıların beton içerisinde enine donatı olarak kullanımı ve yüksek sıcaklık etkileri altındaki mekanik özelliklerinin incelenmesi üzerinde durulmuştur. Aynı anma çapında çelik donatıya nazaran çekme dayanımı normal şartlar altında daha yüksek olan geogrid malzemesi aynı zamanda yüksek mukavemetli malzemelerdir. Polyester mikro iplikçiklerin dikdörtgenler şeklinde örülüp üzerinin PVC ile kaplanması yöntemiyle üretilir. Çalışmada enine donatı olarak Geogrid kullanılan kirişlerin aşamalı olarak 800°C'ye kadar yüksek sıcaklık etkilerine maruz bırakılması sonucunda aksenal yükleme deneyleri yapılarak numunelerin kesme etkisi yönünden davranışı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada sonuç olarak kiriş numunelerinin yüksek sıcaklık etkileri altındaki davranışı, incelenmiş ve betonarme yapılarda kullanımı üzerine değerlendirmeler yapılmıştır.

2019, 103 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Geogrid, Yüksek sıcaklık, Kiriş, Kesme etkisi

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL BEHAVIOUR OF RC BEAMS WITH GEOGRID TRANSVERSE REINFORCEMENT EXPOSED TO ELEVATED TEMPERATURES

Muhammed Orhan ÖZTÜRK

Erzincan Binali Yıldırım University
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih Mehmet ÖZKAL

In this study, the use of steel reinforcements as a transverse reinforcement in concrete and its mechanical properties under the effects of high temperature have been emphasized. The geogrid material with the same nominal diameter and higher tensile strength than normal steel reinforcement is also high strength materials. Polyester micro strands are produced in the form of rectangles and coated with PVC. In this study, as a result of axial loading tests, the behavior and mechanical properties of the specimens were examined by using axial loading tests. As a result, the behavior of the beam samples under high temperature effects, examined and evaluated on the use of reinforced concrete structures.

2019, 103 Pages

Keywords: Geogrid, High temperature, Beam, Shear effect

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğimimin ve tez çalışmalarım boyunca yardımını ve desteğini esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Fatih Mehmet Özkal'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Laboratuvar çalışmaları sırasında sürekli destek ve yardımlarını gördüğüm Mahmud Yağın ile Mehmet Polat'a teşekkür ederim. Yorumcu tez çalışmaları sırasında sağladığı moral ve motivasyon sebebiyle değerli arkadaşım Betül Aliş'e ayrıca teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca üzerimde büyük emekleri olan çok kıymetli babam Dursun Öztürk'e, annem Bilgi Öztürk'e ve abim Ferhat Öztürk'e şükranlarımı sunarım.

Muhammed Orhan ÖZTÜRK

Temmuz, 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Çimento, Agregası, Beton Üzerine Yapılan Çalışmalar	4
2.2. Betonarme Elemanlar Üzerine Yapılan Çalışmalar	9
2.3. Geogrid Malzemesi Üzerine Yapılan Çalışmalar	12
3. KURAMSAL TEMELLER	15
3.1. Sargılı Beton Davranışı	15
3.1.1. Sargılı beton özelliklerini etkileyen faktörler	17
3.2. Betonarme Elemanlarda Kesme Kuvveti Etkisi	20
3.2.1 Yapısal elemanlarda kesme tehlikesi ve kesme kırılması.....	21
3.2.2. Kesme kuvveti etkisi	22
3.3. Betonarme Kirişlerde Eğilme Etkisi	24
3.4. Betonarme Kiriş Tasarımı İçin TS 500(2000) Hükümleri	28
3.4.1. Malzeme özellikleri ve kabulleri	28
3.4.2. Eğilme elemanlarının boyutları ve donatılar ile ilgili hükümler	29
3.4.3. Kesme kuvveti hesabı kabulleri.....	31
3.4.3.1. Genel kabuller	31
3.4.3.2. Hesapta uygulanacak kabuller.....	31
3.5. Betonarme Elemanlarda Yüksek Sıcaklık Etkileri ve Bazı Yönetmelikler.....	32
3.5.1. Betonarme eleman tasarımlarında kullanılacak yangın eğrisi	32

3.5.2. Betonarme elemanların hedeflenen yangın etkilerine karşı başarımlarının belirlenmesinde kullanılan yöntemler	34
3.5.2.1. Basit yöntemler	36
4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	41
4.1. Malzeme Özellikleri.....	41
4.1.1. Beton	41
4.1.2. Çelik donatılar	43
4.1.3. Geogrid çekme düzeneği.....	44
4.2. Deney Numunelerinin Tasarımı.....	49
4.2.1. Geogrid etriyeli kirişler	51
4.3. Kiriş Numune Gruplarının Adlandırılması	52
4.4. Deney Düzeneği ve Yükleme Programı	54
4.4.1. Ölçüm ve veri toplama sistemi.....	55
4.5. Ölçümlerin Değerlendirilmesi	57
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	58
5.1. Beton Basınç Deneyleri	58
5.2. 23 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG000SH).....	60
5.3. 100 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG100SH).....	63
5.4. 150°C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG150SH).....	66
5.5. 200 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG200SH).....	69
5.6. 250 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG250SH).....	72
5.7. 300 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG300SH).....	76
5.8. 400 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG400SH).....	79
5.9. 500 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG500SH).....	82
5.10. 600 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG600SH)	85
5.11. 800 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG800SH)	89
6. SONUÇLAR.....	93
KAYNAKLAR.....	98
EKLER.....	102
EK-1. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar	103
ÖZGEÇMİŞ	104

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Üç eksenli gerilme altında betondaki davranış (Saatçioğlu ve Ravzi,1992) ..	16
Şekil 3.2. k_1 parametre eğrisi (Saatçioğlu ve Ravzi, 1992)	17
Şekil 3.3. Dairesel ve dikdörtgen kesit geometrisi için sargı etkisi (Celep ve Kumbasar, 2005).....	18
Şekil 3.4. Enine donatı düzeninin sargı etkisi üzerindeki önemi (Ersoy, 2007)	19
Şekil 3.5. Basit Kesme Altında Asal Gerilmeler ve Çatlaklar (Ersoy ve Özcebe, 2017)	22
Şekil 3.6. Homojen malzemeli kiriş eksenine dik kesit üzerinde asal gerilme doğrultularının değişimi (Arslan, 2005)	23
Şekil 3.7. Çekme gerilmesi düzlemlerinde beton ve donatıda etki diyagramı (Ersoy ve Özcebe, 2017).....	24
Şekil 3. 8. Betonarme kirişte sekil değiştirme ve iç kuvvet dağılımı.(Özhan, 2012).....	25
Şekil 3.9. Betonarme kirişte eğilme etkisi altında çatlak oluşumu.(Özhan, 2012)	26
Şekil 3.10. Beton ve çeliğe ait gerilme-şekil değiştirme eğrisi.(Özhan, 2012).....	27
Şekil 3.11. Kiriş kesit boyutları.....	30
Şekil 3. 12. Yangın etkisindeki bir yapının yük taşıma kapasitesine ilişkin hesap akış diyagramı (Burnaz, 2010)	33
Şekil 3. 13. Üst kısımda isimleri vurgulanan standart yangınlara ilişkin sıcaklık-zaman eğrileri grafiği (Hacıemiroğlu, 2014)	34
Şekil 3. 14. Yangın başarımı için ACI216-R89'a göre hesap akış diyagramı	37
Şekil 3. 15. Paspayı (u), mekanik donatı oranı (ω), moment oranı (Md/Mr) ve agrega cinsine göre betonarme döşeme ve kirişlerin yangın başarım süresi eğrileri (ACI 216R-89, 1994).	37
Şekil 3. 16. 500°C yöntemine göre hesap akış diyagramı (Righberth, 2003).....	38
Şekil 3. 17. TS EN 1992-1-2, 2006 'ya göre hesap akış diyagramı	39
Şekil 3. 18. BS8110'nun 2. kısmındaki yöntemine göre Hesap akış diyagramı	40
Şekil 4.1. Beton dökümü için hazırlanan kalıplar	42
Şekil 4.2. Beton dayanım tespiti	42
Şekil 4.3. Çelik donatı mekanik özelliklerinin belirlenmesi	43
Şekil 4.4. Klasik inşaat çeliği için birim uzama-gerilme grafiği.....	44
Şekil 4.5. Kesilen geogrid numunesi.....	46
Şekil 4.6. ASTM D4595-11'e göre gerçekleştirilen geogrid çekme deneyi ve kopma anı	46

Şekil 4.7. ASTM D6637/D6637M-15'e göre gerçekleştirilen geogrid çekme deneyi ve kopma anı	47
Şekil 4.8. Geogrid kuvvet-birim uzama grafiği	48
Şekil 4.9. Geogrid çekme aparatı	49
Şekil 4. 10 Çelik ve geogrid için kuvvet birim uzama grafiği	50
Şekil 4.11. TS 500'e göre tasarlanmış gogrid etriyeli kiriş boyutları ve donatı detayı... 51	
Şekil 4. 12. Hazırlanan geogrid etriyeli kirişler	52
Şekil 4.13. Kiriş numuneleri için deney düzeneği	54
Şekil 4.14. Kiriş ön kısmında bulunan yer değiştirme ölçerler	55
Şekil 4.15. Kiriş arka kısmında bulunan yer değiştirme ölçerler	56
Şekil 5.1. Her sıcaklık grubu için küp basınç numuneleri.	58
Şekil 5.2. Sıcaklığa göre beton basınç dayanımlarının değişimi	59
Şekil 5.3. Deney öncesi SG000SH kiriş numunesi	60
Şekil 5.4. Deney sonrası sg000sh kiriş numunesi	61
Şekil 5.5. SG000SH için yük-sehim grafiği	62
Şekil 5.6. SG000SH için yük-çatlak grafiği	63
Şekil 5.7. Deney öncesi SG100SH kiriş numunesi	64
Şekil 5.8. Deney sonrası SG100SH kiriş numunesi	64
Şekil 5.9. SG100SH için yük-sehim grafiği	65
Şekil 5.10. SG100SH için yük-çatlak grafiği	66
Şekil 5.11. Deney öncesi SG150SH kiriş numunesi	67
Şekil 5.12. Deney sonrası SG150SH kiriş numunesi	67
Şekil 5.13. SG150SH için yük-sehim grafiği	68
Şekil 5.14. SG150SH için yük-çatlak grafiği	69
Şekil 5.15. Deney öncesi SG200SH kiriş numunesi	70
Şekil 5.16. Deney sonrası SG200SH kiriş numunesi	71
Şekil 5.17. SG200SH için yük-sehim grafiği	71
Şekil 5.18. SG200SH için yük-çatlak grafiği	72
Şekil 5.19. Deney öncesi SG250SH kiriş numunesi	73
Şekil 5.20. Deney sonrası SG250SH kiriş numunesi	74
Şekil 5.21. SG250SH için yük-sehim grafiği	75
Şekil 5.22. SG250SH için yük-çatlak grafiği	75
Şekil 5.23. Deney öncesi SG300SH kiriş numunesi	76
Şekil 5.24. Deney sonrası SG300SH kiriş numunesi	77

Şekil 5.25. SG300SH için yük-sehim grafiği.....	78
Şekil 5.26. SG300SH için yük-çatlak grafiği.....	79
Şekil 5.27. Deney öncesi SG400SH giriş numunesi.....	80
Şekil 5.28. Deney sonrası SG400SH giriş numunesi.....	80
Şekil 5.29. SG400SH için yük-sehim grafiği.....	81
Şekil 5.30. SG400SH için yük-çatlak grafiği.....	82
Şekil 5.31. Deney öncesi SG500SH giriş numunesi.....	83
Şekil 5.32. Deney sonrası SG500SH giriş numunesi.....	84
Şekil 5.33. SG500SH için yük-sehim grafiği.....	84
Şekil 5.34. SG500SH için yük-çatlak grafiği.....	85
Şekil 5.35. Deney öncesi SG600SH giriş numunesi.....	86
Şekil 5.36 . Deney sonrası SG600SH giriş numunesi.....	87
Şekil 5.37. SG600SH için yük-sehim grafiği.....	88
Şekil 5.38. SG600SH için yük-çatlak grafiği.....	88
Şekil 5.39. Deney öncesi SG800SH giriş numunesi.....	89
Şekil 5.40. Deney sonrası SG800SH giriş numunesi.....	90
Şekil 5.41. SG800SH için yük-sehim grafiği.....	91
Şekil 5.42. SG800SH için yük-çatlak grafiği.....	91
Şekil 6. 1. Korumasız halde yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan geogrid numuneler ...	94
Şekil 6.2. Giriş numunelerinin deney sonrası toplu gösterimi.....	94
Şekil 6.3 Giriş numunelerine ait sıcaklık taşıma gücü kapasitesi değişimi	95
Şekil 6. 4 Hedef sıcaklar için yüzde cinsinden karşılaştırmalı korunan dayanımlar	96

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Sargılı beton davranışını etkileyen faktörler (Işıltan, 2010).....	20
Tablo 3. 2 Beton sınıflarına göre kullanılacak k_1 değerleri.....	29
Tablo 4.1. Çelik donatı mekanik özellikleri.....	44
Tablo 4. 2. Geogrid mekanik özellikleri	48
Tablo 4. 3. Çelik, geogrid ve CFRP mekanik özellikleri.....	50
Tablo 4. 4. Kiriş numuneleri detaylı tasarım tablosu.....	51
Tablo 4. 5. Kiriş numuneler için isimlendirme tablosu.....	53
Tablo 4.6. Yükleme sisteminde kullanılan alet listesi.....	54
Tablo 4.7. Ölçüm ve veri toplama cihazları listesi.....	56
Tablo 5.1. Her sıcaklık grubu için beton basınç dayanımları.....	59

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

a	Eşdeğer dikdörtgen basınç bloku derinliği (TS-500-2000)
a	Elemanın kesme kuvvetine dik eksenine kesme donatısının yaptığı açı (EC-2-2014)
a_{cw}	Kasınç çubuğunun gerilme halinde dikkate alınan bir katsayı (EC-2-2014)
a_g	Maksimum agrega boyutu (CSA A.23.3-14)
a_1	Betonda basınç bloğunda ortalama basınç gerilmesi katsayısı
A	Basınç çubuğu (EC-2-2014)
A_c	Kesme gerilmesini belirlemek için kullanılan beton alanı (EC-2-2014)
A_{cc}	Eşdeğer basınç bloğu alanı
A_{ct}	Eğilmede çekme tarafındaki beton alanı (CSA A.23.3-14)
A_g	Brüt beton alanı (ACI-318-14)
$A_{s,min}$	Asgari donatı kesit alanı (EC-2-2014)
A_s	Çekme donatısı kesit alanı (ACI-318-14)
A_{sw}	Kesme donatısı toplam kesit alanı (TS-500-2000)
$A_{v,min}$	Minimum kesme donatısı alanı (ACI-318-14)
A_v	Kesme donatısı alanı (CSA A.23.3-14)
b_w	Kiriş gövde genişliği (TS-500-2000)
b_w	Eleman kesitinde basınç ve çekme arasındaki en küçük genişlik (EC-2-2014)
B	Bağlantı kirişleri (EC-2-2014)
c	En dış donatı ağırlık merkezinden ölçülen beton örtüsü Tarafsız eksen derinliği (TS-500-2000)
C	Çekme çubuğu (EC-2-2014)
d	Eğilme elemanlarında, faydalı yükseklik (TS-500-2000)
d_s	Çekirdek çapı
d_v	Etkili kesme derinliği (CSA A.23.3-14)
D	Kesme donatısı (EC-2-2014)
E_c	Betonun elastisite modülü (CSA A.23.3-14)

E_s	Donatı elastisite modülü (TS-500-2000)
f_c	Betondaki basınç gerilmesi
$f_{c'}$	Tek yönlü basınç dayanımı
$f_{c'}$	Karakteristik beton basınç dayanımı (ACI-318-14)
$f_{c'}$	Beton basınç dayanımı (CSA A.23.3-14)
f_{c1}	Eksenel basınç dayanımı
f_{cc}	Çok eksenli taşıma gücü
f_{cd}	Beton tasarım basınç dayanımı (TS-500-2000)
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{ck}	Betonun 28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımı (EC-2-2014)
f_{ctd}	Beton tasarım eksenel çekme dayanımı (TS-500-2000)
f_y	Eğilme donatısının karakteristik akma dayanımı (ACI-318-14)
f_y	Eğilme donatısının akma dayanımı (CSA A.23.3-14)
f_{yh}	Fret donatısının akma dayanımı
f_{yh}	Kesme donatısının akma dayanımı (CSA A.23.3-14)
f_{yd}	Boyuna donatı tasarım akma dayanımı (TS-500-2000)
f_{yt}	Kesme donatısının karakteristik akma dayanımı (ACI-318-14)
f_{ywd}	Enine donatı tasarım akma dayanımı (TS-500-2000)
f_{ywd}	Tasarım akma dayanımı (EC-2-2014)
F_{cd}	Boyuna çekme donatısı için tasarım yükü (EC-2-2014)
F_{sw}	Eğik çatlakın kestiği etriyelerdeki kesme kuvveti
F_{td}	Eleman kesitinde basınç bloğundaki tasarım yükü (EC-2-2014)
k	Katsayı (EC-2-2014)
k_1	Yanal basıncı eksenel basınç dayanımına katkısına dönüştüren katsayı
k_1	Eşdeğer dikdörtgen basınç bloku derinlik katsayısı (TS-500-2000)
k_3	Standart silindir deneyinden elde edilen beton dayanımı ile Elemanda ortaya çıkan beton dayanımı arasındaki fark

	katsayısı
M_d	Tasarım momenti
M_f	Yük etkilerinde eleman kesitinde oluşan moment değeri (CSA A.23.3-14)
M_r	Kolon ve kirişlerin taşıma gücü momentleri
N_{Ed}	Tasarımda kullanılan aksenal yük miktarı (EC-2-2014)
N	Eksenel kuvveti
N_d	Tasarımda kullanılacak aksenal yük değeridir (TS-500-2000)
N_f	Yük etkilerinde eleman kesitinde oluşan aksenal çekme kuvveti değeri (CSA A.23.3-14)
N_r	Kolon ve kirişlerin yük kapasitesi
N_u	Yük etkisi altında eleman kesitinde ortaya çıkan aksenal kuvvet (ACI-318-14)
$P_{nt,max}$	Elemanın maksimum nominal çekme dayanımı (ACI-318-14)
P_{nt}	Elemanın çekme dayanımı (ACI-318-14)
$P_{r,max}$	İzin verilen maksimum aksenal yük değeri (CSA A.23.3-14)
s	Etriye aralığı (ACI-318-14)
s_{ze}	Çatlak genişliği parametresi (CSA A.23.3-14)
v	Kesme kırılması gerçekleşen beton için dayanım azaltma katsayısı (EC-2-2014)
v_{cc}	Çatlamamış basınç bölgesinde taşınan kesme kuvveti
v_{cd}	Çekme donatısı tarafından taşınan kesme kuvveti
v_{ci}	Çatlak içi kesme gerilmeleri tarafından karşılanan kesme kuvveti
v_w	Kesme donatısı tarafından karşılanan kesme kuvveti
V	Kesme dayanımı
V_{Ed}	Uygulanan kesme kuvvetinin tasarım değeri (EC-2-2014)
$V_{Rd,c}$	Elemanın kesme donatısı olmadan kesme dayanımı (EC-2-2014)
$V_{Rd,max}$	Maksimum tasarım kesme kuvveti değeri (EC-2-2014)
V_c	Betonun kesme dayanımına katkısı (ACI-318-14)

V_{cr}	Kesitin kesmede çatlama dayanımı (TS-500-2000)
V_d	Tasarım kesme kuvveti (TS-500-2000)
V_f	Yük etkilerinde eleman kesitinde oluşan kesme kuvveti değeri
V_n	Nominal kesme dayanımı (ACI-318-14)
$V_{r,max}$	Mümkün olan maksimum kesme kuvveti (CSA A.23.3-14)
V_r	Kesme dayanımı (TS-500-2000)
V_s	Kesme donatısının kesme dayanımına katkısı (ACI-318-14)
V_u	Yük etkisi altında eleman kesitinde ortaya çıkan kesme kuvveti (ACI-318-14)
V_w	Kesme dayanımına kesme donatısı katkısı (TS-500-2000)
y	Beton en dış basınç lifinin tarafsız eksene olan uzaklığı
z	Moment etkisindeki eleman kesitinde etkili derinlik (EC-2-2014)
x	Basınç bölgesinde tarafsız eksene kadar olan uzaklık (EC-2-2014)
x_1	Birinci sıradaki donatının ağırlık merkezine olan uzaklığı
x_i	Donatı ağırlık merkezinden kesit ağırlık merkezine olan mesafe
x_p	Ağırlık merkezi uzaklığı
β_1	Beton basınç bloğu derinliğini belirleme katsayısı (ACI-318-14)
γ_c	Beton için kısmi malzeme katsayısı (EC-2-2014)
ϵ_{ci}	Beton en dış basınç lifindeki birim kısalma
ϵ_{cu}	Beton ezilme birim kısalması (TS-500-2000)
ϵ_{cu2}	Basınç lifindeki maksimum birim kısalma (EC-2-2014)
ϵ_{s1}	Birinci sıradaki donatıda uzama
ϵ_{su}	Donatı kopma uzaması (TS-500-2000)
ϵ_{su}	Çeliğin maksimum izin verilen birim uzaması (ACI-318-14)
ϵ_x	Eleman kesitinin ortasındaki boyuna şekil değiştirme (CSA A.23.3-14)
ρ_1	Boyuna donatı oranı (EC-2-2014)

ρ_w	Hacimsel sargı donatısı oranı
σ_2	2 doğrultusundaki yanal basınç gerilmesi
σ_3	3 doğrultusundaki yanal basınç gerilmesi
σ_{cp}	Eksenel yük durumunda betondaki basınç gerilmesi (EC-2-2014)
σ_s	Donatı gerilmesi (TS-500-2000)
σ_{si}	Donatıdaki gerilme
ϕ_c	Beton için dayanım azaltma katsayısı (CSA A.23.3-14)
ϕ_s	Çelik için dayanım azaltma katsayısı (CSA A.23.3-14)
Ψ	Mekanik donatı oranı
β	Çatlamış betonun kesme dayanımı hesabında kullanılan bir katsayı (CSA A.23.3-14)
γ	Çatlama dayanımına eksenel kuvvet etkisini yansıtan katsayı (TS-500-2000)
γ	Betonun yoğunluğuna bağlı bir katsayı (CSA A.23.3-14)
η	Beton basınç bloğu gerilmesini belirlemede kullanılan katsayı (EC-2-2014)
θ	Elemanın kesme kuvvetine dik eksenine kafes basınç çubuğu arasındaki açı (EC-2-2014)
θ	Diagonal basınç çubuğunun kesme kuvvetine dik eksen ile yapmış olduğu açıdır (CSA A.23.3-14)
κ	Eğrilik değeri
λ	Beton basınç bloğu derinliğini belirlemede kullanılan katsayı (EC-2-2014)
ϕ	Boyuna donatı çapı (TS-500-2000)

Kısaltmalar

BYKHY	Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
ACI	American Concrete Institute (Amerikan Beton Enstitüsü)
CEB-FIB	The Comité européen du beton (European Committee for concrete) (Avrupa Beton Komitesi)- The Fédération internationale de la précontrainte (International Federation for Prestressing) (Uluslararası Öngerme Federasyonu)
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer (Karbon Fiber Takviyeli Polimer)
CSA	Canadian Standards Association (Kanada Standartları Birliği)
FRP	Fiber Reinforced Polymer (Fiber Takviyeli Polimer)
GFRP	Glass Fiber Reinforced Polymer (Cam Fiber Takviyeli Polimer)
LP	Lifli Polimer
SFRC	Steel Fiber Reinforced Concrete (Çelik Lifli Beton)
TS	Türk Standardı
ACI	American Concrete Institute (Amerikan Beton Enstitüsü)

1. GİRİŞ

Gerekli olan bütün önlemler alınmazsa şayet yangın hem can kaybına hem de mal kaybına neden olmaktadır. Herhangi bir yangının oluşması için oksijen, yanıcı malzeme ve ısı kaynağının hepsinin bir bütün şeklinde bir arada olması gereklidir. Bu birlikteliğin bir arada bulunma ihtimali yani yangının meydana gelme ihtimali bütün yapılar için olağan bir durumdur.

Bir yapıda yangın ortaya çıktığı zaman o yapının yangın güvenliğinin ne kadar önemli olduğu ve hem can kaybını hem de mal kaybını en aza indirmenin en önemli parametresi olduğu açıktır. Bu yangın güvenliği düzeyinin belirlenmesinde, yangından doğacak zararların büyüklüğü ile ülke ekonomisinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Yukarı tarafta da özellikle vurgulandığı gibi yangın güvenliğinin sağlanmasında ki asıl amaçlar can, mal ve çevre güvenliğinin sağlanmasıdır.

Can güvenliğinin korunması ve sağlanabilmesi için yapı içerisinde bulunan insanların olabildiği en kısa süre içerisinde haberdar edilebilmeleri, güvenli kaçış yollarının yapılabilmesi ve kaçarken hem dumandan hem de ateşten zarar görmelerinin engellenmesi çok önemlidir.

Mal güvenliğinin sağlanmasındaki kasıt ise, yapının kendisinin ve taşınabilir malların mümkün olduğu kadar koruma altına alınmasıdır.

Yukarıda saydığımız önlemler dışında yangın tasarımında çevrenin kirlenmesinin mümkün olduğu kadar kısıtlamanın da dikkate alınması gerekmektedir. Öyle ki büyük bir yangın meydana geldiği zaman dumanlar vasıtasıyla hava kirlenmekte ve söndürme mertebesinde kullanılan ve kirli hale gelen su ise atık su haline gelmektedir. Bu açıdan yangının engellenmesi veya vuku bulmaları durumunda çok fazla büyümeden söndürülmesi büyük önem arz etmektedir. (Buchanan, 2001).

Bir betonarme elemanı düşündüğümüz zaman tasarımdan kaynaklı olarak yangından, yüksek sıcaktan etkilenen kısımlar beton daha sonra ise iç kısımdaki donatıyı etkilemektedir. Betonun her bir bileşeni yüksek sıcaklığa maruz kalmasından mütevellit olumsuz şekilde etkilenir. Bunu daha fazla açmak gerekirse tam anlamıyla usullere uygun yerleşmemiş taze beton yeterli bir miktarda hidratasyona ulaşmadıysa beton içerisinde bulunan serbest haldeki muhteva etmekte ve bu boşluk suyu sıcaklık değeri

100°C'ye ulaştığı zaman buharlaşmasının bir sonucu olarak parça atmaktadır (El-Hawary and Hamoush 1996; Chiang and Tsai 2003). Ayrıca silis esaslı agregalar ve yine silis esaslı çimentolar kullanıldığında sıcaklık değeri 573°C'ye ulaştığı zaman silis maddesinin hacminde %15 oranında hacim olarak genişmesinin bir sonucu olarak betonda parça atmalara şahit olunmaktadır (Yamazaki vd. 1995). Bu duruma ek olarak aynı zaman da sıcaklık değeri 300°C'ye ulaştığı zaman beton içerisinde bağlı şekilde bulunan suların betondan ayrışıp buharlaşması sonucunda betonun mevcut dayanımı ani ve hızlı bir şekilde azalmakta (Yüzer N vd. , 2001) ve bu sebepten ötürü yüksek sıcaklık etkisi donatıya ulaşır donatıyı etkilemektedir. Sıcaklık değeri 530°C'ye ulaştığı zaman ise çimento malzemesinin çok önemli bileşenlerinden birisi olan kalsiyum hidroksit %33 oranında hacmini kaybederek başka bir deyişle yapısında bulunan suyu kaybederek sönmemiş kirece dönüşmektedir (Akman 1990; Vydra vd. 2001). Bir yapı elemanında yangını söndürmek için yapı elemanlarına sıkılan su ile beraber beton malzemesi içerisinde bulunan sönmemiş kirece dönüşen kalsiyum hidroksit bünyesine suyu almasıyla beraber tekrar eski haline dönmekte ve bunun neticesinde hacminde %44 genişleme meydana gelmektedir. Anlık olarak meydana gelen bu hacim değişimleri betonda ekstra çatlaklara sebebiyet vermektedir (Akman 1990; Vydra vd. 2001). Literatürde yapılan eski çalışmalarda inşaat da kullanılan donatı çeliği 400°C sıcaklık değerini aştıktan sonra akma dayanım değerini kayıp etmeye başlamaktadır (Yamazaki vd. 1995). Bütün bu etkiler betonarme bir yapı elemanının servis ömrünün tamamlanmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple yapı malzemelerinde yapılabilecek değişimler betonarme elemanların mekanik özelliklerinin olumlu yönde değişmesine çok büyük bir katkı sağlamaktadır.

Bilimsel tekniklerin günümüz dünyasında ilerlemesiyle beraber önemli gelişmelerin büyük bir kısmı da mühendislik alanında yaşanmaktadır. Farklı yapı materyallerinin üretilmesi, bu materyallerin farklı tarzlardaki konutlarda kullanımı ile farklı şekilde yapısal tasarımların ilerlenmesine imkân sağlamıştır. İşte tamda bu sebepten ötürü hızlıca ilerleyen ve değişen teknolojilerin neticesinde henüz tam olarak mühendislik alanında çok fazla gelişim kaydedemeyen yönetmelik kısımlarında eksikler olan ve hatta tam anlamıyla değinilmeyen bölümler üzerinde çok daha ayrıntılı incelemeler ve çalışmalar yapma fırsatı bulmuştur. Bizim konumuz üzerinden bu ayrıntıyı detaylandırmak gerekirse konutlarda yüksek sıcaklık etkisi özellikle Türk Deprem

Yönetmeliği aynı zaman da 2007/12937 sayılı Binaların Yangından Korunması Hakkındaki Yönetmelik'te detaylı bir biçimde incelenmemiştir. Kaynaklar detaylı bir şekilde tarandığında ise daha önce incelenmiş olan çalışmalar yalnızca betonarme elemanlarda kullanılan materyallerin yüksek sıcaklık etkisi koşullarındaki hallerin tetkik edilmesi ve hem deneysel hem de kuramsal açıdan incelenmesinden ibarettir.

Enine donatı olarak geogrid donatıların kullanıldığı yapmış olduğumuz çalışmada, yüksek sıcaklıklara maruz kalan bu giriş elemanlarının mekanik etkileri ve özellikleri incelenmiş betonarme yapılarda kullanıp kullanılmayacağı üzerinde yorumlamalar yapılmıştır. Bunun için 0-800°C aralığında yüksek sıcaklık etkilerine maruz bırakılan beton küplerde basınç dayanımı deneyleri, yalın haldeki çelik donatılarda ve geogrid malzemesin de eksenel çekme deneyleri uygulanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Çimento, Agreg, Beton Üzerine Yapılan Çalışmalar

Shneider ve Weiss (1977), Bu çalışmada aşınma tabakası ve agrega fazında sıcaklık etkisiyle bir seri değişimlerin ve reaksiyonların oluştuğu ifade dirmiştir. Bu reaksiyonlar beton özelliklerini bozucu nitelikte olup, bozucu özelliklerin esasen sertleşmiş çimento hamurunda oluştuğu ve sıcaklık artışıyla orantılı olarak betonda zayıflamaya sebep olduğu sonucuna varılmıştır.

Rostasy vd. (1980) tarafından yapılan çalışmada 900°C sıcaklığına kadar maruz kalan beton üzerinde meydana gelen gözenek yapısını civa porozimetresi yöntemiyle incelemiş olup, toplam gözenek hacminde meydana gelen artışın yüksek sıcaklıklardan ötürü meydana geldiği sonucunu saptamıştır.

Ataman (1991), Yapılarda çok önemli bir bileşen olan yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan beton malzemesinin mekanik özelliklerini belirleyebilmek için soğutma şekillerinin betonun hem eğilme hem de basınç mukavemetleri üzerinde ne gibi etkileri olduğunu irdelemiştir. Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan beton malzemesinin bu mekanik özelliklerini belirlemek için 4x4x16 (cm) ebatlarında silindirik örnekler hazırlanarak beton örneklerinin eğilme mukavemetleri irdelenmiştir. Basınç mukavemeti deneyleri, eğilme deneylerinde iki parçaya ayrılan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Isıtma işlemleri 650°C sıcaklık kapasiteli ve 120°C/dakika yükleme hızlı elektrikli fırında yapılmıştır. Beton mukavemetinin azalmasına agregaların hacminin artması, çimentonun hacminin azalması, betonun boşluklarındaki ve çimento bileşimindeki suyun dehidratasyonu gibi fiziksel ve kimyasal olayların sebep olduğu anlaşılmıştır. Hava ve su ortamlarında soğutulan yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonun elde edilen mukavemet değerlerinde ki eksilmelerin su yardımıyla soğutulanlarda daha az olduğu belirtilmiş ve bu durum beton örneklerinin su içerisinde iken tekrar hidratasyon yapabilecek koşulu bulmasıdır. Ve bunun neticesinde mukavemetin bir bölümü geri izah edilmiştir.

Yangına maruz kalan yapılarda ki betonun mikro yapılarında değişimlerin neler olduğunu incelemek için numuneler alan Lin vd. (1996) bu numuneler üzerinde kullandıkları SEM cihazı ve aynı zaman da stereo mikroskopları yardımıyla gerekli

incelemeler ve ölçümleri yapmıştır. Yangına maruz kalan betonun asıl davranışlarının aşırı ısınmadan dolayı oluşan parçalanmalar ve anlık soğumadan kaynaklanan ufalanmalar olarak açıklamıştır. Deneyler esnasında üretilen klasik silindir numuneler 20°C, 100°C, 250°C, 400°C, 550°C, 750°C ve 900°C'ye kadar sıcaklıklara maruz kalmış ve deneylere tabi tutulmuştur. Bu deneylerin sonucunda numunelerde 300°C'ye ulaşınca kadar herhangi bir çatlak oluşmadığı fakat 300°C ile 500°C sıcaklıkları arasında çatlakların agrega kısımlarında meydana geldiği ve aynı zamanda 500°C sıcaklığını aştığı anlarda agregada meydana gelen çatlakların genişlediği ve çimento hamurunda aynı şekilde ciddi çatlaklar olduğunu gözlemlemiştir.

Chan vd. (1999) yaptıkları bu çalışma da basınç mukavemet değerleri 39 MPa, 76 MPa ve 94 MPa olan hem normal hem de yüksek mukavemetli betonları 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C ve 1200°C olarak belirledikleri hedef sıcaklıklara kadar ısıtmışlardır. Her sıcaklık değerinde 60 dakika bekletilen ve daha sonra oda sıcaklığında soğutulan numunelerin basınç ve çekme mukavemetlerini belirlemişlerdir. Ayrıca yaptıkları bu çalışma da hem normal hem de yüksek mukavemetli betonların yüksek sıcaklık etkisine maruz kaldıktan sonraki gözenek yapılarını da incelemişlerdir. Deneylerin neticesinde yüksek sıcaklıkların etkisi 20°C - 400°C, 400°C -800°C ve 800°C üzeri olmak üzere üç aralıkta belirtilmiştir. Birinci aralıkta yüksek mukavemetli betonların normal mukavemetli betonlara göre mukavemetlerini daha fazla korudukları, ikinci aralıkta sıcaklık değeri özellikle 600°C'nin üzerine ulaştığı zaman her iki betonunda da mukavemetlerinin önemli kısmını kaybettiği, 800°C üzerinde ise her iki betonun da mukavemetinin çok büyük bir kısmını kaybettiklerini ifade etmişlerdir. Yüksek mukavemetli betonda tıpkı normal mukavemetli betona benzer olarak çekme mukavemetinde meydana gelen azalma basınç mukavemeti ile kıyasladıklarında çok daha keskin olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Sıcaklık değeri arttıkça betonun gözenek yapısında irileşmenin arttığı ve bu etkininde betonun durabilitesini azalttığı belirtilmiştir.

Janotka ve Bagel (2002), 15x15x15 cm boyutlu küp ve 10x10x40 cm boyutlu prizma örnekleri kullanılarak 800°C'ye kadar sıcaklıkların betonun mukavemet karakteristiği, boşluk yapısı ve geçirimsizlik katsayısına etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonucunda 400°C'ye kadar olan sıcaklıkların, teste tabi tutulan örneklerde elastisite modülü, mukavemet, ortalama boşluk çapı ve hesaplanan geçirimsizlik katsayıları üzerinde çok

belirgin değişikliğe sebep olmadığı anlaşılmıştır. 400°C ila 800°C aralığında boşluk yapısının büyümesiyle dayanıklılık azalmış, 800°C’de betonun yapısal bütünlüğünün bozulduğu görülmüştür.

Handoo vd. (2002), kimyasal, mineralojik ve fiziksel özellikleri bilinen normal portland çimentosu ile küp örnekler üretilmiş, 100°C’lik aralıklarla 1000°C’ye kadar 5’er saat süreyle ısıtma işlemi uygulanmış, betonun hidrate fazında meydana gelen mineralojikm değişiklikler inceleme konusu edinilmiştir. Ultrasonik ses dalgası ölçümleri ve basınç mukavemetine bağlı değerlendirmeler ile betonun fiziksel durumu tespit edilmiştir. Ultrasonik ses dalgası ölçümleri sonucunda beton malzemesinin 300°C sıcaklık değerini aştığı anda hızlı bir şekilde bozulduğunu göstermiştir. Morfolojik sınamalar sonucunda, iyi gelişmiş kalsiyum hidroksit kristallerinin ve C-S-H jelinin 600°C üzerinde bozulduğu anlaşılmıştır. Herhangi bir yangın durumunda sıcaklık etkisi 500°C sıcaklığını aşması ile birlikte yapısal elemanların detaylı bir çalışma yapılarak durumlarının izlenmesi gerektiği önerisinde bulunulmuştur.

Luccioni (2003), yüksek sıcaklık altındaki beton için termo-mekanik bir model önerilmiştir. Önerilen model deney sonuçlarından elde edilen betonlardan geriye kalan mukavemet değerleri ile kalibre edilmiş, önerilen bu model örnek uygulamalar ve deney çıktılarının karşılaştırılması ile doğrulanmıştır.

Li vd. (2004), bu çalışmada C40, C60 ve C70 betonların basınç, çekme ve eğilme mukavemetleri yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra incelenmiştir. 10x10x10 cm, 15x15x15 cm ve 10x10x41,5 cm ebatlındaki numuneler 200°C, 400°C, 600°C, 800°C ve 1000°C sıcaklıklara kadar ısıtılmış, hedeflenen sıcaklığa erişildiğinde fırının gücü kesilmiş ve örnekler oda sıcaklığına soğutulmuştur. Söz konusu derecelerde örnekleri boyutları çoğaldıkça mukavemetteki kaybın düşük olduğu, 800°C üzerinde betonun su içeriğinin ise basınç mukavemeti üzerinde fazlaca bir etkisinin olmadığı vurgulanmıştır.

Hüsem (2006), normal ve yüksek dayanıma sahip mikro betonların yüksek sıcaklıklar altında basınç ve eğilme mukavemeti değişimleri araştırılmış, 4x4x16 cm boyutlarında prizma mikro betonlar üretilerek bir saat süreyle 200°C, 400°C, 600°C, 800°C ve 1000°C sıcaklık etkilerine bir saat süreyle maruz bırakılmıştır. Sonrasında ise örneklerin bazıları soğuk suda soğutulma işlemine tabi tutulmuştur. Prizmalar üzerinde eğilme deneyi, eğilmede kırılan parçalar üzerinde ise basınç deneyi uygulanmıştır. Sıcaklığın

artmasıyla hem normal hem de yüksek dayanımlı betonların gerek eğilme gerekse basınç mukavemetlerinin eksi yönde değer kaybettiği, bu değer kayıplarının suda soğutulan örneklerde daha çok olduğu tespit edilmiştir. Normal betonun mukavemeti düzenli olarak değeri düşerken, Yüksek Mukavemetli Betonun basınç mukavemeti 200°C ila 400°C arasında havada soğutulan numunelerde %13, suda soğutulanlarda %5 oranında artmış göstermiştir. Yüksek Mukavemetli Betonda 400°C ila 500°C arasında patlama sonucu parçalanma görülürken normal betonda bu etkinin olmadığı ifade edilmiştir.

Chang vd. (2006), 1000°C ile 8000°C arası sıcaklıklarda ısıtılan betondan geriye kalan gerilme-deformasyon ilişkisi araştırılmıştır. Betonların başlangıç mukavemetleri 27 MPa ve 40 MPa olarak kayıt edilmiştir. Bütün örnekler 15x30 cm boyutlu standart silindir şeklinde silis agregası ile yapılmıştır. Yüksek sıcaklığın etkisiyle en fazla kayıpların sıralı şekilde; elastisite modülü, çekme mukavemeti ve basınç mukavemetinde görüldüğü ifade edilmiştir. Öte yandan betonun başlangıç mukavemetinin, arta kalan basınç mukavemeti, elastisite modülü ve çekme mukavemeti oranı üzerinde çok belirgin bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Ünlüoğlu vd. (2007) tarafından paspayının önemini belirtmek için yapılan deneysel çalışmada inşaatlarda kullanılan nervürlü klasik inşaat donatılarından farklı dozajlarda hazırlanmıştır. Beton olarak kullandığı katkılı beton hamurları içerisine 25 mm pas payını ayarlayacağı şekilde donatıları yerleştirmiştir. Beton katkı malzemesi için hem uçucu kül hem de silis dumanını eklemiştir. Kullandığı S420 sınıfında ki nervürlü inşaat donatı çaplarını toplam üç sınıfta ($\phi 10$, $\phi 16$ ve $\phi 20$) olacak şekilde belirlemiştir. Belirlediği bütün bu değerler sonucunda ürettiği numuneleri 20°C ile 950°C arasındaki sıcaklıklara aşamalı olarak maruz bırakmıştır. Pas payı ile yapılan deneylerde pas payı olmayan donatılara göre sıcaklıkların demirlere ulaşması yaklaşık 250°C'lik olumlu bir farkın ortaya çıkmasına sebep olduğunu gözlemlemiştir. Herhangi bir ısıya tabi tutulmayan kontrol numunelerindeki donatıların hem akma hem de çekme dayanımları 500°C'ye maruz kalan numuneler ile neredeyse eşit olduğu fakat numunelere uygulanan sıcaklık değeri 500°C'yi aştığı zaman bu dayanımların düştüğü sonucuna ulaşmıştır.

Hamad vd. (2017) tarafından donatı olarak farklı malzemeleri kullanarak (çelik donatı, CFRP, GFRP ve BFRP) çekip-çıkarma deneyleri yapmıştır. Farklı malzemeler ile

üretilen bu numuneler 0-450 °C ile farklı derece aralıklarında ısıtılıp çekip çıkarma deneyine maruz bırakılmış ve bağ kuvvetleri incelenmiştir. FRP çubuklar ile kıyaslandığı zaman yüksek sıcaklıklara tabi tutulan çelik çubukların çekme mukavemeti ve elastik modülü üzerindeki etkisinin daha düşük olduğunu gözlemlemiştir. GFRP ve BFRP çubuklarının maruz kaldığı sıcaklık değeri 450°C 'ye ulaştığı anda tamamen eridiği ve bununla birlikte gerilme mukavemeti dayanımını tamamen kaybettiği görülmüştür. FRP çubukların mekanik özelliklerinde ise önemli azalmalar olduğu gözlemlenmiştir. FRP çubuklarının gerilme mukavemeti ve elastik modülündeki azalma, yaklaşık olarak 325 °C 'lik kritik bir sıcaklığa kadar doğrusal olduğu ve bu sırada sırasıyla (% 45-55) ve (% 20-30) azalma oranı fark edilmiştir. Bütün numune elemanlarının beton-donatı aderans kuvvetini en yüksekten en düşüğe sıralamak gerekirse ilk sırayı çeliğin aldığını söylemek mümkündür. Bu çelik elemanını ise sırasıyla GFRP, CFRP ve BFRP takip etmiştir.

Abdallah vd. (2017) tarafından dört farklı çimento türleri ile çeşitli agregalardan beton üretilmiş ve üretilen betonlara pull-out testleri yapmak amacıyla 4DH ve 5DH olarak adlandırılan çengelli çelik lifler gömülmüştür. Üretilen numuneler 100°C', 200°C', 300°C', 400°C', 500°C', 600°C', 700°C' ve 800 °C derecelere kadar ısıtılmıştır. 4DH ve 5DH fiberlerin çekme davranışı benzer bir şekilde yüksek sıcaklıklardan etkilenmiş gibi görünmekte olduğu belirtilmiştir. Ayrıca her iki çeliğin çekme mukavemeti, 20-400 °C sıcaklık aralığında önemli ölçüde değişmediği, ancak 500 ila 800 °C sıcaklık aralığında, maksimum çekme yükü tüm betonlar için önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

Hai Yan Zhang vd. (2018) yaptıkları bir çalışmada jeo-polimer beton ve inşaat demiri arasındaki bağ davranışları üzerine deneysel sonuçlar sunmaktadır. Bu çalışmada düz ve nervürlü inşaat demirleriyle gömülmüş jeo-polimer beton numuneleri üzerine çekme testleri, ortam sıcaklığında ve 100°C', 300°C', 500°C' ve 700 °C'ye maruz bırakıldıktan sonra gerçekleştirilmiştir. 300°C ye kadar bağlanma mukavemetinde önemli bir değişiklik görülmediği ancak 300 °C'nin üzerinde önemli ölçüde azalma olduğu belirtilmiştir.

2.2. Betonarme Elemanlar Üzerine Yapılan Çalışmalar

El-Hawary ve Hamoush (1996) çelik donatı ve beton yüzeyleri arasındaki bağ modülünü gözlemek ve belirlemek için için bir deneysel çalışma meydana getirmiştir. Betonarme elemanlarda bulunun adreansa yüksek sıcaklığın, sıcaklığa maruz kaldığı sürenin ve nasıl soğutulduğu gibi etkileri gözlemek ve bağ modülü parametresinin donatı çaplarından alakasız olduğunu ispatlamaktır. Ayrıca bağ modülünün aderansı belirlemek için uygun bir değişken olarak kullanılabilceğini kanıtlamak amaçlanmıştır.

BYKHY (2002) Türk standartlarınca onaylanan yönetmelikte belirtilenlere göre bir yapı elemanının yüksek sıcaklık etkilerine karşı en az 2 saat dayanabilmesi için, içindeki donatı elemanlarının beton dış yüzeyinden (pas payının) en az 4 cm içeride olması gerektiği önemli bir parametre olarak belirtilmiştir.

Xiao ve König (2004) yaptıkları çalışma da son 20 yıl içerisinde Çin Halk Cumhuriyetinde betonun yüksek sıcaklık etkisinde ve sonrasındaki davranışlarını belirlemek amacıyla yapılan deneysel çalışmalara bağlı veriler tartışılmak suretiyle yapılacak sair çalışmalar için bir takım öngörüler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada mukavemet, elastisite modülü, maksimum deformasyon, poisson oranı gibi temel mekanik davranışlar irdelenmiş ve yüksek sıcaklıkların materyaldeki akma mukavemeti ile elastisite modülüne etkisi ve yüksek sıcaklıkların beton ile beton materyali arasındaki bağlantısına yönelik saptamalar yapılmıştır. Hedef sıcaklık, oda sıcaklığından 400°C'ye çıkıldığında mukavemette belirli değişimler gözlemlenmiştir. Öncelikli olarak azalan mukavemet sonrası ufak bir miktar artış göstermiş ve nihayetinde yeniden azalmıştır. Sıcaklığın 400°C değerini aşmasıyla beraber mukavemet çok belirgin şekilde azalmaya başlamış, hedef sıcaklık 800°C'ye ulaştığında ise başlangıç mukavemetinin sadece %20'sinin korunabilir olduğu gözlemlenmiştir. Soğutma şeklinin nasıl etkilediğini incelediklerinde ise; suda soğutulan numunelerde, havada soğutulanların aksine sıcaklığın artmasıyla beraber mukavemette düzenli bir azalma olduğu görülmüştür. Azalan bu değer 400°C'ye kadar yavaş, sonrasında ise daha hızlıdır. 400°C sıcaklık değerine kadar havada soğutulan numunelerin suda soğutulan numunelere göre mukavemet kayıpları daha az iken 600°C ve üzerinde soğutma şeklinin etkisinin belirginliği ortadan kalkmakta ve her iki grup içinde ciddi kayıplar

meydana gelmektedir. Havada soğutulan numunelerin ani sıcaklık farkları suda soğutulanlara göre daha az olduğu için, hasar miktarı havada soğutulan numunelerde daha az değerde olduğunu saptamışlardır. Isının oda sıcaklığından 400°C'ye çıkmasıyla birlikte çeliğin mukavemeti bir miktar artar, ancak duktilitesi azalır. Bunun üzerindeki sıcaklıklarda düzenli olarak azalan çeliğin mukavemeti 700°C değerine ulaştığında ise başlangıç mukavemetinin %80'ini kaybeder. Sıcaklık değerinin yükselmesi ile birlikte çelik elastisite modülü düzenli bir şekilde düşer. Yüksek sıcaklıklar altında betonun ısı genleşmesi donatı çubuğunun genleşmesinden çok daha az miktarda olduğundan, betonun donatıyı sıkı bir şekilde sarıp sıkması sonucunda beton ve donatı arasındaki sürtünmeyi bir hayli artırır. Fakat diğer taraftan beton malzemesinin çekme mukavemeti düşer. Bu sebepten ötürü yüksek sıcaklık etkileriyle farklılaşmış olan beton ile donatı arasındaki aderans yüksek sıcaklık etkilerine tabii kalmış betonarme elemanların çatlak, deformasyon ve yük taşıma kapasitelerine etki eder. Beton-donatı aderansının yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra çok belirgin şekilde değiştiği söylenebilir. Aderansta meydana gelen bozulma miktarı, betonun çekme mukavemetindeki azalma oranından dolayı betonun basınç mukavemetindeki hasardan daha fazla miktardadır. Aderans, düz donatılarda haliyle nervürlü olan donatılara kıyasla daha çok miktarda azalır. Nervürlü olmayan donatılarda 100°C sıcaklık değeri için, nervürlü donatılarda ise 300°C sıcaklıklara kadar aderansta ufak yükselmelere belirlenmekle beraber, daha yüksek değerlerdeki sıcaklıklarda bağ kuvvetleri bir hayli azalmıştır. Bunlara ek olarak donatının paslı bir durumda olmasının da aderans için çok önemli bir etkisi olduğu, paslı veya passız olmaları durumunda farklı davranışlar gösterdiği belirtilmiştir.

Bingöl (2008) tarafından yüksek sıcaklıklara maruz kalan C20 ve C35 sınıflarında ki beton örneklerinin her birisinde farklı soğutma şekilleri kullanılmış ve bu değişkenlerin yapışma (aderans) kuvvetlerinde ne gibi değişimler olduğunu belirlemek için bir çalışma yapmıştır. Yapılan bu çekip-çıkartma deneyleri neticesinde 50°C–150°C aralığında beton ve donatı arasındaki kenetlenme kuvvetinin arttığı ancak daha yüksek sıcaklıklara ulaşıldığında ise kenetlenme kuvvetinin azaldığı gözlemlenmiştir. Meydana gelen bu kenetlenme kuvvetinde ki artışın betonda bulunan boşluk sularının buharlaşması sonucunda betonun büzülmesi ile beraber kenetlenme kuvvetinin artmasına sebep olduğunu açıklamıştır. Beton numunelerinin içerisinde sahip olduğu su

miktarunun azalması ile birlikte birim ağırlıklarının da haliyle azaldığını ve bu azalmaların sıcaklık değeri 700°C safhasına ulaştığı anda yaklaşık olarak %7-%8 olduğunu gözlemlemiştir. Her iki beton sınıfının da yani gerek C20 gerekse C35 numunelerinin havada soğutulan numuneleri suda soğutulan numunelere göre basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu sonucuna varmıştır.

Khattab Saleem Abdul-Razzaq (2015) betonarme kirişleri belirli sürelerde yüksek sıcaklıklara maruz bırakmış ve bu kirişlerin davranışlarını incelemiştir. Bu kirişlerde normal musluk suyu ve ham su olarak 2 farklı su karıştırılmıştır. Toplam 24 adet kiriş numunesi üretilmiş ve özel yüksek sıcaklık fırınlarında ısıya maruz bırakmıştır. Daha sonra ısıtılan kirişler havada yavaş yavaş ve su ile hızla soğutulmuştur. Eğilme makinası yardımıyla kirişler dayanımlarını kaybedene kadar 4 noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Test sonuçlarında beton dökümünde kullanılan ham su ile yapılan kirişlerin kesme kuvvetinin, normal içme suyu ile yapılan kirişlerden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, hızla soğutulan kirişlerdeki mukavemet azalmasının normal soğuyanlara göre keskin bir kaybı olduğu gözlemlenmiştir.

Lau ve Anson (2006), Yüksek sıcaklıklar altında betondaki kalsiyum hidroksit $Ca(OH)_2$ 'nin ayrışması, agrega-çimento pastası sınırındaki uyumsuzluk ve kuvars SiO_2 'nin kristal dönüşümü gibi beton içindeki kimyasal ve fiziksel değişiklikleri incelemiştir.

Hsu ve Lin (2006) yaptıkları bir çalışma da yangına maruz betonarme kirişlerin artık dayanma kapasitelerini çalışmıştır. Kayma takviyesinin ortak durumlarda ana kayma mukavemetini sağladığını, ancak dayanma gücü yüksek sıcaklıktan etkilendiğinde hızlı bir şekilde azaldığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca, örtülü betonun, yüksek sıcaklığın kesme donatı dayanımı üzerindeki etkisini geciktirebileceği sonucuna vardılar. Kaplanmış betonun kalınlığının artırılması, yangının kesme dayanımı üzerindeki hasarını önlemeye yardımcı olduğunu bulmuşlardır.

Bratina vd. (2007), farklı gerilme katkılarının betonarme kirişlerinin yangındaki tepkisi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Betondaki sünme ve geçici gerilmelerinin dikkate alınmasının, bükülme veya sınırlandırılmamış merkezli yüklü sütunlar altındaki statik olarak belirlenen kirişlerin yangına dayanma süresi üzerinde çok az etkisi olduğunu tespit etmişlerdir

Chadha ve Mundhada (2012) yangına zarar veren betonarme kiriş yapılarının çoğunun onarılabilceği sonucuna varmıştır. Bununla birlikte, 900°C'nin üzerindeki yüksek sıcaklığın betonarme kirişler üzerindeki etkisinin bükülme mukavemetinde önemli bir azalmaya neden olduğu gözlenmiştir.

Choi ve Shin (2011), ateş altında normal ve yüksek mukavemetli beton kirişlerin yapısal davranışını ve basitleştirilmiş termal analizini incelemiştir. Beton basınç dayanımı ve örtü kalınlığının ateş altındaki betonarme kirişlerin yapısal davranışlarına etkilerini araştırmışlardır. Normal ve yüksek dayanımlı beton kirişler için test sonuçları, ateş altında sürekli yüklere maruz kalan basitçe desteklenen kirişlerin ısı dağılımı ve yer değiştirme değişikliklerini değerlendirmişlerdir.

Mundhada ve Pophale (2013) yüksek sıcaklıkların betonarme kirişlerinin performansı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Sonuçlar 550°C'ye kadar sağlam performans göstermiştir. Eğilme dayanımı ve diğer parametrelerde olağandışı bir düşüş gözlemleniler, ancak 750°C'ye kadar endişe verici olmadığı yorumuna ulaşılar. 950°C civarında tüm betonarme kirişler kapasitelerini kaybetmiştir.

2.3. Geogrid Malzemesi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Ferrotti vd. (2010)'nin çalışması yol uygulamaları için bir fiber cam geogridin performansını incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Esnek döşemelerde kullanılan takviyeli sistemlerin mekanik performansının incelenmesi için, dört noktadan tekrarlanan yükleme ile ara tabaka kesme deneyleriyle birleştiren stratejik bir laboratuvar yaklaşımı yapılmıştır. Bu yöntem takviye edilmemiş ve güçlendirilmiş çift katmanlı sistemleri karşılaştırmak için ileri araştırma analizlerinde kullanılabilir olduğu belirtilmiştir. Bu araştırmada elde edilen sonuçlar, kullanılan fiber cam geogridinin, asfalt beton sisteminin performansına önemli bir katkı sağladığını göstermiştir.

Chidambaram ve Agraval (2014) çelik fiberli beton numunelerinde geogrid kullanımı için deneysel bir araştırma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, geogridin betonun sıkıştırma etkisinden dolayı oluşan eğilme altındaki mekanik özelliklerini ve geogrid ile beton arasındaki bağın incelenmesi üzerine odaklanmıştır. Geogridin çelik fiber takviyeli betonla (SFRC) etkisi araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, geogridin, geleneksel bağlama teknikleri ile karşılaştırıldığında betonu bağlayan etkili bir alternatif malzeme

olabileceğini göstermektedir. SFRC'nin kullanımıyla geogrid ile ilişkili olan beton numunelerin aksel gerilme - şekil değiştirme davranışı daha da artmaktadır. Kiriş numuneleri üzerindeki eğilme testi, geogrid mukavemetinin, yük-deformasyon davranışının yanı sıra çatlak yayılımının iyileştirilmesinde hayati bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Geogridin eğilme altındaki gerilim aktarma mekanizması, geogridin betonarme numunelerde çekme takviyesinin alternatifini olabileceğini de doğrular.

El Meski vd. (2014) bu çalışmada geogrid takviyeli beton elemanların davranışları incelenmiştir. Geogridlerin betonda uygulanması geosentetiğin altyapıda kullanılması için yeni bir boyut oluşturduğu görülmüştür. Kaldırım uygulamalarında, bağlanmamış ve asfalt beton katmanların sınırlandırılması, dengelenmesi ve takviye edilmesinin yanı sıra ara tabakaların çatlamayı azaltması için geogridler kullanılmıştır. Deney programı, basitçe desteklenmiş düz ve geogrid takviyeli kiriş numunelerinin dört noktadan yükleme yapılmıştır. Farklı parametrelerle toplamda 21 deney yapılmıştır. Deney parametreleri farklı açıklık şekillerine, fiziksel, mekanik özelliklere ve malzeme bileşimine sahip üç tür geogridi içermiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar, yük kapasitesi, çatlak ağzı açıklığı değişimi (CMOD) açısından yük-sapmadan da anlaşılacağı gibi geogridlerin takviye edici yararı olduğunu doğrulamıştır.

Chidambaram ve Agraval (2015a) geogridin betonarme kiriş elemanlarında ilave kesme donatı olarak uygulanabilirliğini incelemek için deneysel bir çalışma yapmışlardır. (Şekil 2.1) 12 adet kiriş örneği; boyuna ve enine donatı oranı, geogrid dayanımı ve çelik fiber hacmine bağlı olarak farklı üç gruba ayrılmıştır. Geogridin bulunduğu kirişler, karşılaştırmalı yük sapma davranışını elde etmek için tek nokta statik yükleme altında test edilmiştir. Deneyler, çelik fiber betonarme betonun yüzdesine ve geogrid kullanımına bağlı olarak kiriş numunelerinde dayanım ve sünekliğin artışında önemli bir gelişme olduğunu göstermektedir.

Deney sonuçları, geogrid ve çelik fiber güçlendirilmiş beton ile doğru bir şekilde uygulanmasının sadece süneklik artışı elde etmek için değil, aynı zamanda gevrek kırılma şeklinde değiştirdiğini göstermektedir.

Chidambaram ve Agraval (2015b) kolon elemanlarının kiriş elemanları ile birleştiği yerlerde kesme dayanımını ve sünekliği arttırmak için geogridin kullanılıp

kullanılmadığını incelemişlerdir. Hazırlanan deney örneklerinin kolon elemanları ile kiriş elemanlarının birleştiği yerler hem geleneksel kapalı etriye hem de geogrid ile sıklaştırılmış; diğer numunede ise geogrid ile sıklaştırma yapıp aynı zamanda buna ek olarak çelik fiber katkılı beton (SFRC) kullanılmıştır. Örnekler, çevrimli yükleme davranışı, yük-deformasyon değiştirme eğrisi, enerji dağılımı, dayanım ve rijitlik azalması, moment-dönme ilişkisi ve göçme mekanizması bilgilerine göre karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarında, geogrid malzemesinin kolon kiriş birleşim kısımlarında ekstra sargı donatısı olarak kullanılmasının performansı arttırdığı ve çelik fiber katkılı beton (SFRC) kullanımının birleşim noktalarında kesme kapasitesini arttırdığı sonucu göstermiştir. Aynı şekil değiştirme seviyesi için geogrid kullanılan numunenin, geleneksel kapalı etriye kullanılan numuneye göre daha düşük hasar düzeyine sahip olduğu elde edilmiştir.

Itani vd. (2016) bu çalışma, geogridlerin, ince beton kaplamalarda donatı-çatlak önleyici bir tabaka olarak kullanılmasını, performanslarını arttırmak için gerilme mukavemetini, sünekliği ve daha da önemlisi çatlak yayılımının azalıp azalmadığının kontrolünü araştırmaktadır. Bunun için; termal yükleri simüle etmek için doğrudan gerilim deneyi ve trafik yüklerini simüle etmek için esneklik deneyi olarak iki deneysel kurulum kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, geogrid takviyesinin kullanılmasının, çatlama sonrası rejimdeki kaplama performansını, mukavemeti ve sünekliği önemli ölçüde arttırdığını doğrulamaktadır.

Sivakamasundari vd. (2017) yaptıkları bu çalışmanın amacı çelik fiberlerin ve tek eksenli geogridin betonarme kirişlerinde kesme donatısı olarak kullanılıp kullanılmayacağına araştırmaktır. Bu sebeple tek eksenli geogridlerin çelik fiber içeren ve içermeyen kirişlerin eğilme davranışlarını araştırmışlardır. Bu çalışmada, farklı enine donatıya sahip iki kiriş numunesi göz önünde bulundurulmuştur. Bu geogrid numuneler ve geleneksel beton numunelerine, karşılaştırmalı yük deformasyon davranışı elde etmek için üç noktalı yükleme yapılmıştır. Deneyler sonucunda, çelik fiber ile geogridin kullanıldığı numunelerin sünek yer değiştirme ve enerji yutma kapasitelerinde artış görülmüştür fakat yalnız geogrid kullanılan numunelerde aynı sonuç elde edilmemiştir.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Sargılı Beton Davranışı

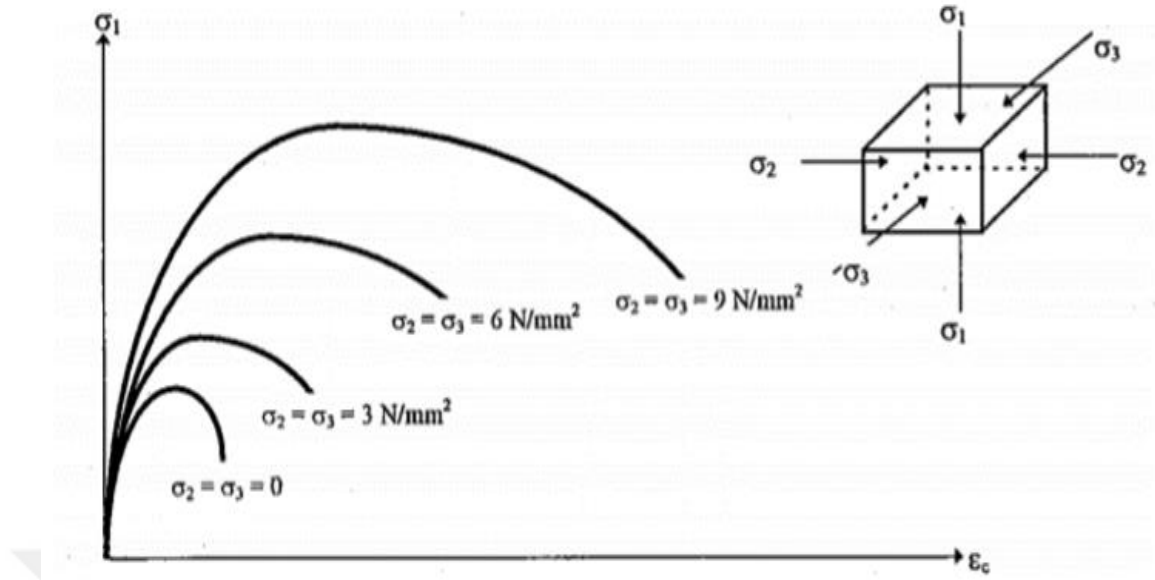
Betonarme elemanlarda enine donatılar kullanılarak betonun çekirdeğine taraf yanal basınç uygulanması ilkesine sargılı beton ilkesi denir. Bu konu hakkında birçok deney ve çalışmalar yirminci yüzyılın başından itibaren yapılmaya başlanmıştır. Farklı uygulamalar ile başlayan çalışmalar dikkörtgen kapalı etriye uygulamalarıyla devam etmiştir. Bu araştırmalar ve çalışmalar sonucunda betonarme bir elemana yanal basınç uygulanmasının bu elemanın sünekliliği ve dayanımına olumlu yönde etki ettiği gözlemlenmiştir (İnel vd., 2008). Etriyeli betonarme elemanın hem tek eksenli hem de üç eksenli yükleme durumuna göre gerilme-şekil değiştirme bağıntıları incelenmiştir. Deneylein üç eksenli yükleme durumuna göre yapılmasının amacı ise eksenel basınç üzerine yanal basıncın etkisinin incelenmek istenmesidir (Denklem 3.1).

$$f_{cc}=f_c+K\sigma_l \quad \text{Denk. (3.1)}$$

Bu denklemde; K yanal basınç katsayısını, f_{cc} eksenel basınç dayanımını σ_l ise yanal basınç gerilmesini; ifade etmektedir.

Poisson ilişkisine bağılı olarak; betona herhangi bir eksenel yük uygulanması durumunda bu yük doğrultusuna dik doğrultuda betonda şekil değiştirme meydana gelmektedir. Eksenel yük; betonarme elemanlar üzerinde dayanım yönünden olumsuz bir etki oluşturur. Sargılı beton; bu olumsuz etkiyi azaltmak için kullanılır. Sargılı beton kullanılması halinde donatılar, eksenel yükten dolayı oluşacak olan dik şekil değiştirmeye karşı koyar ve dolayısıyla üç eksenli gerilme durumu oluşturup; betonun dayanımını ve sünekliliğini artırır (Küçük, 2018).

Daha önce de bahsettiğimiz gibi sargılı beton kullanılması; betonarme elemanlarda üç yönlü gerilme davranışı sergileyerek sünekliliğin artmasına neden olur. Üç yönlü gerilme durumunu araştırmak amacıyla ilk geniş ölçekli deney Richart, Brandzaeg ve Brown tarafından 1982’de yapılmıştır. Yakın zamanda Ersoy ve Özcebe tarafından 2017’de yapılan çalışmada da bu durumu kanıtlamak mümkündür. Şekil 3.1’den de görüleceği gibi σ_2 ve σ_3 arttıkça betonun dayanımı ve sünekliliği artmaktadır.



Şekil 3.1. Üç eksenli gerilme altında betondaki davranış (Saatçioğlu ve Ravzi,1992)

Sargılı beton kullanılmasının dayanıma katkısı ile ilgili olarak Saatçioğlu ve Ravzi (1992) tarafından da bir çalışma yapılmış ve Denk. 3.2 kullanılmıştır.

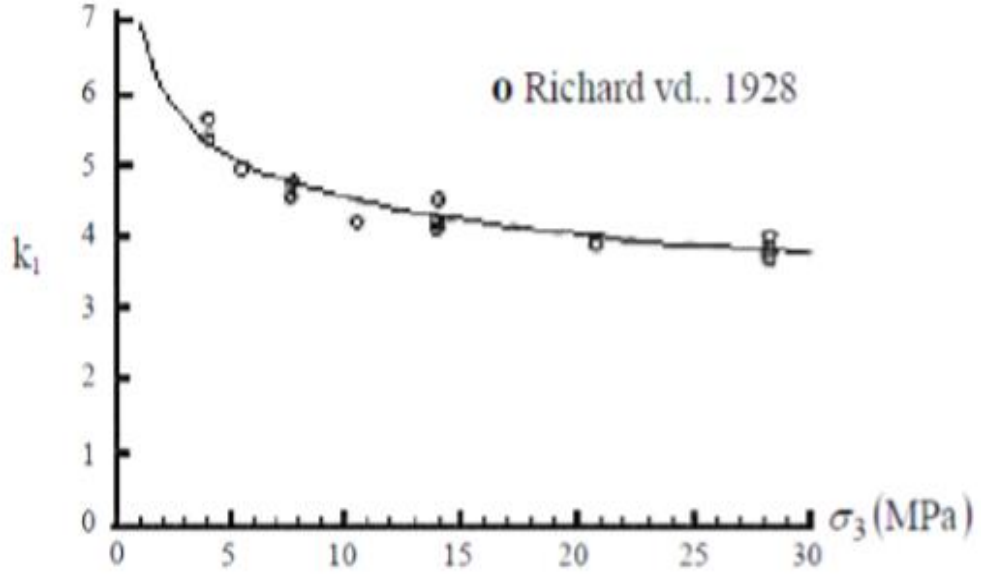
$$f_{cc} = k_3 f_c + k_1 \sigma_2$$

Denk.(3.2)

Betonarme elemanların üretimi esnasında döküm koşulları, ortam koşulları ve birtakım insani hatalar gibi birçok nedenlerle hatalar meydana gelebilir. Bundan dolayı burada k_3 ; 0,85 ile 1,0 arasında değişebilen bir katsayıdır ve elemanda ortaya çıkan beton dayanımı ile standart silindir deneyinden elde edilen beton dayanımı arasındaki farkı ifade eder. Saatçioğlu ve Ravzi, Richart tarafından yapılan deneyleri tekrar gözden geçirmiş ve yanal basıncın 15 MPa'dan büyük olması durumunda $k_1 = 4,0$ katsayısının geçerli olduğunu bulmuşlardır. Yine yapılan deney sonuçları doğrultusunda k_1 değerinin sadece yanal basıncın küçük olduğu durumlarda 4,0'dan büyük olabileceği kanıtlanmıştır. Bu sonuçlara göre k_1 parametresi için aşağıdaki Denk. 3.3 yazılmış ve Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

$$k_1 = \frac{6,7}{\sigma_2^{0,17}}$$

Denk.(3.3)



Şekil 3.2. k_1 parametre eğrisi (Saatçioğlu ve Ravzi, 1992)

3.1.1. Sargılı beton özelliklerini etkileyen faktörler

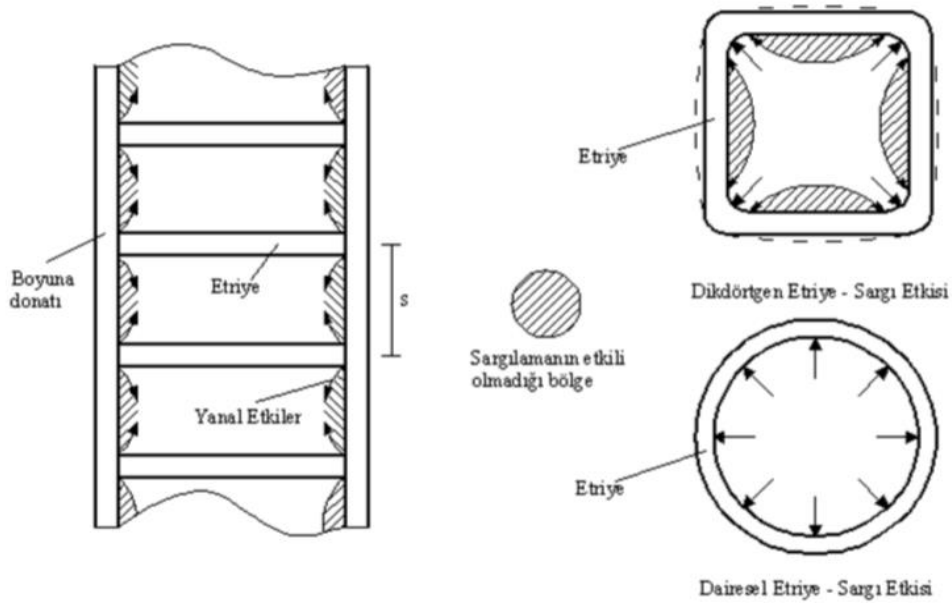
Bütün betonarme elemanlarda sünekliği ve dayanımı arttırmaya olanak sağlayan boyuna donatılar etrafında sarılı enine donatılar bulunur. Bu enine donatılar sürekli sarmal şeklinde fretler ve kapalı etriyeler olmak üzere iki farklı şekilde kullanılabilir. Beton çekirdeğine sargı etkisi oluşturan enine donatılarda kullanım miktarı ve kullanım şekli çok önemlidir. Ve bu parametrelere göre sargılı beton özelliklerini etkileyen faktörler sargı özelliklerini etkileyen en önemli faktörler aşağıda sıralanmıştır (Işıltan, 2010).

Enine Donatı Miktarı: Hem yönetmelikler hem de kitaplarda etriye yani enine donatı miktarı; boyutsuz bir şekilde, etriye hacminin sarılmış çekirdek hacmine oranıyla elde edilir ve hacimsel enine donatı oranı olarak adlandırılır (ρ_w). Eksenel kuvvet etkisinde enine donatı miktarı (hacimsel enine donatı oranı) arttıkça betona uygulanan yanal basınç artar ve bu sebeple hem betonun dayanımı hem de sünekliği de ciddi oranda artacaktır (Işıltan, 2010).

Enine Donatı Aralığı: Etriye donatı aralığı azaldıkça; betonun yanal şekil değiştirmesi daha fazla sınırlanmaktadır. Bu da eksenel yük altında sargı etkisini arttırmakta ve dolayısıyla süneklik ve dayanımını artırmaktadır (Işıltan, 2010).

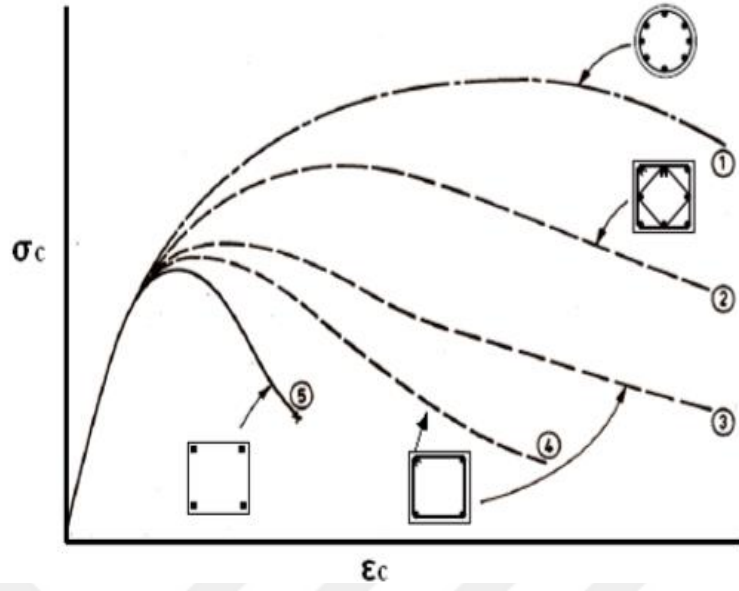
Enine Donatı Dayanımı: Yanal basınç, etriyenin dayanımının da bir fonksiyonudur. Etriye donatısının sargı etkisinin artmasında akma dayanımının yüksek olmasının etkisi büyüktür. Akma dayanımı arttıkça sargı etkisi de artmaktadır (İşıltan, 2010).

Enine Donatı Düzeni: Enine donatı kullanım şekillerinin sargılama bölgesine etkileri üzerine Celep ve Kumbasar, 2005’ de bir çalışma yapmışlardır. Aşağıdaki Şekil 3.3’te açıkça görüldüğü üzere dikdörtgen etriyelerde sargılamanın etkili olduğu bölge, dairesel etriyeli betonarme elemanlara göre daha az olduğu aşikardır. Bu sargılama bölgesinin azalması ile birlikte süneklik ve dayanım azalmaktadır.



Şekil 3.3. Dairesel ve dikdörtgen kesit geometrisi için sargı etkisi (Celep ve Kumbasar, 2005).

Aynı zamanda Ersoy, 2007’de deneysel bir çalışma ile enine donatı düzenine göre gerilme birim şekil değıştirme eğrilerini oluşturup bu farklı enine donatı düzenlerini karşılaştırmıştır. Şekil 3.4’te görüldüğü üzere en yüksek süneklik ve dayanım dairesel etriye kullanımında (1 numara) elde edilmiştir. 1 numaralı etriye düzenine göre daha düşük süneklik ve dayanımın elde edildiği 2 numaralı deney numunesinde dörtgen ve çapraz etriye kullanılmıştır. Dikdörtgen etriye kullanılan 3 ve 4 numaralı eğrilerde ise 3 numaralı eğrinin donatı aralıkları diğerine göre daha azdır. 5 numaralı eğride de etriye kullanılmamıştır.



Şekil 3.4. Enine donatı düzeninin sargı etkisi üzerindeki önemi (Ersoy, 2007)

Beton Dayanımı: Artan beton dayanımı ile beklendiği üzere beton gevrekleşir ve yanal şekil değiştirmesi azalır. Fakat bu durum, etkili yanal sargı basıncının düşmesine, sargı etkisinin azalmasına neden olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı aksel yük altında betonun hem sünekliği hem de dayanım azalmaktadır (Işıltan, 2010).

Boyuna Donatı Düzeni: Sargılama üzerinde çok fazla etkisi yoktur, ancak boyuna donatı düzeninin simetrik olmasına çok fazla dikkat etmek gerekir. Enine donatı düzenini daha etkili bir hale getirmek ve beton çekirdeğini daha olumlu yönde sarması için büyük çaplara sahip az sayıda donatı kullanmaktan kaçınılmalıdır. Bunun yerine çapları küçük fakat çok sayıda donatı kullanılması tercih edilmelidir (Işıltan, 2010).

Bütün bu bilgiler ışığında Işıltan (2010), sargılı beton davranışını etkileyen faktörleri Tablo 3.1’de görüldüğü üzere karşılaştırmalı halde özetlemiştir.

Tablo 3.1. Sargılı beton davranışını etkileyen faktörler (Işıltan, 2010)

Faktörler	Faktörler değişimi	Sargı etkisi değişimi
Enine donatı miktarı	↑	↑
Enine donatı aralığı	↓	↑
Enine donatı çapı	↑	↑
Enine donatı dayanımı	↑	↑
Enine donatı düzeni	Dairesel etriye > Sık etriye > Etriye	
Boyuna donatı düzeni	Küçük çaplı, çok sayıda donatı > Büyük çaplı, az sayıda donatı	
Beton dayanımı	↑	↓
Eksenel yük düzeyi	↑	↓

3.2. Betonarme Elemanlarda Kesme Kuvveti Etkisi

ASCE-ACI 426 (1973) yılında yayınlanan raporda, betonarme yapılardaki belli bir kuvvet altında kesme kuvvetinin nasıl aktarılacağı konusunda tasarım için yeni öneriler getirmiştir ve o tarihten günümüze kadar bir çok çalışma yapılmıştır Fakat buna rağmen kesme dayanımı hakkında birçok soru tam olarak cevaplanamamıştır.. Son yıllarda betonarme elemanlarında görülen kesme kuvvetinin nasıl aktarılacağı hakkında bazı raporlar yayınlanmıştır. Bu raporlardan sonra ise üç alanda gelişmeler olmuştur. Bu gelişmeleri maddeleyecek olursak;

- Kesme kuvvetinin nasıl daha olumlu yönde aktarılacağı hakkında bilgi edinilmesi,
- Yapıların kesme dayanımının deneyler vasıtasıyla incelenmesi,
- Yeni yapı tipleri ve yükleme kombinasyonları ile ilgili çalışmalar.

3.2.1 Yapısal elemanlarda kesme tehlikesi ve kesme kırılması

Kiriş, kolon, perde, vb. betonarme yapı elemanlarında kesme kırılması dikkat edilmesi gereken sorunlardandır. Bu betonarme elemanlarda kesme kuvveti aktarım şekli benzer durumda olmasına rağmen çatlama, göçme şekilleri ve davranışları birbirlerinden tamamen farklıdır. Tekil yüke maruz kalan bir kiriş elemanı düşünülürken de kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranı (a/d) kesme açısından kırılma davranışını etkileyen ve dikkat edilmesi gereken en önemli parametredir. Bu oran aynı zamanda $M/(V_d)$ terimleri ile de ifade edilmektedir. $M/(V_d)$ terimi daha çok tasarımda ve daha geniş yüklemeye olduğu durumlarda kullanılır. Birbiriyle ilişkili olan eğilme gerilmesi, kayma gerilmesi ve basınç gerilmesindeki değişim, $M/(V_d)$ oranının değişmesi ile de değişir (ASCE- ACI 426, 1973).

Kirişler: Betonarme ve öngerilmeli beton kirişlerde a/d ya da $M/(V_d) = 2\sim 6$ olması durumunda kesme ve eğilme etkilerine bağlı olarak eğik çatlaklar oluşur. Oluşan bu eğik çatlakların yatayla arasında yaptığı açı $30^\circ\sim 60^\circ$ arasındadır. Kirişlerde çok farklı kesme kırılması tipleri oluşur. Fakat bu tiplerden birisi ile daha çok karşılaşılır. Bu çok karşılaşılan kesme kırılmasında eğik çatlakların üzerindeki basınç kenarlarının ezilmesi yada kayması sebebiyle çekme donatılarında meydana gelen yarılmalardan dolayı oluşan göçme biçimidir (ASCE-ACI 426, 1973).

Yüksek kirişlerde oluşan kesme kırılması ise normal kirişlerdekinden daha farklı olmaktadır. Yüksek kirişlerde meydana gelen çatlaklar normal kirişlere yapısı gereği daha dik çatlaklar (yaklaşık 60°) oluşmaktadır. Çatlakların daha dik oluşması sebebiyle kesme kuvvetinin aktarılma yeteneği çok daha önemlidir (ASCE-ACI 426, 1973).

Perdeler: Yükseklik/genişlik oranının fazla olduğu perdelerde bu oranın fazla olması sebebiyle, momentleri oldukça yüksek normal kuvvetleri ise bir o kadar düşüktür. Bu aktarım yükleri, perdeler kat döşemeleri seviyesinde etkir (ASCE-ACI 426, 1973).

Kolonlar: Depremde oluşan kesme kuvveti etkileri ile kolonlar kırılabilirler. Bu kesme etkisi ile oluşan kırıklar iki şekilde görülebilir:

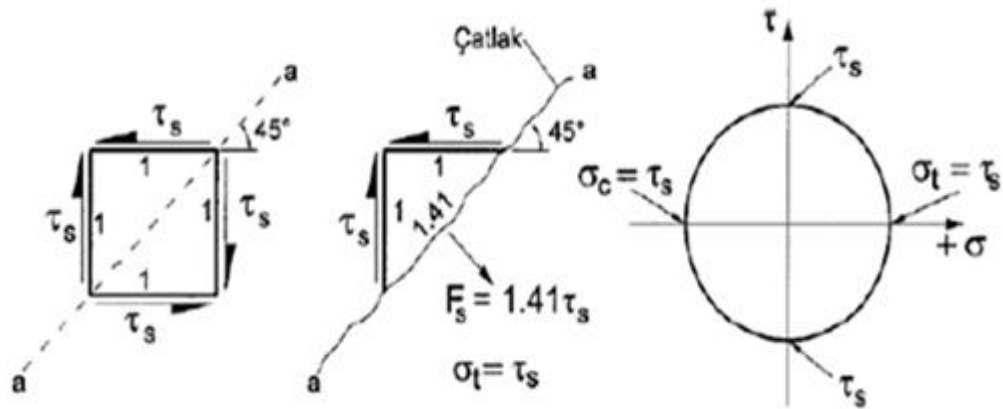
- a) Tıpkı eksenel kuvvet etkisindeki kirişte olduğu gibi eğik çatlaklar oluşturarak;
- b) Kolonun çekirdek bölgesinde oluşan çatlaklardan dolayı kolonun tamamen tamamen göçmesi durumu.

Kolon-Kiriş Birleşimleri: Betonarme elemanların birleşim bölgelerinde karşılanamayan sismik yük ve ağırlıklardan dolayı eğik çatlaklar oluşabilir (ASCE-ACI 426, 1973).

Döşemeler ve Temeller: Döşemeler ve temeller gibi yapı elemanları da kesme kuvveti etkisine maruz kalabilirler. Bu birimlerde daha çok zımbalama kesme kuvveti etkilidir. Kolonlardan döşemelere moment aktarıldıkça artarken, kesitin ya da elemanın kesme kapasitesi azalır. Bu sebeplerden dolayı bu yapılarda kırılmalar dış kolon birleşimlerinde, ya da; ya yükleme durumlarından ya da kolona bitişik durumdaki boşluklardan dolayı moment aktarımının olduğu birleşimlerdeki kırılma biçimine benzemektedir (ASCE-ACI 426, 1973).

3.2.2. Kesme kuvveti etkisi

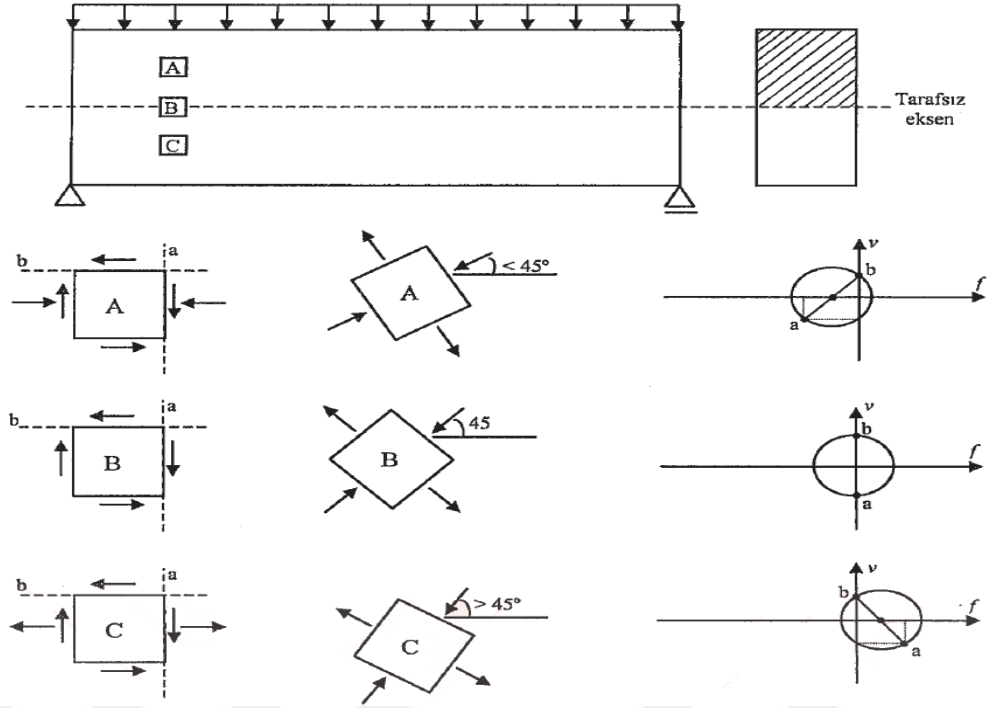
İki eksenli gerilme durumu, herhangi bir elemanda ancak eğilme momenti ve kesme kuvveti etkisi altında ortaya çıkar. Bir kirişte yeteri kadar kesme donatısı (etriye) bulunmadığı takdirde uygulanan yükün artması ile beraber mesnetlere yakın olan bölgelerden henüz eğilme mukavemetine ulaşmadan yaklaşık 45° yatay eğimli asal gerilmeler ve çatlaklar oluşarak kırılma meydana gelebilir (Şekil 3.5). Eğik çekme gerilmeleri bahsettiğimiz bu eğik çatlakların oluşmasına sebep olur Çatlaklar (Ersoy ve Özcebe, 2017)



Şekil 3.5. Basit Kesme Altında Asal Gerilmeler ve Çatlaklar (Ersoy ve Özcebe, 2017)

Bir kuvvete maruz kalan betonarme kiriş elemanının mesnete yakın bir bölgeden düşey kesitten alınan herhangi bir üç noktada gerilme halleri sonsuz küçük elemanlar

üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3.6). A noktasında eksene dik olacak şekilde basınç ve kayma gerilmesi, B noktasında eksene dik olacak şekilde sadece kayma gerilmesi ve C noktasında ise eksene dik olacak şekilde çekme ve kayma gerilmesi oluşur.



Şekil 3.6. Homojen malzemeli kiriş eksenine dik kesit üzerinde asal gerilme doğrultularının değişimi (Arslan, 2005)

Betonun çekme gerilmelerine dayanıksız olduğu bilinen bir durumdur. Bu sebepten dolayı betonarme elemanlarda çekme gerilmesi düzlemlerinde Şekil 3.6'da görüldüğü gibi bir kırılma olmaması için betonarme elemanı oluşturan donatı kafesinde kesme donatısı (etriye) olarak adlandırılan elemanlar bulundurulur (Arslan, 2005).

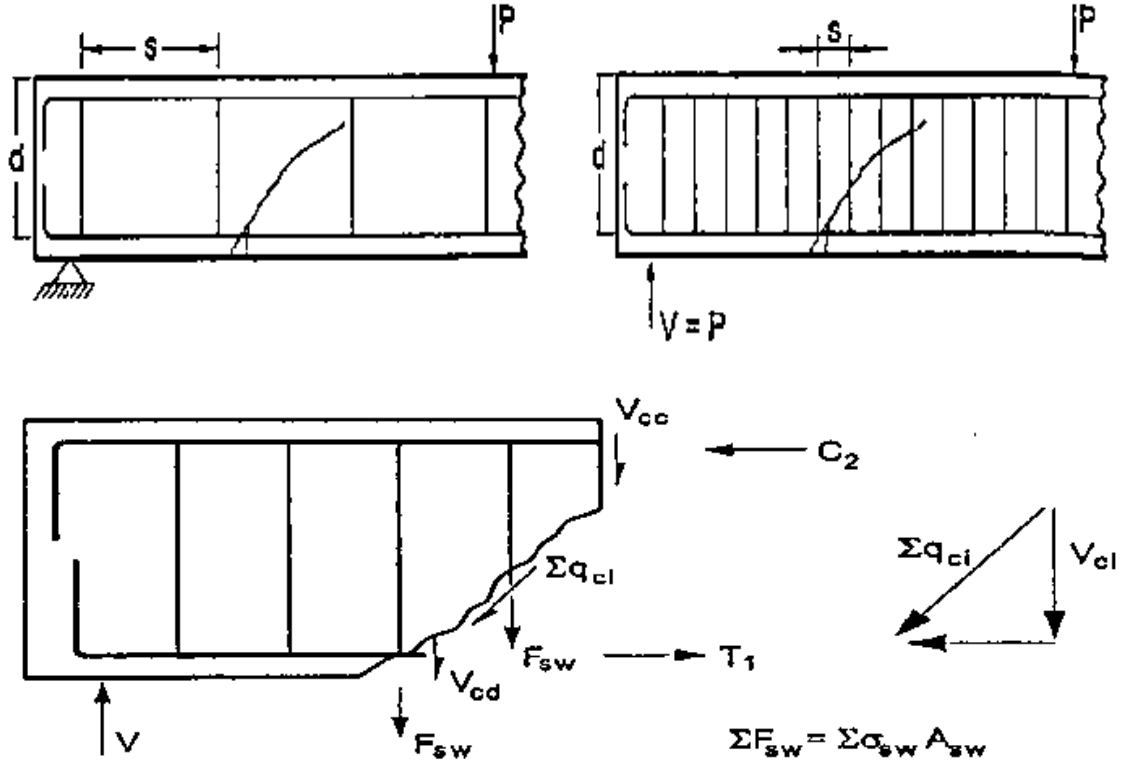
Şekil 3.7'de gösterilen betonarme kiriş elemanı üzerinde ki serbest cisim diyagramında verilmiştir. Kiriş elemanın kesme dayanımı Denk. 3.4 ile elde bulunmaktadır. Kesme donatısının karşılamış olduğu yük, v_w , Denk. 3.5 ile hesaplanır.

$$V = v_{cc} + v_{cd} + v_{ci} + v_w$$

Denk. (3.4)

$$v_w = \frac{\Sigma F_s W x(jd)}{s} = \frac{\Sigma F_s W x(d)}{s}$$

Denk. (3.5)



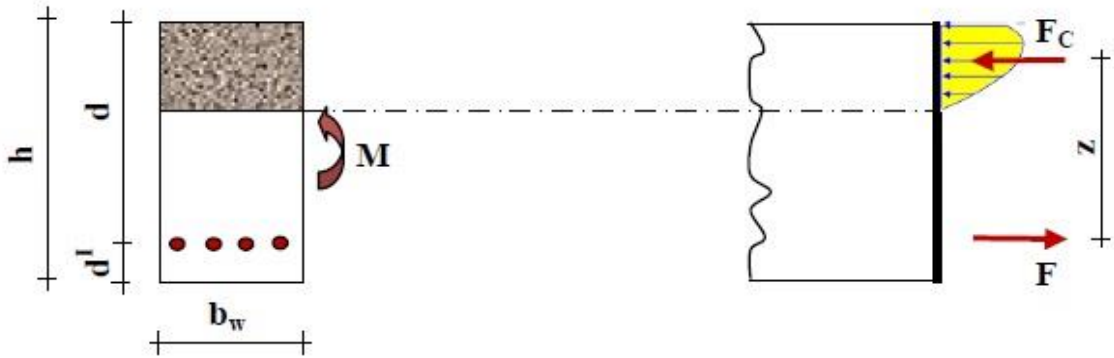
Şekil 3.7. Çekme gerilmesi düzlemlerinde beton ve donatıda etki diyagramı (Ersoy ve Özcebe, 2017)

3.3. Betonarme Kirişlerde Eğilme Etkisi

Betonarme yapılarda önemli bir kısmı oluşturan ve yatay eleman olarak tasarlanan kirişler uygulanan yük doğrultusunda yatay ve düşey düzlemde eğilmeye çalışırlar. Bu kiriş elemanlarının kesitlerinde sadece eğilme kuvveti oluşmaz. Aynı zamanda eğilme kuvvetine ek olarak kesme kuvveti de oluşur. Yükleme biçimine ve elemanların tasarlanma şekline bağlı olarak aksel kuvvet ve/veya burulma momenti de oluşabilir. Eğilme momenti yanında kuvvet olarak daha küçük boyutlarda kalan burulma momenti ve aksel kuvvet gibi ek iç kuvvet tesirleri sadece basit eğilme olayı olarak ele alınır. TS 500-2000'de aksel kuvvetin ölçütü $N_d = 0,1 A_c f_{ck}$ olarak verilmektedir. Farklı gerilme durumu oluşturan kesme kuvveti etkileri ise tasarım esnasında eğilme durumundan ayrı olarak ele alınır (TS 500-2000).

Beton, düşük çekme dayanımına sahip olduğu için eğilme etkisi altındaki kirişlerde çelik donatılar çekme bölgesine yerleştirilir, basınç bölgesine yerleştirilmez ve böylece basınç bölgesindeki betonun tam verimli çalışması sağlanır. Çekme gerilmelerini karşılayan çelik donatılar çekme bölgesindeki en dış life konulur ve böylece donatının etkili çalışmasına sebep olan moment kolu mesafesini arttırılır. Çekme bölgesinde bulunan donatı çubuğu ile beton dış lifi arasında beton örtü tabakası vardır. Bu beton örtü tabakası, kenetlenme veya aderansı sağlar. Aynı zamanda çelik donatıyı yangın ve pas gibi dış etkilerden korumak için zorunludur (Ersoy ve Özcebe, 2001; Özhan, 2012).

Herhangi bir betonarme eleman eğilme etkisi altında düşük seviyede zorlamaya maruz kalırsa çekme bölgesinde bulunan beton deformasyona uğramayabilir. Böyle durumlarda hem donatı hem de beton, kesitte meydana gelen bütün çekme kuvvetini ortaklaşa karşılar. Betonarme kirişler eğilme etkisi ile beraber çatlaklar, çatlaklar arasında bulunan beton az bir miktar da çekmeye katkıda bulunabilir. Bu katkı çok düşük seviyede olduğu için çatlakların meydana geldiği kısımlarda bütün çekme kuvvetinin donatı tarafından karşı koyulduğu kabul edilir. Bu sebeple donatının kesitteki görevi çekme gerilmelerine karşı koyma ve haliyle meydana gelecek olan çatlak genişliklerini asgari seviyede tutmaktır (Ersoy ve Özcebe, 2001; Özhan, 2012).



Şekil 3. 8. Betonarme kirişte şekil değiştirme ve iç kuvvet dağılımı.(Özhan, 2012)

Betonarme kirişlerde dış kuvvetlerin etkisiyle ilk çatlakların oluşumu, en dış çekme bölgesinde oluşan birim uzamanın, betonun çekme dayanımındaki birim deformasyon sınırına erişmesiyle meydana gelir. Oluşan deformasyonla hesap elverişli olmadığı için, çatlakın meydana gelmesi, betonun en dış bölgesindeki liflerin eğilmede çekme

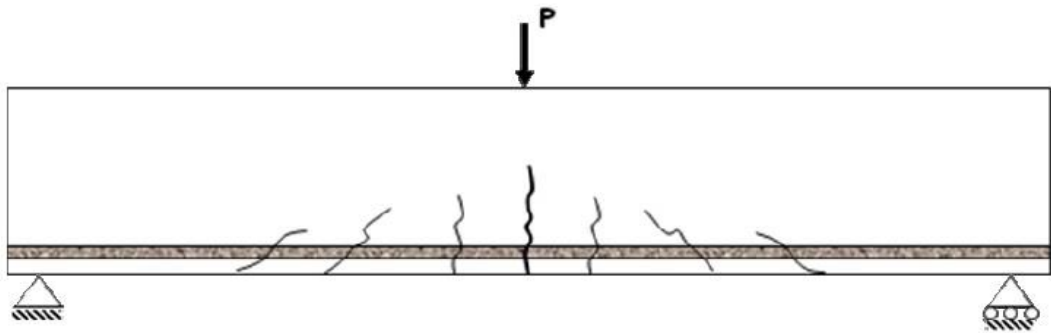
dayanımına erişmesi olarak açıklanır. Bu sınır aynı zamanda donatısız bir kirişin kırılma momentinin çatlama momentine eşit olması durumudur (Ersoy ve Özcebe, 2001; Özhan, 2012).

$$M_{cr} = \frac{f_{ct} I}{y} \quad \text{Denk. (3.6)}$$

Kesitin dikdörtgen olması durumunda I/y için en üst değer $W = bh^2/6$ olur ve mukavemet momenti olarak adlandırılır. Betonun eğilmede çekme dayanımı (f_{ct}) ise eksenel çekme dayanımının (f_{ctk}) iki katı olarak alınır. Böylece denk. 3.6 ifadesi aşağıdaki son haline ulaşır.

$$M_{cr} = f_{ct} \frac{b_w h^2}{6} = \frac{2f_{ctk} b_w h^2}{6} \quad \text{Denk. (3.7)}$$

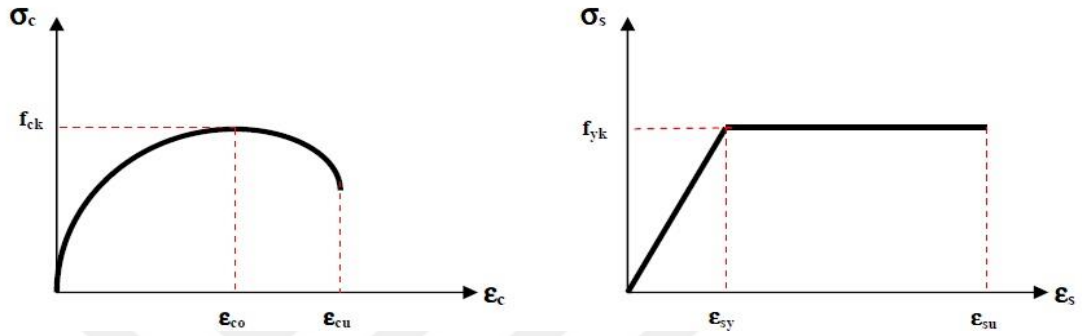
Momentin maksimum olduğu kısımlarda ilk çatlaklar meydana gelir. Henüz kılcal seviyede oldukları için görülmeleri çok zordur. Yük seviyesinin artmasıyla çatlakların genişliği ve boyu da artar ve ayrıca yeni çatlaklar da meydana gelir. Kirişin kesme etkisi olmayan yani basınç bölgesinde oluşan çatlaklar kiriş eksenine dik yöndedir. Bunun sebebi ise, betondaki çatlakların asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşmasıdır. Yük seviyesi arttıkça çatlama momentine ulaşır ve yük ile mesnet arasındaki bölgelerde yeni çatlaklar oluşur. Bu bölgede yani yük ile mesnet arasındaki bölgede kayma gerilmeleri bulunur ve asal çekme gerilmeleri kiriş eksenine paralel değildir. Bu sebeple Şekil 3.9'da yeni çatlaklar, kiriş eksenine belirli bir açıda vukuu bulur (Özhan, 2012).



Şekil 3.9. Betonarme kirişte eğilme etkisi altında çatlak oluşumu.(Özhan, 2012)

Eğilme etkisi altındaki betonarme kirişte ilk çatlak oluşumundan sonra gerilme dağılımı için çelik ve beton malzemelerine ait bilinen sekil değiştirme (σ - ϵ) ilişkileri kullanılması gerekir (Şekil 3.9). Betonarme kirişte oluşan ilk çatlaktan sonra çekme bölgesinin en alt

kısımında bulunan liflerde betonun çekme dayanımının maksimum değeri aşılmıştır ve çekme donatısı ise akma sınırına ($\epsilon_s < \epsilon_{sy}$) henüz ulaşmamıştır. Bu durumda, basınç bölgesinde betonun gerilme dağılımı aksenal yük altındaki gerilme-şekil değiştirme ($\sigma-\epsilon$) eğrisine benzemektedir. Basınç bölgesindeki en üst kısımda bulunan liflerdeki birim kısalma ise maksimum gerilme değerine karşılık gelen deformasyon (ϵ_{co}) değerine henüz ulaşmamıştır.



Şekil 3.10. Beton ve çeliğe ait gerilme-şekil değiştirme eğrisi.(Özhan, 2012)

Betonarme kirişe uygulanan yük seviyesi arttığında, eğilme momenti büyür ve daha sonra belirli bir yük seviyesinde çekme donatısı, akma birim uzama sınırına ulaşır. Kirişin basınç bölgesinin en dış kısmındaki liflerde şekil değiştirmeler ϵ_{co} değerine ulaşmadığı için bu liflerdeki beton basınç gerilmeleri f_{ck} değerinden küçüktür. Çelik donatı aktığı için, çelik donatıdaki çekme kuvveti $F_T = A_s \cdot f_{yk}$ olur. Yük seviyesi artmaya devam ederse, çelik donatıdaki deformasyonlar da artar ve donatı akma sınırına ulaşır. Bu durumda gerilme değerlerinde fazla artış olmamasına rağmen uzama değerlerinde artış görülür. Çelik donatıdaki birim deformasyonun artışı betona göre çok daha yüksek olmaktadır. Bernouilli-Navier hipotezine göre betonarme kiriş kesitindeki şekil değiştirme dağılımı doğrusal olacaktır. Ancak beton ve donatıdaki farklı artış, bu doğrusallığı bozacaktır. Bu doğrusallığın korunması ise tarafsız eksenin yukarı kayması ile açıklanmaktadır. Çelik donatının elasto-plastik davranışı nedeniyle akma sonrası gerilmeler sabit kaldığı için çelik donatıdaki çekme kuvvetleri değişmeyecektir. Bu da betonarme kiriş kesitinde denge şartları sebebiyle beton basınç bileşkesinin durağan kalması anlamına gelir (Ersoy ve Özcebe, 2001; Özhan, 2012).

Kirişe uygulanan yük arttıkça, eğilme momenti büyüyecek ve belirli bir yük düzeyinde

$$F_r = A_s \times f_{yk} = F_c$$

Denk. (3.8)

Yük seviyeleri arttıkça tarafsız eksen yukarı kayar ve daha sonra kirişin basınç bölgesinin en dış kısmında yer alan lifteki beton birim kısalması ε_{co} değerine ulaşır. Bu nedenle kirişin basınç bölgesinin en dış kısmında yer alan lifteki beton basınç gerilmeleri f_{ck} değerini alır. Betonda ezilmelerin başlaması nedeniyle, deformasyonun artmasının ancak gerilmenin azalması ile mümkün olacağı söylenebilir. Kirişin basınç bölgesinin en dış kısmında yer alan lifteki beton birim azalması ε_c , betonun sonuç birim azalması ε_{cu} değerine ulaştığında basınç bölgesindeki beton ezilip dağılır ve donatı aktığı için, kiriş çöküp kırılır. Betonarme kirişin basınç bölgesindeki toplam basınç kuvveti ile kirişin çekme bölgesindeki toplam donatı çekme kuvvetleri arasındaki mesafe olan moment kolu (z) yardımıyla kiriş kesitinin moment taşıma gücü belirlenebilmektedir. Moment kolu (z) kırılma anında ve akmada tarafsız eksen derinliği değiştiği için farklılık gösterebilir. Bu farklılık değeri oldukça küçük kaldığı için momentin akmadan sonra sabit kaldığı hipotezinin getireceği hata oranı oldukça düşük kalır (Ersoy ve Özcebe, 2001; Özhan, 2012).

Betonarme kirişlerin taşıma gücüne erişmesine kadar sergileyeceği davranışlarda çekme donatısı en büyük rolü oynar. Eğilme etkisi altındaki betonarme bir kirişte eğilme momenti değerinin artmasıyla, basınç bölgesinin en dış lifindeki betonun birim kısalması ezilme birim kısalmasına ulaşır ($\varepsilon_{cu}=0.003-0.0035$) ve kiriş taşıma gücünü kaybederek kırılır. Sonuç olarak betonarme kirişlerde çekme bölgesindeki donatı miktarının kirişin davranışını etkilediği ve belirlediği söylenebilir (Eren, 2003; Özhan, 2012).

3.4. Betonarme Kiriş Tasarımı İçin TS 500(2000) Hükümleri

3.4.1. Malzeme özellikleri ve kabulleri

- Betonun malzemesinin çekme dayanımı göz ardı edilir.
- Donatı çubuğu ile etrafını çevreleyen beton arasında tam aderans olduğu düşünülerek, donatı birim şekil değiştirmesi, aynı seviyedeki beton lifi birim şekil değiştirmesine eşit kabul edilir.

- Taşıma gücüne ulaşıldığı zaman, tarafsız eksene en uzak beton basınç lifindeki birim kısalma $\varepsilon_{cu} = 0,003$ alınır.
- Donatı çeliğinin elasto-plastik davranış sergilediği kabul edilir.
- $\sigma_s = E_s \varepsilon_s \leq f_{yd}$
- Tüm donatı çelikleri için ; $E_s = 2 \times 10^5$ MPa, $\varepsilon_{su} = 0,1$ alınır.
- Taşıma kapasitesine ulaşıldığı andaki beton basınç bölgelerindeki gerilme dağılımı için, kabul edilebilirliği deneysel verilerle ispatlanmış herhangi bir dağılım kullanılabilir. Fakat hesaplarda çok daha kola olması için hakiki basınç gerilmesi dağılımı yerine, alt tarafta özellikleri karşılayan yani taşıyabilen eşdeğer dikdörtgen basınç bloku kullanılabilir. Blok genişliği olarak, eşdeğer basınç şiddeti olan $0,85 f_{cd}$ alınır. Blok derinliği değerini tarafsız eksen derinliğinin, k_1 katsayısıyla çarpılmasıyla bulunur, $a = k_1 c$. Bu deyiş de uygulanacak olan k_1 değerleri, farklı beton sınıfları için Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3. 2 Beton sınıflarına göre kullanılacak 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

3.4.2. Eğilme elemanlarının boyutları ve donatılar ile ilgili hükümler

- Hesap aksenal basınç değeri $N_d \leq 0,1 f_{ck} A_c$ limitini geçmeyen elemanlar, eğilme elemanları olarak tanımlanıp kabul edilmiştir.
- Kiriş elemanlarının mevcut toplam yüksekliği Şekil 3.10’da detaylandırıldığı gibi, 300 mm’den ve aynı zamanda döşeme kalınlık değerinin üç katından daha az olamaz. Kiriş elemanlarının gövde boyu yani genişliği 200 mm’den az, aynı zaman da kiriş toplam yüksekliği ile kolon genişliği toplamından daha çok olamaz.

3.4.3. Kesme kuvveti hesabı kabulleri

3.4.3.1. Genel kabuller

- Betonarme yapı elemanlarında eğilme momenti ile birlikte etkiyen kesme kuvvetlerinin oluşturduğu asal çekme gerilmeleri, beton ve uygun kesme donatısı ile karşılanacak, asal basınç gerilmelerinin de gövdede ezilme oluşturmayacak bir düzeyde tutulması sağlanacaktır.
- Tasarım kesme kuvveti V_d , mesnet yüzünden “ d ” uzaklığında hesaplanmalıdır. Ancak, mesnet olarak başka bir eğilme elemanına oturan kirişlerde mesnet yüzündeki kesme kuvveti esas alınmalıdır.
- Tekil bir yükün mesnet yüzünden “ d ” veya daha az uzaklıkta etkime olasılığı bulunan durumlarda da, mesnet yüzünde hesaplanan kesme kuvveti temel alınmalıdır.

3.4.3.2. Hesapta uygulanacak kabuller

- Kesme güvenliği için $V_r \geq V_d$ koşulu sağlanmalıdır. Yan taraftaki denklemde, V_d tasarım kesme kuvveti, V_r ise kesitin kesme dayanımıdır. Kesitin kesme dayanımı, beton katkısı (V_c) ve kesme donatısı katkısının (V_w) toplanması ile elde edilir. ($V_r = V_c + V_w$)
- Etriye katkısı ise $V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d$ denklemi yardımıyla hesaplanır.
- Tasarım kesme kuvveti eğik çatlama dayanımına eşit veya ondan az ise ($V_d \leq V_{cr}$) kesme donatısı hesabına gerek yoktur. Ancak bu durumda, minimum etriyenin bulundurulması zorunludur. Minimum etriye hesabında $\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w$ koşulu sağlanmalıdır.
- Yüksek asal basınç gerilmeleri nedeni ile gövde betonunun ezilmesini önlemek amacıyla, hesap kesme kuvveti $V_d \leq 0,22 f_{cd} b_w d$ formüldeki gibi sınırlanmıştır. Bu koşul sağlanamazsa, kiriş kesit boyutları büyütülmelidir.
- Kesme dayanımını sağlamak için bireysel çubuklar (düşey ve yatay etriye, firkete, çiroz vb.) ve hasır donatı kullanılır. Etriye aralığı kiriş faydalı yüksekliğinin yarısından fazla olamaz ($s \leq d/2$). Ayrıca, $V_d > 3V_{cr}$ olan durumlarda, etriye aralığı yukarıda verilen değer yarısını aşamaz ($s \leq d/4$)

3.5. Betonarme Elemanlarda Yüksek Sıcaklık Etkileri ve Bazı Yönetmelikler

3.5.1. Betonarme eleman tasarımlarında kullanılacak yangın eğrisi

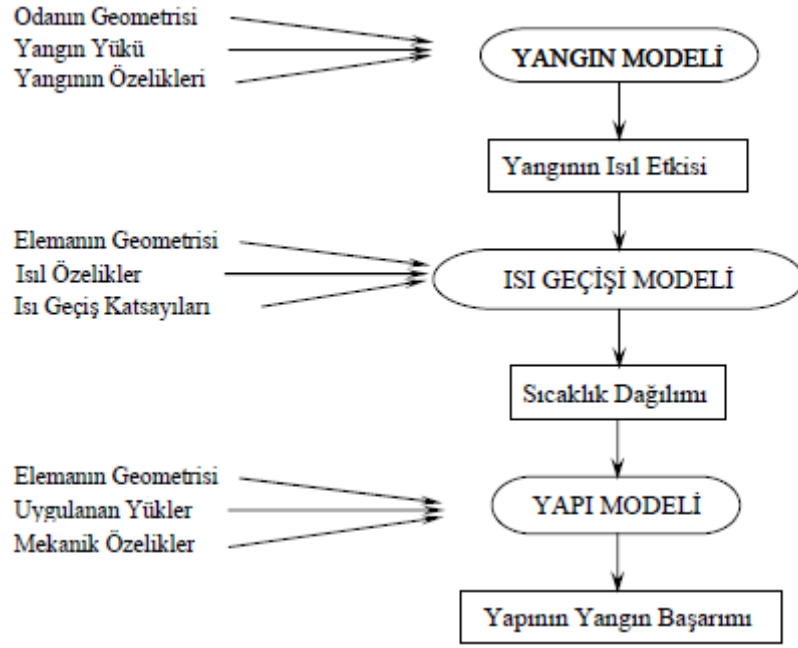
Yangın başarımını herhangi bir yapıya ait elemanın yangına maruz kaldıktan sonra yangın etkisine karşı hem dayanım hem de dayanıklılık ölçüsü olarak tanımlayabiliriz. İşte bu yangın başarımında en önemli parametre yangın davranışıdır. Bu davranışı sıcaklık-zaman ilişkisi ile tanımlanmaktadır.

- Klasik yangınlar (ISO834, ASTM E119, Hidrokarbon)
- Oda yangınları (Parametrik, Pencere yangınları)
- Bölge Modelleri (Tek bölge ve ileri bölge modelleri)
- Alan Modelleri (İleri yangın ve duman modellemesi)

Hem oda yangınları hem de standart yangınlar basit model olarak, alan modelleri ve bölge modelleri ise ileri modeller olarak varsayılmaktadır.

Dünya üzerinde yangın başarımalarının belirlenmesi için birçok yangın veya yüksek sıcaklık deneyleri yapılmaktadır. Bu deneyler birebir ölçekli veya ölçekli örnek elemanlar üzerinde yapılmaktadır. Yapılan bu deneylerde standart yangın eğrileri aslında sıcaklık zaman eğrileridir. Özellikle herkes tarafından daha çok kullanılan eğrilerin başında ISO834 ve ASTM E119 bulunmaktadır.

Yukarıdaki durumun aksine oda yangınlarında ise etrafta mevcut olan hem yangın yükü hem de havalandırma durumlarıyla ilgili olarak sahici sıcaklık-zaman eğrisi de kullanılabilir. Bahsedilen bu eğride klasik yangından başka olarak sönme kademesi de anlaşılabilir. Fakat yangının sönme kademesine ulaşıncaya kadar klasik ve hakiki sıcaklık-zaman eğrileri gereğince tayin edilen sıcaklık dağılımlarının işlevsel olarak birbirleri ile aynı olduğu ifade edilebilir.



Şekil 3. 12. Yangın etkisindeki bir yapının yük taşıma kapasitesine ilişkin hesap akış diyagramı (Burnaz, 2010)

Bir yangının temsil edilmesinin en kolay yolu standart yangın eğrileridir. Burada sıcaklık-zaman ilişkisi havalandırma ve sınır koşullarından bağımsız olarak önceden tanımlanmaktadır. Bu eğrilerin ortaya çıkmasındaki sebepleri tarihsel olarak sıralamak gerekirse yapı malzemeleri veya yapı elemanları üzerinde sınıflandırma yapabilmek veya doğrulama sebebiyle yangın dayanım fırın deneyleri amacıyla ortaya çıkmıştır (Burnaz, 2010)

ISO834’de verilen sıcaklık-zaman eğrisi;

$$T - T_0 = 345 \log (8 t + 1) \quad \text{Denk. (3.9)}$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Basitleştirilmiş ASTM E119 sıcaklık-zaman eğrisi;

$$T = 750 \left(1 - e^{-379553 \sqrt{\frac{t}{60}}} \right) + 170,41 \sqrt{\frac{t}{60}} + T_e \quad \text{Denk. (3.10)}$$

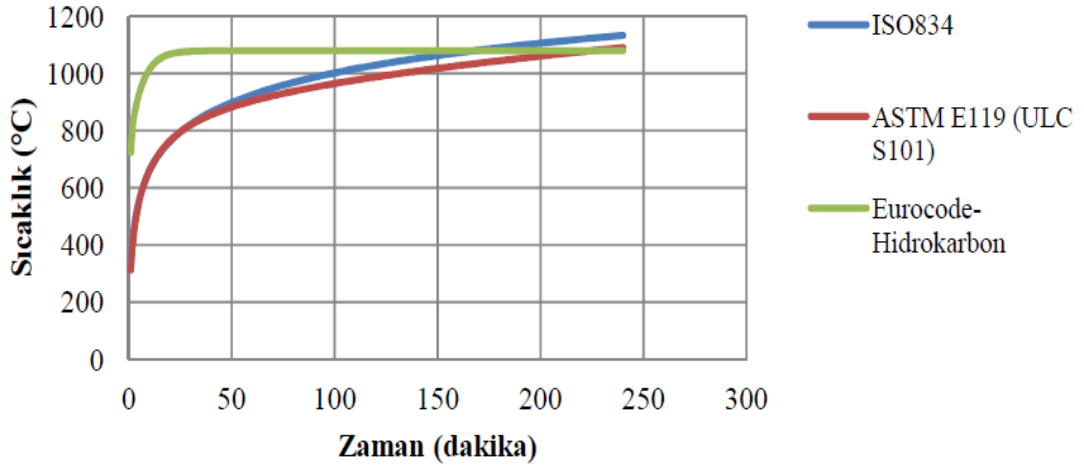
bağıntısıyla verilmektedir.

Eurocode hidrokarbon eğrisi olarak anılan ise;

$$T = 1080(1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,675e^{-2,5t}) + T_0 \quad \text{Denk. (3.11)}$$

şeklindeki sıcaklık-zaman eğrisini standart yangın olarak tanımlamıştır.

Standart Sıcaklık- Zaman Eğrisi



Şekil 3. 13. Üst kısımda isimleri vurgulanan standart yangınlara ilişkin sıcaklık-zaman eğrileri grafiği (Hacıemiroğlu, 2014)

Şekil 3.13 'de görüldüğü üzere ASTM E119 ve ISO834 formüller yardımıyla elde edilen sıcaklık-zaman eğrileri birbirlerine bir hayli yakın konumdadırlar. Yangın durumunun meydana geldiği bir alanda mevcut konumda bulunan duvarlar, bölmeler, döşemeler ve tavan kısımlarının yanması sonucunda oluşacak enerjilerin bütün hepsi yangın yükünü meydana getirmektedir. Yangına maruz kalınacak süre ise bir bölüm içinde yangın durumunun standart sıcaklık-zaman eğrisinden alınan verilere göre herhangi bir söndürme işlemi olmadan yangının devam ettiği süre olarak tanımlanır. Yangın yükünün yardımı ile bu süre belirlenmektedir. Biz ise yaptığımız bu çalışma kapsamında ortamda devamlı olarak yangını oluşturan yanıcı malzemelerin varlığından ötürü yangının en az 60 dakika daha devam ettiğini varsayacak olursak deney numuneleri 60 dakika yüksek sıcaklıklı fırında hedef derecelerde ısıya maruz bırakılmıştır (Hacıemiroğlu, 2014).

3.5.2. Betonarme elemanların hedeflenen yangın etkilerine karşı başarımlarının belirlenmesinde kullanılan yöntemler

Yüksek sıcaklık etkilerine maruz kalan elemanların başarımlarının belirlenmesinde uygulanabilecek üç seçenek vardır. Bunlar;

- Yangın deneyi ile alakalı metotlar:

Karmaşık ve aynı zamanda büyük yapıları düşünmek gerekirse standart yangın etkisindeki bir betonarme elemanın yangın etkisini belirlemek için yapılan deney yöntemi çok pahalı olmaktadır. Bu bölümde deney sonuçlarının gerçekçi olabilmesi ancak ve ancak büyük yapılarda mevcut olarak bulunan elemanlardaki aynı boyutlara, gerilme seviyelerine ve mesnetleme koşullarına sahip olması koşuluyla yangına maruz kaldıkları andaki tepkileri gerçekçi olarak belirlenebilmektedir. Aynı zamanda bina içinde oluşan ısıl hareket yangının başarımlı kapasitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Bu metotla uygulanacak deneylerin yapılabilmesi için uygulanacak olan hazırlıklar çok fazla süre işgal etmekte ve deneyin kurulum-uygulama maliyetleri oldukça fazla olmaktadır. Bu durum için mevcut en iyi örnek, İngiltere Cardington'daki büyük bir uçak hangarında yapılan tam boyutlu yangın deneyleridir (Khoury, 2000).

- Usullerle alakalı metotlar:

Yüksek sıcaklık deneyleri ve yangın mühendisliğinde yapılan uygulamalar genellikle talimatlarda belirtilen metotlarla yapılmaktadır. Yönergelere bağlı metotlar birçok açıdan sınırlayıcıdır. Belirtilen üç adet yöntem arasında ekonomik olarak en uygun olanı fakat doğruluk payı en az olanıdır. Bu metotla bize ulaşan sonuçların güvenilirlik düzeyi önemli seviyede farklılık teşkil etmektedir. Çoğu zamanda emniyetli tarafta kalmasına rağmen bazen güvensiz sonuçlar doğurabilmektedir (Hacıemiroğlu, 2014).

- Performansa dayalı metotlarla hedeflenen yangın başarımlarının tayin edilmesi:

Yangın davranışlarının belirlenmesinde kullanılan metotlar arasında performansa dayalı metotlar usullerle alakalı metotlardan hem esnek hem de aynı zamanda daha etkili bir değerlendirme sağlayabilmektedir. İncelenmek istenen yangın koşulları farklı yangın durumları, geometrileri, malzeme özellikleri ve aynı zamanda yükleme veya mesnet şartlarına göre araştırabilmektedir. Bütün bu durumlar bir hayli kısa zaman dilimi içerisinde gerçekleştirilmekte ve bundan ötürü yangına maruz kalan elemanın tutumu göçmeye varıncaya kadar çok iyi bir biçimde anlaşılabilir. Öte taraftan bilgisayar programları vasıtasıyla yangın deneyinde yapılması çok zor olan koşulların modellenmesi mümkündür. Performansa dayalı metot da yapının veya yapı elemanın, soğutulma aşamasına kadar bütün yangın durumunda meydana gelen süreçlerin tamamlanmasına izin verilip yıkılmasına müsaade edilmektedir (Khoury, 2000).

Performansa dayalı yöntemler, artan zorluk ve karmaşıklıklarına göre üç kategoride sınıflandırılmaktadır:

- Basit yöntemler
- Termomekanik sonlu elemanlar çözümlenmesi
- Termohidromekanik sonlu elemanlar çözümlenmesi

Deneylemiz program destekli olmadığı için bu üç performansa dayalı metotların basit yöntemlerini açıklamamız uygun olacaktır.

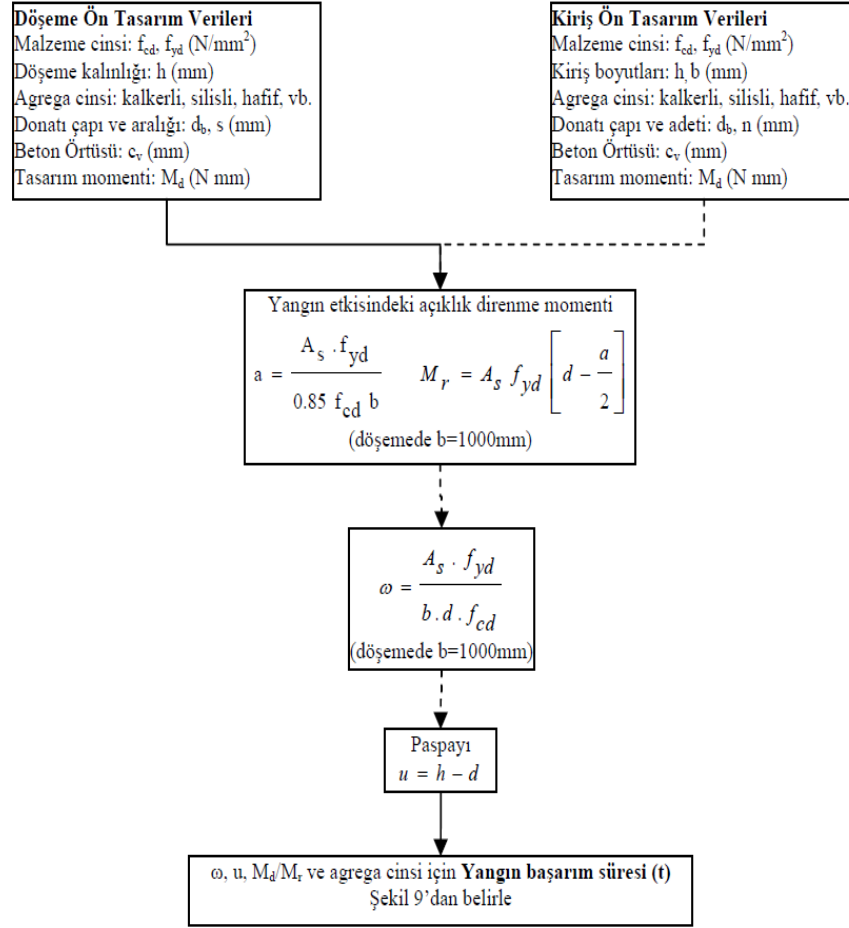
3.5.2.1. Basit yöntemler

Yangın durumundan ötürü oluşan yüksek sıcaklıklara maruz kalan bir elemanın kesitinin taşıma kapasitesinin hesaplanıp belirlenmesinde kullanılmaktadır. Standart yangın etkisi altında azami gaz sıcaklığına maruz kaldığı kabul edilen yapı veya elemanlarında uygulanabileceği kabul edilmektedir. Kesit elemanlarında yukarıda bahsedilen bu etki sonucunda sıcaklık dağılımları ile alakalı şekil veya tablolardan alınabilmesinin yanı sıra aynı zaman da hesaplamalar yoluyla da bulunabilmektedir. Yapı ne kadar yangına maruz kaldığı ile alakalı yapının dayanımı farklı sıcaklık değerlerine göre farklılaştırılan malzeme özellikleri dikkate alınmak yoluyla hesapları yapılabilmektedir (Hacıemiroğlu, 2014).

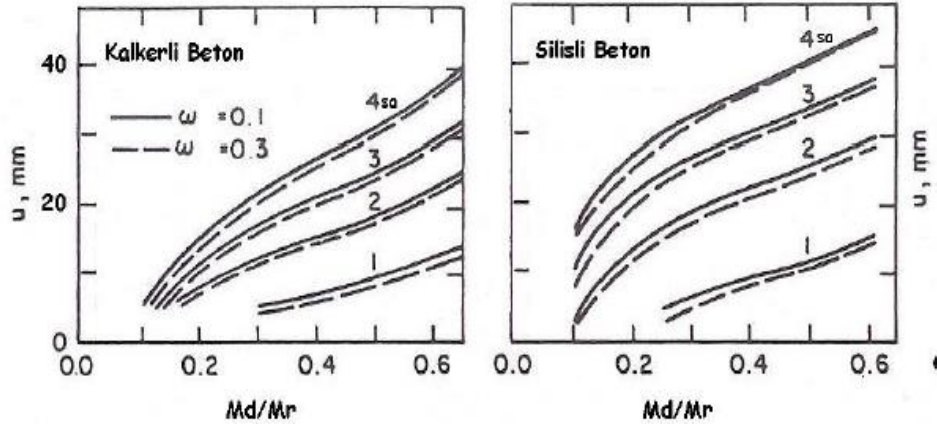
Betonarme elemanların yangın ve yüksek sıcaklık etkilerine karşı daha dirençli olabilmeleri için geliştirilen bazı basit yöntemler vardır. Bunlardan bazıları: Eurocode'da tavsiye edilen Hertz yöntemi, TS EN 1992-1-2, 2006, 500°C yöntemi, BS8110 ve ACI216-R89 standartlarında önerilen yöntemlerdir. Betonarme hem döşeme hem de kiriş elemanları için yangın davranışını olumlu yönde hesaplanması için kullanılabilen bu basit metotların hesap akış diyagramları alt tarafta verilmektedir.

ACI216R-89'a göre hesap:

Bu yönteme (ACI 216R-89, 1994) göre yangın başarımı hesabının akış diyagramı aşağıda Şekil 3.14'te verilmektedir.



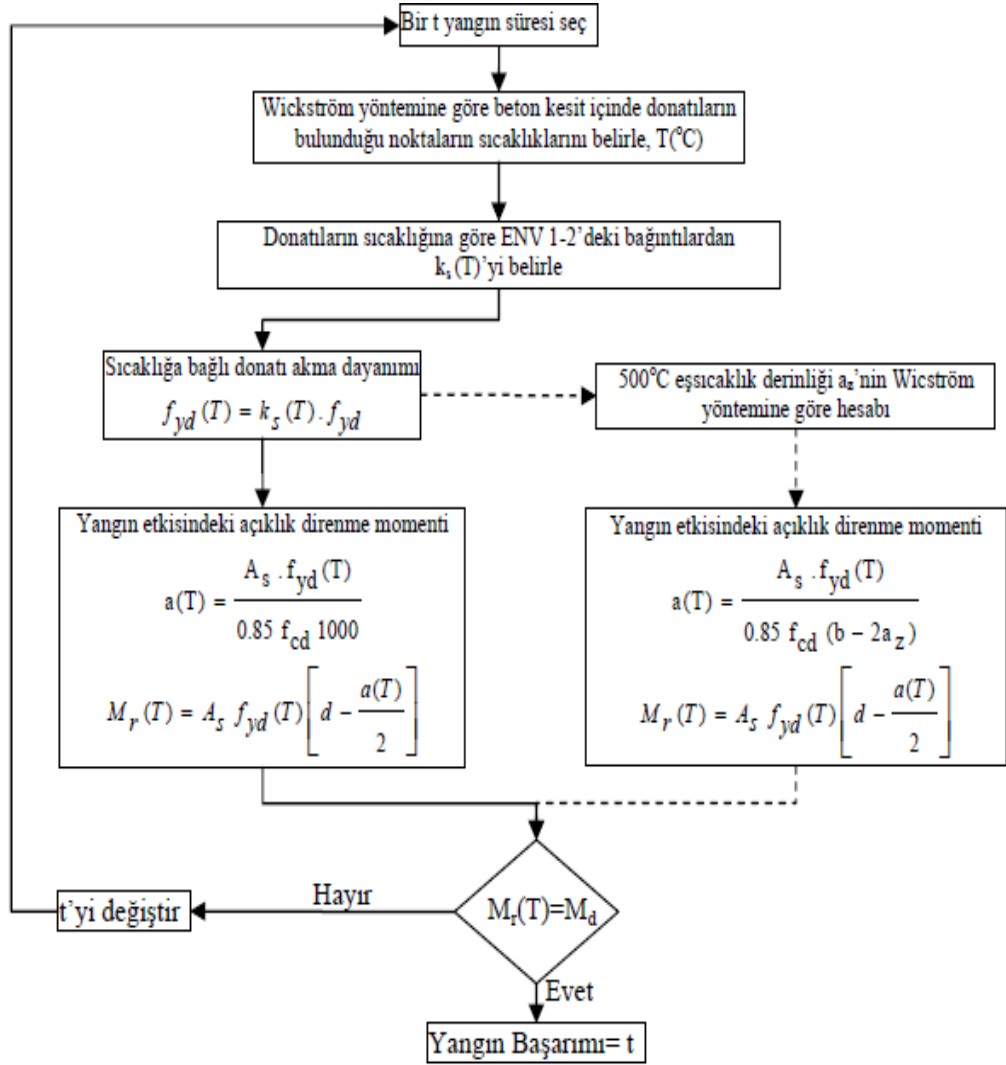
Şekil 3. 14. Yangın başarımlı için ACI216-R89'a göre hesap akış diyagramı



Şekil 3. 15. Paspayı (u), mekanik donatı oranı (ω), moment oranı (M_d/M_r) ve agrega cinsine göre betonarme döşeme ve kirişlerin yangın başarımlı süresi eğrileri (ACI 216R-89, 1994).

500°C Yöntemine göre hesap:

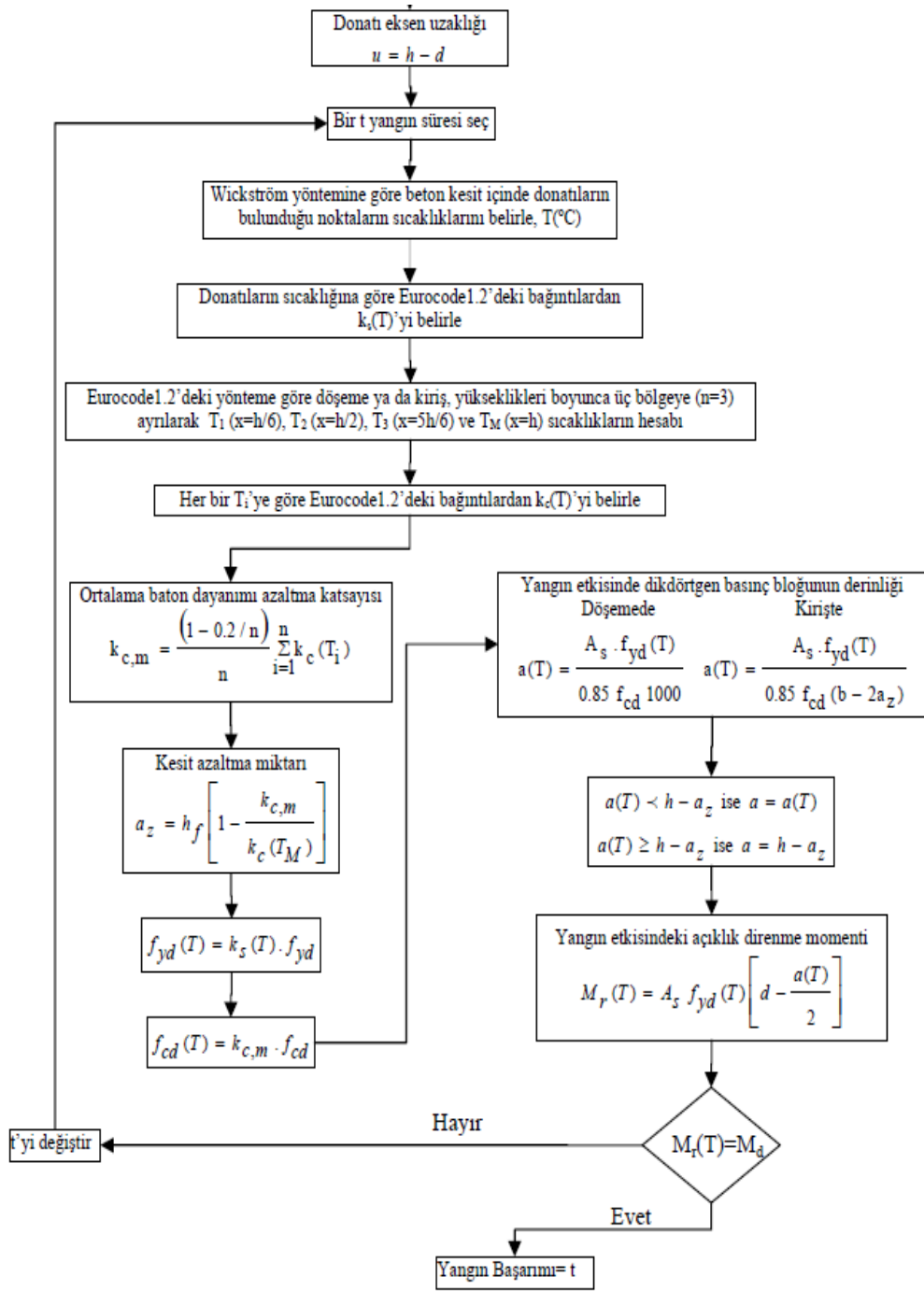
Bu metotta ise (Righberth, 2003) sıcaklık değerinin 500°C üzerine çıktığı kısımlarda betonun basınç dayanımını sıfır olarak, sıcaklık değerinin 500°C'nin altına indiği kısımlar da ise oda sıcaklığındaki beton dayanımı ile aynı olduğunu kabul ederek hesap akış diyagramı oluşturmuştur (Şekil 3.15).



Şekil 3. 16. 500°C yöntemine göre hesap akış diyagramı (Righberth, 2003)

TS EN 1992-1-2, 2006'ya göre hesap:

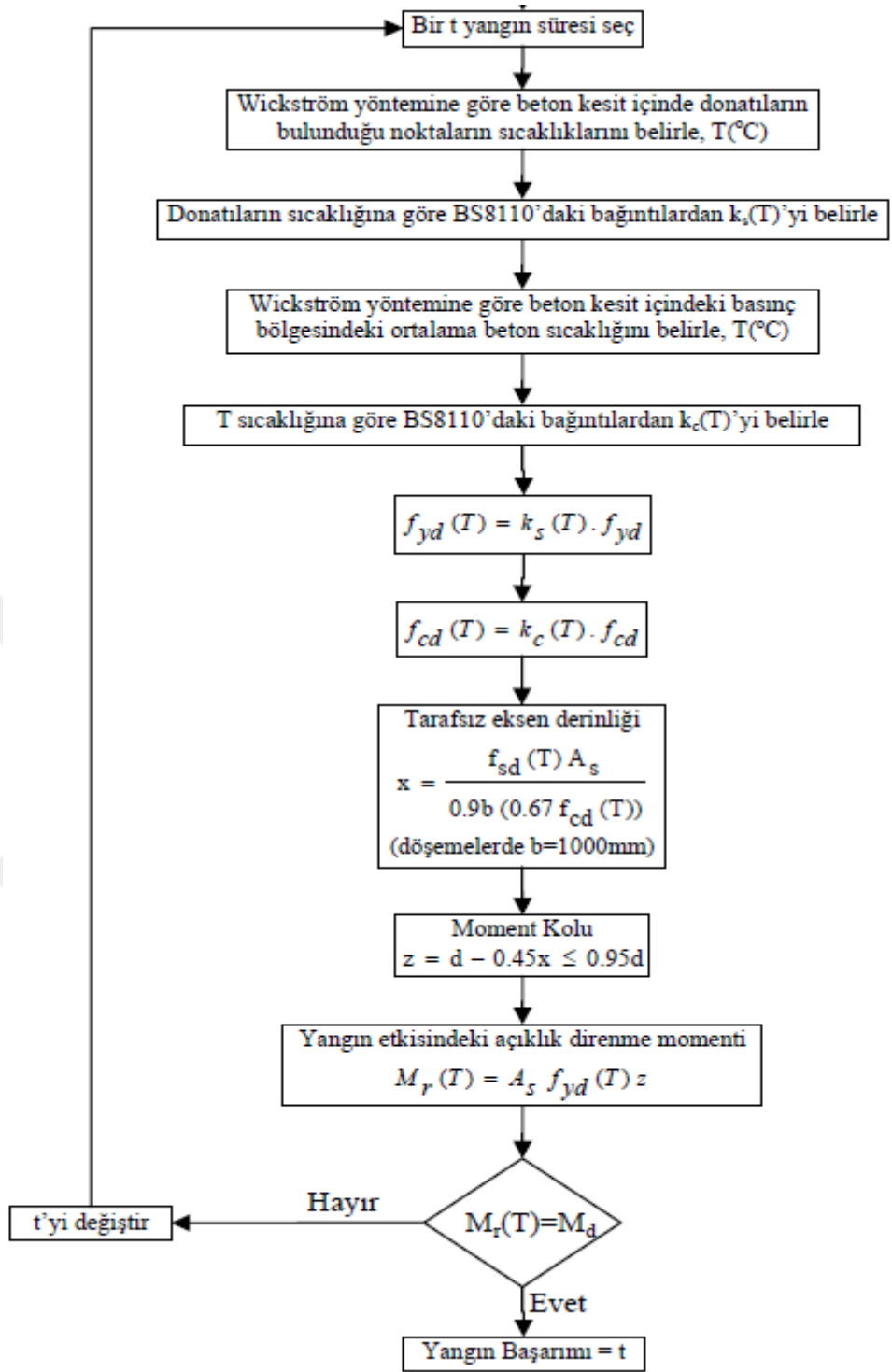
Bu basit yönteme göre yangın başarımları süresi hesabının akış diyagramı aşağıdaki Şekil 3.16'da verilmektedir.



Şekil 3. 17. TS EN 1992-1-2, 2006 'ya göre hesap akış diyagramı

BS8110'nun 2. Kısımına Göre Hesap:

Bu yöntemde belirtilene göre yangın başarım süresi hesabının akış diyagramı aşağıdaki Şekil 3.18'de verilmektedir.



Şekil 3. 18. BS8110'nun 2. kısmındaki yöntemle göre Hesap akış diyagramı

4. MATERYAL ve YÖNTEM

Kuramsal temeller bölümünde bir yapı elemanı tasarlanırken ne gibi parametrelere dikkat etmemiz gerektiğini bize açıklayan TS 500-2000 yönetmeliğindeki kararlar hakikat alınarak dikdörtgen kesitli bir yapı elemanı olan betonarme kirişin dizayn ayrıntıları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bir yüke maruz kaldığında kesme çatlakları oluşacak şekilde yani kesme etkisi ile yıkılacak şekilde dizayn edilmiştir. Haliyle yüksek sıcaklık tesirlerine maruz kalacak olan kesme donatıları yani hem çelik hem de geogrid materyallerinin mekanik özellikleri nelere dikkat edilerek belirlendiği detaylı bir biçimde anlatılmıştır. Son olarak deney çalışmalarında ne gibi hazırlıklar yapıldığı, hangi malzeme, düzenek ve aletlerin kullanıldığı aynı zamanda deney verilerinin alet ve düzenekler yardımıyla değerlendirilmesi gibi konularda detaylı açıklamalar yapılmıştır.

4.1. Malzeme Özellikleri

Kiriş numunelerinde kullandığım beton, donatı, geogrid gibi materyallerin mekanik özelliklerini detaylı bir şekilde açıklayan deneylerin neticeleri hakkında gerekli malumatlar verilmiştir.

4.1.1. Beton

Numunelerde kullanılacak beton için uygun hava koşullarının olacağı bir günde dökümü yapacak olan trans-mikser döküm alanına çağrılmıştır. Şekil 4.1'deki gibi hazırlanan donatı kafesleri kalıpların içerisine yerleştirilerek döküm için hazır hale getirilmiştir. Bütün deney elemanlarına beton dökümü aynı gün ve tek seferde yapılmıştır. Kiriş numunelerinin boyutunun küçük olması sebebiyle en büyük agrega çapının 15 mm olması ve 28 günlük dayanımının 45 MPa olacak şekilde özel olarak istenmiştir. Beton malzemesi Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında FBA-2017-491 numaralı projeden sağlanan kaynak ile temin edilmiştir.

Her sıcaklık değeri için ayrı ayrı beton dayanımını test etmek amacıyla (her sıcaklık değeri için 3'er adet) toplamda 30 adet 10x10x10 mm boyutlarında küp numuneler alınmıştır. Bütün beton numuneleri ve kiriş numuneleri kür havuzunda 28 gün boyunca

bekletilmiştir. Bu 28 günün sonunda oda sıcaklığındaki beton dayanımını test etmek amacı ile Erzinan Üniversitesi 13 Mart Yapı Mekaniği Laboratuvarındaki beton örneklerinin (numunelerinin) basınç dayanım değerlerini belirlemek için ELE marka ulusal yükleme cihazından yardım alınmış ve sonuçlar tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. Beton dökümü için hazırlanan kalıplar

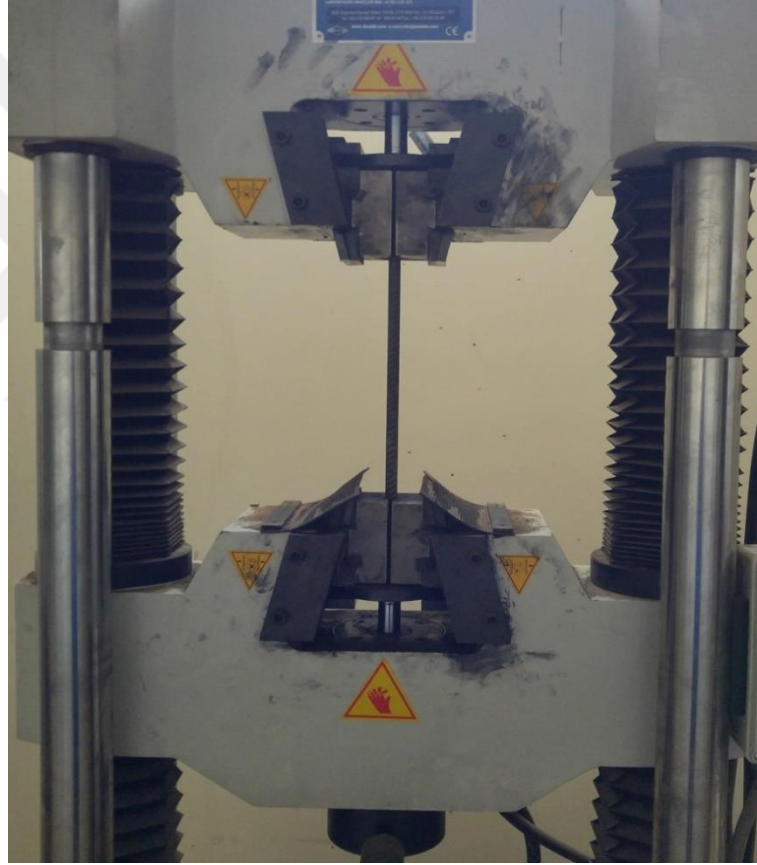
Betonarme elemanların maruz kaldıkları sıcaklık değerlerine ait küp deney numunelerinin basınç dayanımı sonuçları hakkındaki tespitler araştırma bulguları kısmında detaylı olarak gösterilmiştir. Burada vurgulanması gereken kirişlerin maruz kaldığı sıcaklık değeri ile aynı sıcaklıklara maruz kalan küp numuneleri de kirişlerin deneye tabi tutulduğu aynı günde basınç deneyine tabi tutulmuştur.



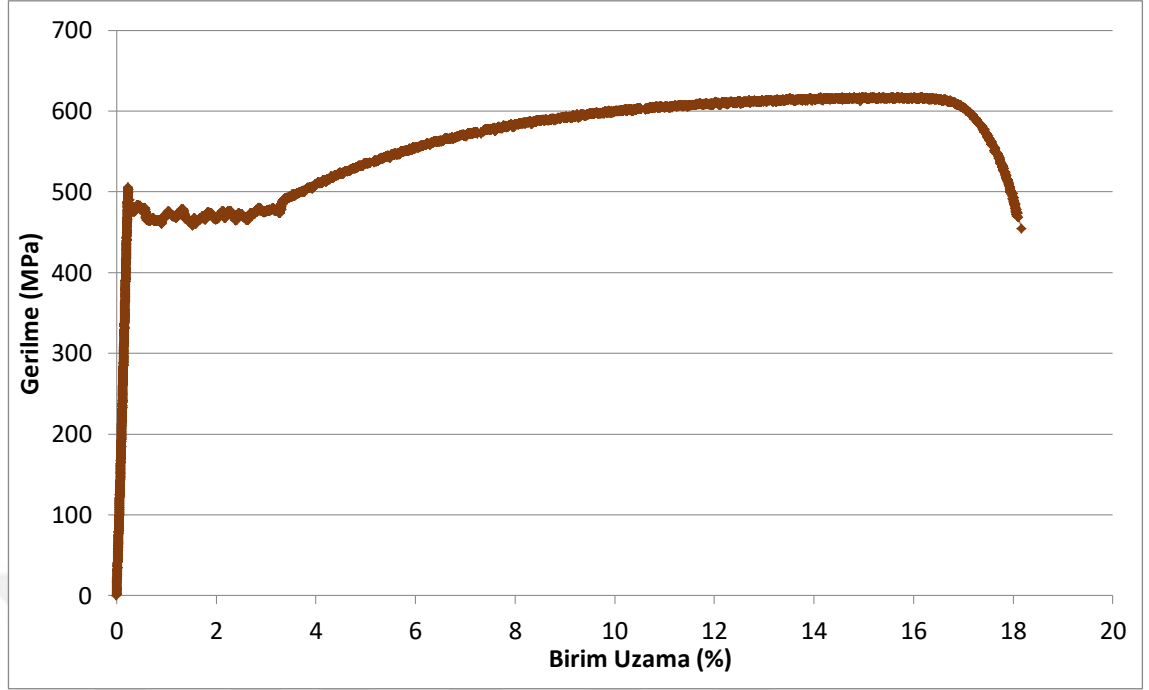
Şekil 4.2. Beton dayanım tespiti

4.1.2. Çelik donatılar

Deney numunelerinde kullanılacak olan donatılar tek seferde ve bir üretimden alınmıştır. Donatıların mekanik özellikleri ise S420 sınıfındadır. Numunelerin çekilmesini sağlayan aletin çenelerinin 10'ar cm olması göz önünde bulundurularak çekmeye maruz kalan donatı boyunun 30 cm olması sağlanmıştır ve bu sebeple toplam uzunluğu 50 cm olarak ayarlanmıştır (Şekil 4.3). Elde edilen deney sonuçlarına göre gerilme-birim uzama grafiği Şekil 4.4'teki gibidir. Çelik donatıların değerlendirilmesi açısından çok önemli olan akma ve kopma durumunda oluşan hem gerilme hem de uzama değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Çelik donatı mekanik özelliklerinin belirlenmesi



Şekil 4.4. Klasik inşaat çeliği için birim uzama-gerilme grafiği

Tablo 4.1. Çelik donatı mekanik özellikleri

Malzeme	Akma dayanımı (MPa)	Kopma dayanımı (MPa)	Akmadaki uzama (%)	Kopmadaki uzama (%)	Elastisite Modülü (MPa)
Çelik çubuk	505,380	621,980	0,235	18,1	$2,15 \times 10^{15}$

4.1.3. Geogrid çekme düzeneği

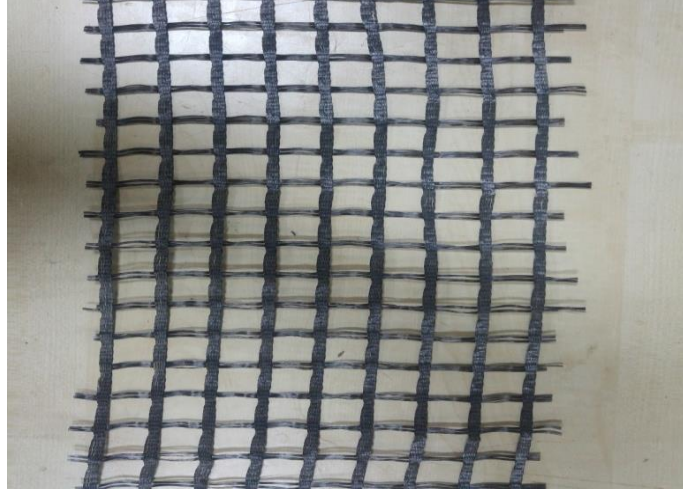
Geo-sentetik yapıları arasından yer alan en önemli ürünlerin başında geogrid gelmektedir. Geo-sentetiklerin birçok işlevi vardır. Bunlar; ayırma drenaj koruma, erozyon, sızdırmazlık, filtrasyon olarak sıralanabilmektedir. Geogrid malzemeler yüksek çekme modülüne sahip olduklarından dolayı özellikle zeminlerin çekmeye karşı mukavemetini arttırmak amacı ile kullanılmaktadır. Geogridleri üretim metotlarına göre şu bölümlere ayırabiliriz;

- Bu ve buna benzer geogrid malzemeleri genel olarak kullanılan elyaf malzemelerinin örülme metotları ile imal edilir. Aynı zaman da sıcak ortamlar

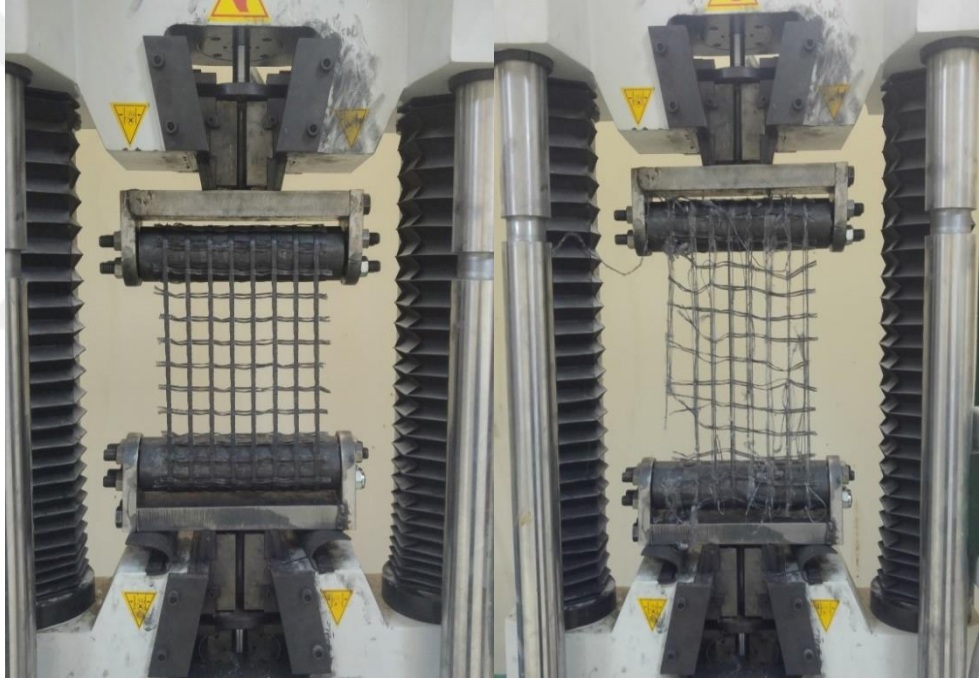
da gerilebilen polipropilen ve polietilen gibi polimerlerin gerilmesiyle elde edilir.

- Ekstrude olarak imal edilen Ekstrude tipindeki Geogridler ekstrude olarak üretilmiş polyester veya polipropilen çubukların ilave kısımlarından ısı muamelesi ile bütünleştirilmesi sonucu yapılır.
- Bununla birlikte geogrid malzemeleri hem tek yönlü hem de çift yönlü olarak üretilmektedirler. Tek taraflı geogrid malzemeleri detaylandırmak gerekirse, tek yöndeki çekme gerilmesinin zıt yöndeki çekme gerilmesine kıyasla muazzam boyutta güçlü olduğu örgülü tip geogridlerdir. Çift taraflı geogrid malzemeleri ise mukavemetin her iki tarafta şart olduğu stabilizasyon kasıtlı kullanılmak için hususi olarak geliştirilmiş, yüksek mukavemetli geogrid malzemeleridir. Geogrid malzemelerde yüksek mukavemetli malzemelerin kullanıldığı bu yönler makine yönü (MD) ve bu doğrultuya dik olan taraf ise (CMD) olarak isimlendirilir.

Bu çalışmada kuramsal temeller kısmında bahsetmiş olduğumuz tek yönlü polyester örgülü geogrid kullanılmak için üretim tesisinden hazır olarak elde edilmiştir. ASTM D6637/D6637M-15 ve ASTM D4595-11 ölçünlerine göre geogridin mekanik özellikleri uygun bir şekilde belirlenmiştir. İki ayrı standart deneyleri yapılmıştır. ASTM D4595-11 standardına göre 3 adet geogrid örneği 200 mm genişliğinde parçalara ayrılmıştır (Şekil 4.5). Deney yapmak için boyutlarına uygun kesilen bu örnekler geliştirmiş olduğumuz aparata konumlandırılarak Şekil 4.6'daki gibi çekme işlemi yapılmıştır. Her iki standarda göre gerçekleştirilen deneylerde, geogrid malzemesinin sadece makine yönündeki (MY) mekanik özellikleri araştırılmıştır.



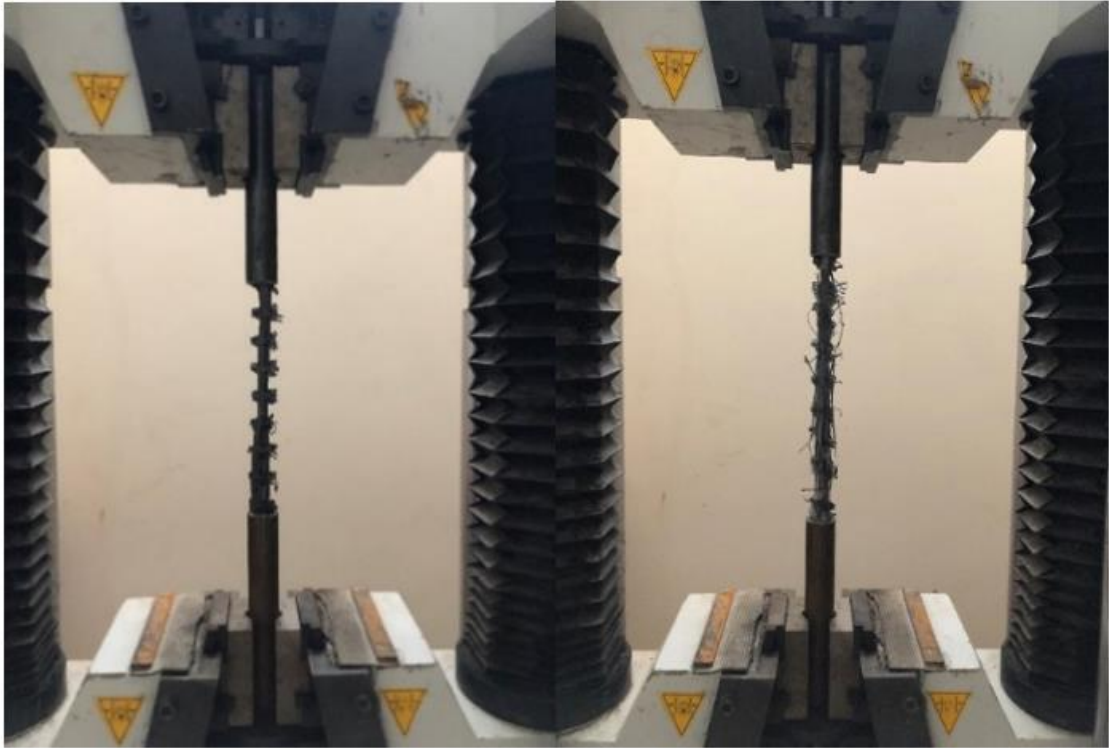
Şekil 4.5. Kesilen geogrid numunesi



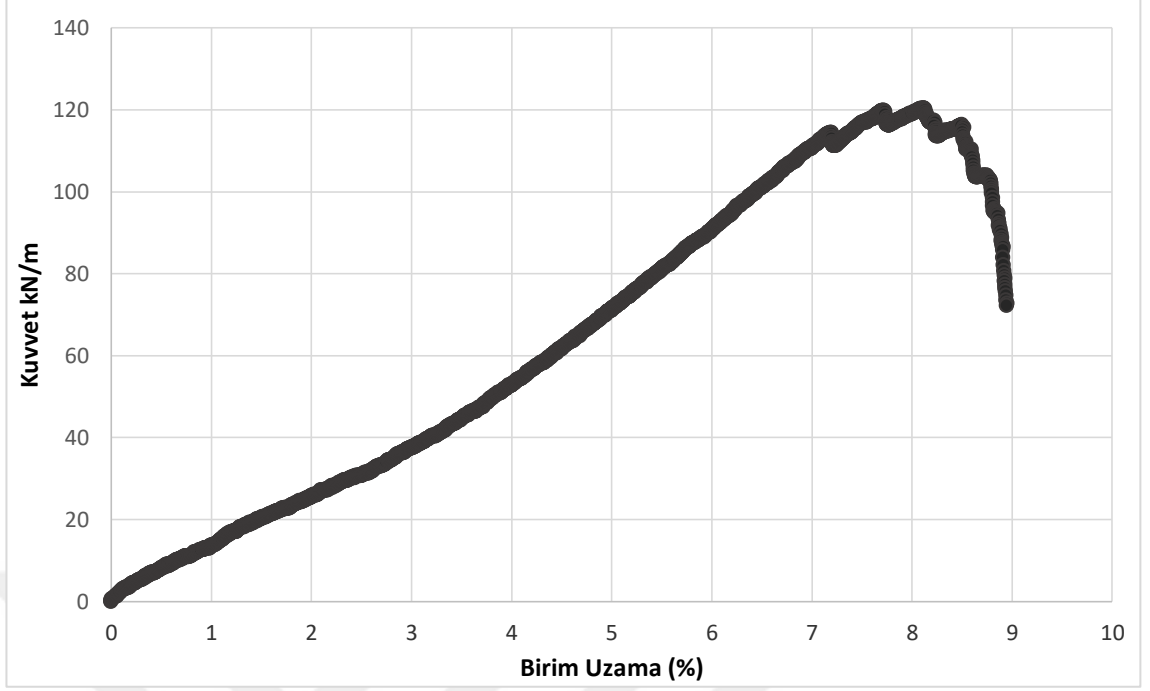
Şekil 4.6. ASTM D4595-11'e göre gerçekleştirilen geogrid çekme deneyi ve kopma anı

Geogrid malzemesinin deney yapıldığı sırada bütün kesitlerin eşit miktarda gerilme alabilmesi için şekilde görülen sisteme mümkün olabileceği kadar hassas bir biçimde konumlandırılmıştır. Düzenli bir deneyin yapılabilmesi için deney yükleme hızı 6 mm/dk olacak şekilde programlandırılmıştır. Deney başlamadan önce deney esnasında ve deneyden sonra alt ve üst silindirik aparatlar arasındaki uzaklık metre yardımıyla denetlenip bilgisayar ortamından elde edilen değerlerin doğruluğu kontrol edilmiştir.

ASTM D6637/D6637M-15 standardı dikkate alınarak geogrid malzemesini çekme deneyine tabi tutabilmek için ayrıca kullanılan çelik boruların içine katlanarak dış olarak kullanılan geogrid malzemesi epoksi yardımıyla çelik boruların içine kuvvetli bir şekilde yapıştırılmıştır. Ayrıca kullanılan bu çelik boru parçaları donatı çekme cihazına konumlandırılarak çekme işlemi yapılmıştır (Şekil 4.7). Yapılan her iki deneylerin sonucunda bize ulaşan değerlerin birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür. Fakat ASTM D4595-11 standartları ile elde edilen veri hassasiyetinin olumsuz anlamda çok daha düşük olabileceğini göz önünde bulundurduğumuzdan ASTM D6637/D6637M-15 standardının anlatmış olduğu metottan bize ulaşan veriler dikkate alınmıştır. Kullanmış olduğumuz bu standartlar sonucunda sahip olduğumuz değerler ile birlikte çizilen kuvvet-birim uzama grafiği Şekil 4.8'deki gibi meydana çıkartılmış ve örneklerin kopma yükleri kN/m biriminden Tablo 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. ASTM D6637/D6637M-15'e göre gerçekleştirilen geogrid çekme deneyi ve kopma anı

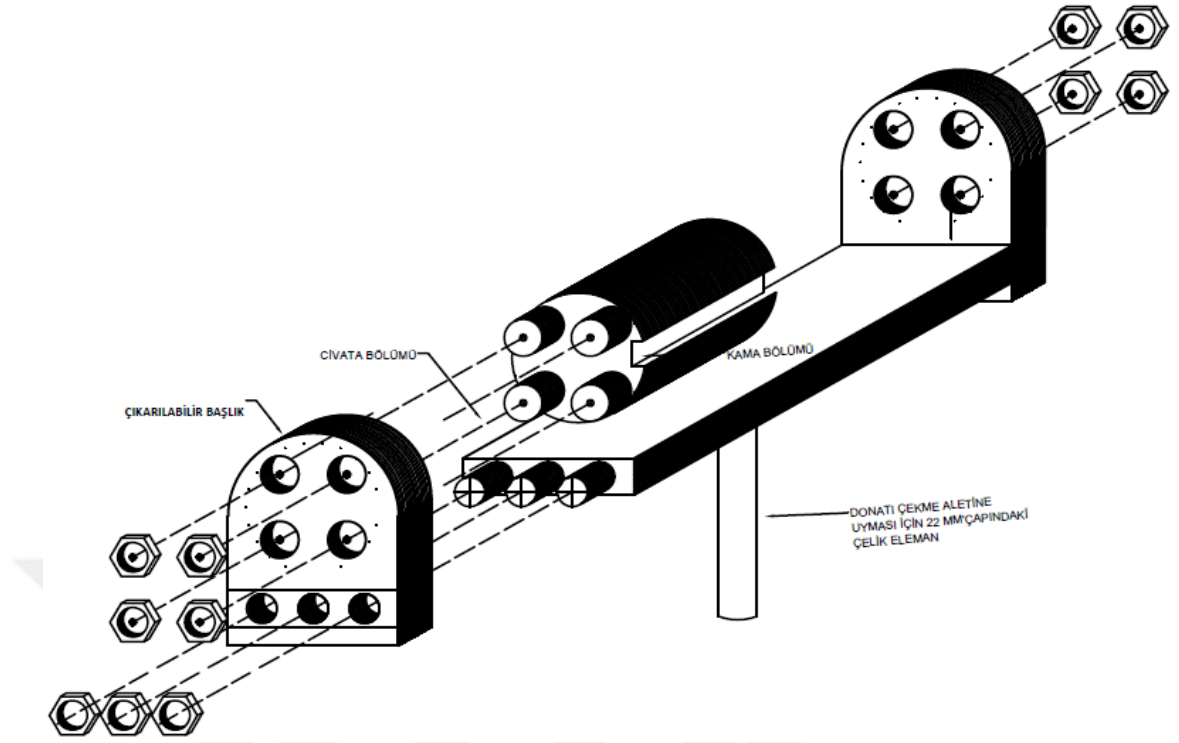


Şekil 4.8. Geogrid kuvvet-birim uzama grafiği

Tablo 4. 2. Geogrid mekanik özellikleri

Malzeme	Kopma dayanımı (kN/m)	Kopmadaki uzama (%)
Geogrid	120,340	9,06

Geogridin kullanım miktarına karar vermek için laboratuvarında belirlenen dayanım ve şekil değiştirme değerlerine bağlı kalınmıştır. Geogridi donatı çekme aletinde dengeye tabi tutabilmek için farklı bir aparat kullanılmıştır. Kullanılan bu aparat başlık kısımlarında 2 adet silindir aparat ve bu silindirlerin takıldığı levhalardan oluşmaktadır. Daha fazla detay Şekil 4.9'da verilmiştir.

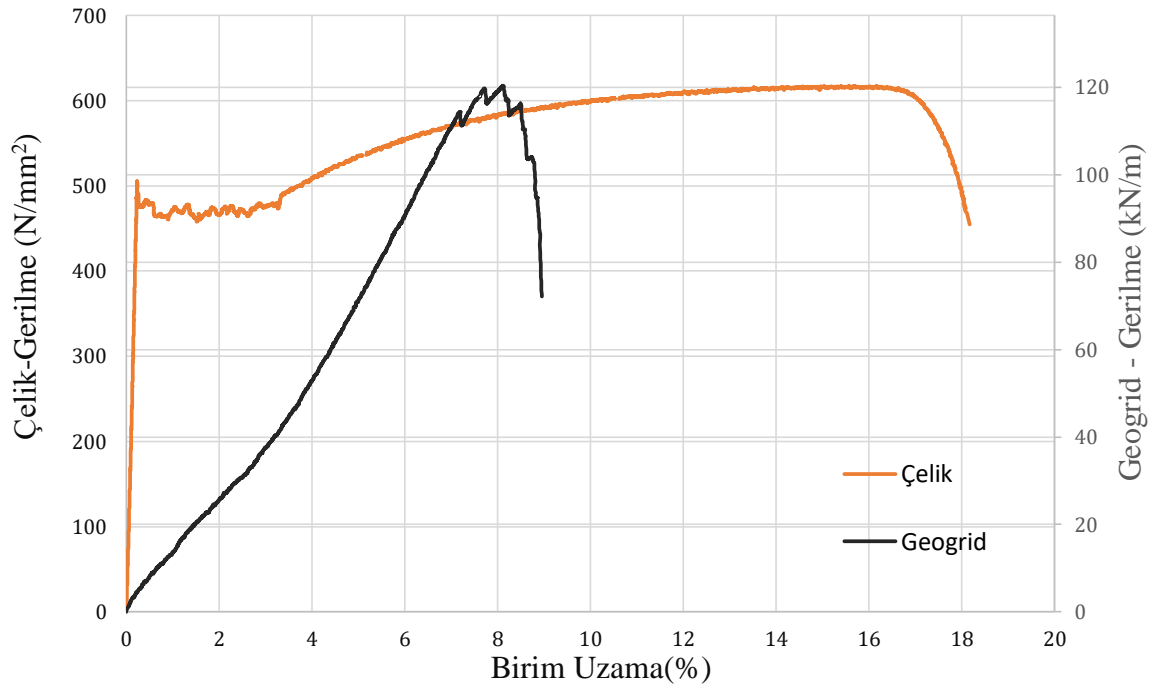


Şekil 4.9. Geogrid çekme aparatı

Geogrid malzemesinin sabitleneceği uç kısımlarının çekme deneyi sırasında herhangi bir hasar görmemesi önemlidir. Bunun için Şekil 4.9'da görülen silindirlerin üzerinde kama yuvaları açılmıştır. Bu kama yuvalarının içerisine geogrid yerleştirilir ve toplamda 2 tur silindir etrafına sarılır. Silindirler kendilerine sarılı olan geogrid numuneler ile birlikte somunlar yardımıyla levhalara sabitlenir. Donatı çekme aletinin çenesinin tutabileceği 22 mm çapındaki dairesel demir ile beraber çekme aletine yerleştirilir ve deney gerçekleştirilir.

4.2. Deney Numunelerinin Tasarımı

Geogrid ve aynı zamanda klasik inşaat çeliğine uygulanan malzeme deneyleri yardımıyla mekanik özelliklerinin sonuçlarına ulaşılmıştır. Ulaştığımız bu değerler neticesinde kiriş elemanlarının dizaynı yapılmıştır. Her iki malzemenin de mekanik özellikleri ayrıntılı ve karşılaştırmalı olarak Tablo 4.3'te verilmiştir. Aynı zaman da kuvvet-birim uzama eğrileri Şekil 4.10'daki grafikte detaylı bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4. 10 Çelik ve geogrid için kuvvet birim uzama grafiği

Farklı sıcaklık değerlerinde deneye tabi tutulmak üzere toplamda 10 adet kiriş numunesi üretilmiştir. Bu numune grupları etriyeler geogrid malzemesi kullanılarak tasarlanmış ve detaylandırılmıştır.

Tablo 4. 3. Çelik, geogrid ve CFRP mekanik özellikleri

Malzeme	Akma dayanımı (MPa)	Kopma dayanımı (MPa-kN/m)	Akma uzaması (%)	Kopma uzaması (%)
Çelik	505,380	621,980	0,235	18,1
Geogrid	-	120,340	-	9,06

TS 500 standardına göre asgari boyutlarda tasarlanan kiriş elemanlarının kesit boyutları 15x20 cm'dir. Kiriş elemanlarının tamamında çekme için kritik olan kısımlarda 3 adet ϕ 16 boyuna donatı basınç kuvvetleri için çok kritik olan bölgede ise 2 adet ϕ 8 donatı konumlandırılmıştır. Mesnetlerin konumlandırıldığı bölgelerde enine donatılar için 10 cm yükün uygulanacağı kiriş orta bölgesinde ise 15 cm aralığa karar verilmiştir. Şekil

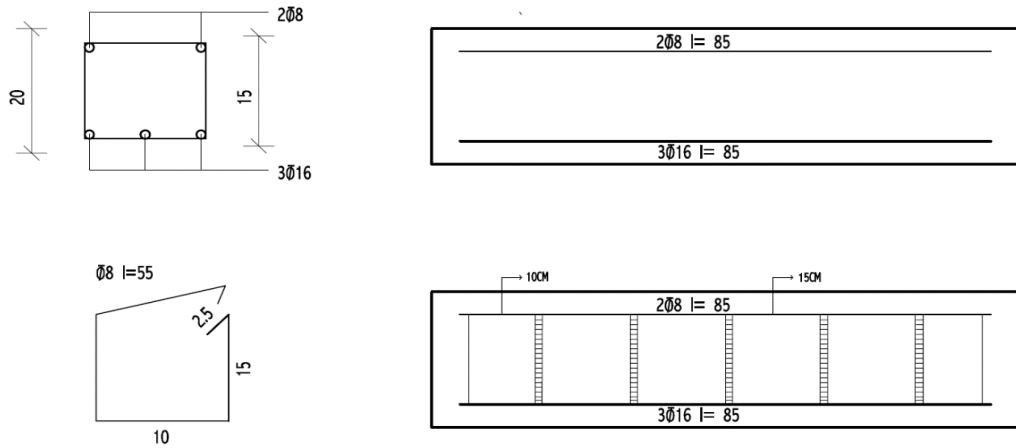
4.11’de geleneksel kapalı etriye olarak geogrid kullanılan kiriş numune tasarımının kesit ve donatı detayları görülmektedir.

TS 500’e göre tasarlanan kiriş numunelerinin detaylı tasarım tablosu Tablo 4.4’de aşağıda verilmiştir.

Tablo 4. 4. Kiriş numuneleri detaylı tasarım tablosu

Çekme Donatısı	Çekme Donatısı Oranı	Kesme Donatısı (Orta Bölge)	Kesme Donatısı (Sıklaştırma Bölgesi)	Kesmeye Karşı Taşıma Kapasitesi F_u^V (kN)	Eğilmeye Karşı Taşıma Kapasitesi (kN)
3 ϕ 16	0,0229	ϕ 8/15	ϕ 8/10	240	170

Elde edilen teorik kesme kuvveti taşıma kapasitesine göre numunelerin taşıma gücünü kaybetmesi beklenmektedir. Bunun sonucunda çekme bölgesinde bulunan donatıların varlığı sayesinde kirişlerin kesme etkisi ile kırılması gerçekleşir.



Şekil 4.11. TS 500’e göre tasarlanmış geogrid etriyeli kiriş boyutları ve donatı detayı

4.2.1. Geogrid etriyeli kirişler

Geogrid malzemeleri etriye olarak kullanabilmemiz için dış sırası iki olacak şekilde üst üste katlanıp ve 80 cm boyunda kesilerek geleneksel kapalı etriyeli numuneler

oluşturulmuştur. Geogrid sargıları kapalı etriye mantığıyla çalıştırmak ve kullanmak için sargıların baş ve son kısımlarını 2,5'er cm uzun olan kısımlarından birbirine geçirip plastik kelepçeler yardımıyla birbirlerine sabitlenmesi sağlanmıştır. Boyuna donatılar etrafına sarım yapılırken her bir boyuna donatıyla kesiştiği noktalarda da daha mukavim durması açısından plastik kelepçe ile birbirlerine tutturulmuştur (Şekil 4.12).



Şekil 4. 12. Hazırlanan geogrid etriyeli kirişler

4.3. Kiriş Numune Gruplarının Adlandırılması

Kiriş numune deneylerinde toplam 10 adet kiriş kullanılmıştır. Bu kiriş elemanları geogrid etriye kullanılması hususundan G grubu ismini almıştır. Aynı zamanda yüksek sıcaklığa maruz kalmalarından dolayı kaç derece sıcaklık ile yakıldıklarını gösteren derece parametresi ise hangi malzeme kullanıldığını belirten kısmın hemen yanına yazılmıştır. “000” olarak tanımlamalar esasen 23°C oda sıcaklığındaki numunelerdir. Ancak kontrol numunesi olduklarını vurgulamak için bu şekilde isimlendirilmişlerdir. Son olarak ise son kısımda kesme yönünden incelendiğini belirten SH kısaltması eklenmiştir. Bu detaylar Tablo 4.4’de resimlendirilmiştir.

Tablo 4. 5. Kiriş numuneler için isimlendirme tablosu

Kiriş numune açıklaması	Kiriş numune ismi
Boyuna Donatısı Çelik, Enine Donatısı Geogrid Olan ve 100°C Sıcaklığına Maruz Bırakılan Kesme Kiriş Numunesi	SS000SH
Boyuna Donatısı Çelik, Enine Donatısı Geogrid Olan ve 100°C Sıcaklığına Maruz Bırakılan Kesme Kiriş Numunesi	SS100SH
Boyuna Donatısı Çelik, Enine Donatısı Geogrid Olan ve 100°C Sıcaklığına Maruz Bırakılan Kesme Kiriş Numunesi	SS150SH
Boyuna Donatısı Çelik, Enine Donatısı Geogrid Olan ve 100°C Sıcaklığına Maruz Bırakılan Kesme Kiriş Numunesi	SS200SH
Boyuna Donatısı Çelik, Enine Donatısı Geogrid Olan ve 100°C Sıcaklığına Maruz Bırakılan Kesme Kiriş Numunesi	SS2500SH
Boyuna Donatısı Çelik, Enine Donatısı Geogrid Olan ve 100°C Sıcaklığına Maruz Bırakılan Kesme Kiriş Numunesi	SS300SH
Boyuna Donatısı Çelik, Enine Donatısı Geogrid Olan ve 100°C Sıcaklığına Maruz Bırakılan Kesme Kiriş Numunesi	SS400SH
Boyuna Donatısı Çelik, Enine Donatısı Geogrid Olan ve 100°C Sıcaklığına Maruz Bırakılan Kesme Kiriş Numunesi	SS500SH
Boyuna Donatısı Çelik, Enine Donatısı Geogrid Olan ve 100°C Sıcaklığına Maruz Bırakılan Kesme Kiriş Numunesi	SS600SH
Boyuna Donatısı Çelik, Enine Donatısı Geogrid Olan ve 100°C Sıcaklığına Maruz Bırakılan Kesme Kiriş Numunesi	SS800SH

4.4. DeneY Düzeneği ve Yükleme Programı

Kiriş elemanların davranışlarını incelemek için yapılan deneyler Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi 13 Mart Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda dikkatli ve sistematik bir şekilde yapılmıştır. Kiriş numunelerindeki davranışlarını incelememiz için deney düzeneğinde kullanılan aletler Tablo 4.5'de ayrıntılı olarak tanımlanmıştır.

Tablo 4.6. Yükleme sisteminde kullanılan alet listesi

Adı	Kullanım Amacı	Marka	Kapasite/ özellik
Hidrolik silindir	Eksenel yükleme	ENERPAC	60 ton/ itme ve çekme
Yük hücresi	Yük ölçümü	CAS	100 ton/ itme ve çekme

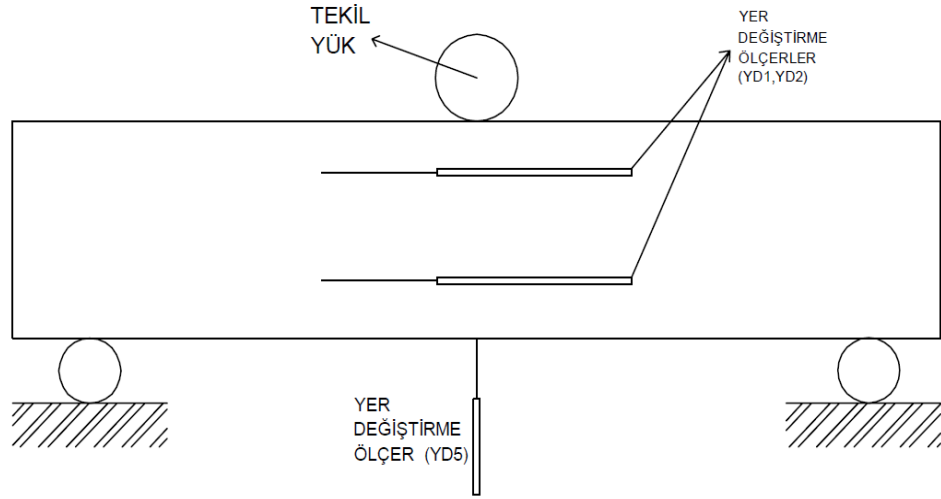
Kiriş elemanlarında ki davranışları incelemek amacıyla laboratuvara kurulmuş olan deney düzeneği (çelik çerçeve sistemi) yardımıyla yapılmıştır. Toplamda 60 ton itme ve çekme kabiliyetine sahip hidrolik silindir yardımıyla eksenel yükleme sistemi yapılmıştır. Bu yük uygulanırken yavaş ve kademeli olarak uygulanmış olmasına özen gösterilmiştir. Yük hücresinin uç kısmında Şekil 4.13' te görüldüğü üzere kare kesitli çelik plaka bulunduğu için ve deney sisteminin tekil yük olması gerektiğinden kiriş elemanlarının tam orta noktasına (45 cm mesafeye) silindir çelik parçası koyulmuştur. Bu silindir parçasının çapı 15 cm'dir Daha ayrıntılı bir gösterimle deney düzeneği Şekil 4.13' te gösterilmiştir.



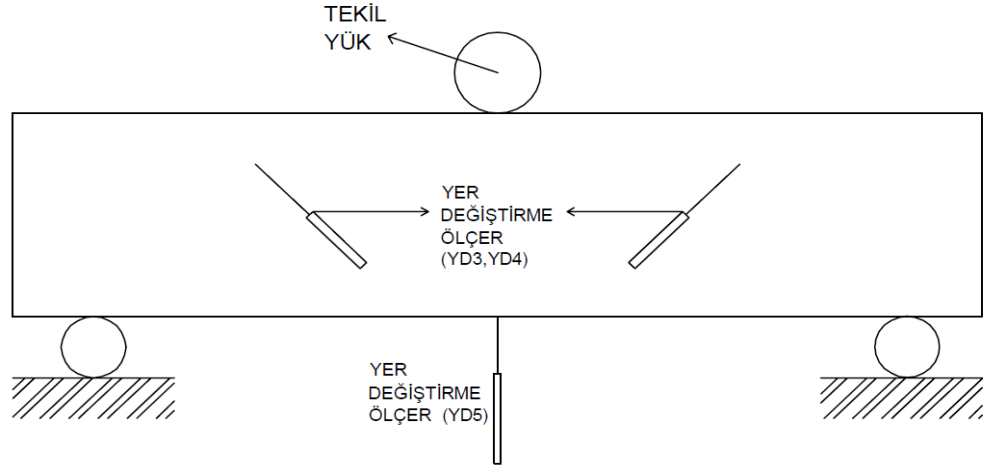
Şekil 4.13. Kiriş numuneleri için deney düzeneği

4.4.1. Ölçüm ve veri toplama sistemi

Kiriş elemanlarına bir aksenal yükleme yapıldığı esnada kiriş elemanlarında haliyle kesme çatlakları, eğilme çatlakları ve bütün bunlarla beraber düşey sehimde meydana gelmektedir. Bütün bu değerlerin ölçümünü kolayca ve doğru bir şekilde yapabilmek için yer değiştirme ölçerler (YD) kullanılmıştır. Yukarıda bahsettiğimiz bu değerlerin deneyin yapıldığı esnada bilgisayar ortamına verilerin anlık olarak aktarılması için aktarılması için bir adet veri aktarım cihazı kullanılmıştır. Yer değiştirme ölçerlerin (YD) konumlarını belirtmek gerekirse kısaca şöyle özetleyebiliriz. Eğrilik çatlaklarının ölçümünü doğru bir şekilde alabilmemiz için kiriş elemanının uzunluğu doğrultusunda çatlakların meydana geleceğini öngördüğümüz yerlere yer değiştirme ölçerler (YD1,YD2) konumlandırılmıştır. Kesme çatlaklarının meydana geldiği olası yer ise yük noktasından mesnetlere olan kısımdır. Bu bölgelere ise 2 adet yer değiştirme ölçer (YD3,YD4) konumlandırılmıştır. Son olarak kiriş elemanlarında meydana gelecek olan sehim değerini ölçmek için ise 1 adet yer değiştirme ölçer (YD5) kirişin alt kısmına tam orta noktasında olacak şekilde konumlandırılmıştır. Bahsettiğimiz mevcut yer değiştirme ölçerlerin daha detaylı gösterimi Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.14. Kiriş ön kısmında bulunan yer değiştirme ölçerler



Şekil 4.15. Kiriş arka kısmında bulunan yer değiştirme ölçerler

Kiriş elemanlarına yapmış olduğum deneylerde kullandığım hem ölçüm için hem de veri aktarma için ekipmanların özellikleri Tablo 4.7’ de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 4.7. Ölçüm ve veri toplama cihazları listesi

Adı	Kullanım Amacı	Marka	Kapasite/ özellik
Yer Değişime Ölçer (YD1,YD2)	Eğilme çatlaklarının ölçümü	OPKON	100 mm
Yer Değişime Ölçer (YD3,YD4)	Kesme çatlaklarının ölçümü	OPKON	100 mm
Yer Değişime Ölçer (YD5)	Düşey sehim ölçümü	OPKON	50 mm
Veri aktarma cihazı	Sinyallerin dijital veriye dönüştürülüp bilgisayar ortamına atılması	Test Box	8 kanal girişi

4.5. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Deney esnasında ekipmanlar yardımıyla elde ettiğimiz değerler ve ölçümler için yapmış olduğum yorumlamalar aşağıda sıralamış olduğum metotlar ile yapılmıştır:

- Farklı sıcaklıklara maruz kalan her bir beton numunelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi,
- Kiriş orta noktalarında düşey yer değiştirmeler ile yardımıyla yük-SEHİM grafikleri,
- Kiriş elemanlarına konumlandırılan hem ön hem de arka kısımlarında bulunan sehim ölçerler yardımıyla yük-çatlak grafikleri,
- Numunelerde her bir aksenal yükte oluşan enerji tüketim kapasiteleri,
- Elde edilen sonuçların birbirleri ile ilişkilendirilip kıyaslanması.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu kısımda farklı sıcaklık değerine maruz kalan beton ve kiriş numunelerinin yapılan deneyleri sonucunda gözlemlenen durumları ayrı ayrı anlatılmıştır.

5.1. Beton Basınç Deneyleri

Deneye tabii tutulacak bütün kiriş grupları için 3'er adet küp beton örnekleri alınmıştır. Hem kiriş elemanları hem de aynı zamanda beton örnekleri aynı koşullar altında 28 gün boyunca kür havuzunda muhafaza edilmiştir. Kür havuzundan çıkarıldıktan sonra kiriş elemanları ile birlikte 3'er adet beton örnekleri de 100°C sıcaklıktan 800°C sıcaklığa kadar maruz bırakılmıştır. Aynı sıcaklık sınıfında ki hem kiriş elemanı hem de beton örneklerinin aynı gün aynı koşullar altında yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmasına özellikle dikkat edilmiştir. Yakılan numuneler Şekil 5.1'de görüldüğü üzere oda sıcaklığında muhafaza edildikten sonra farklı deney grupları için deneylerin yapılacağı günde Şekil 4.2.'de gösterildiği üzere beton basınç aletinde kırılmıştır.

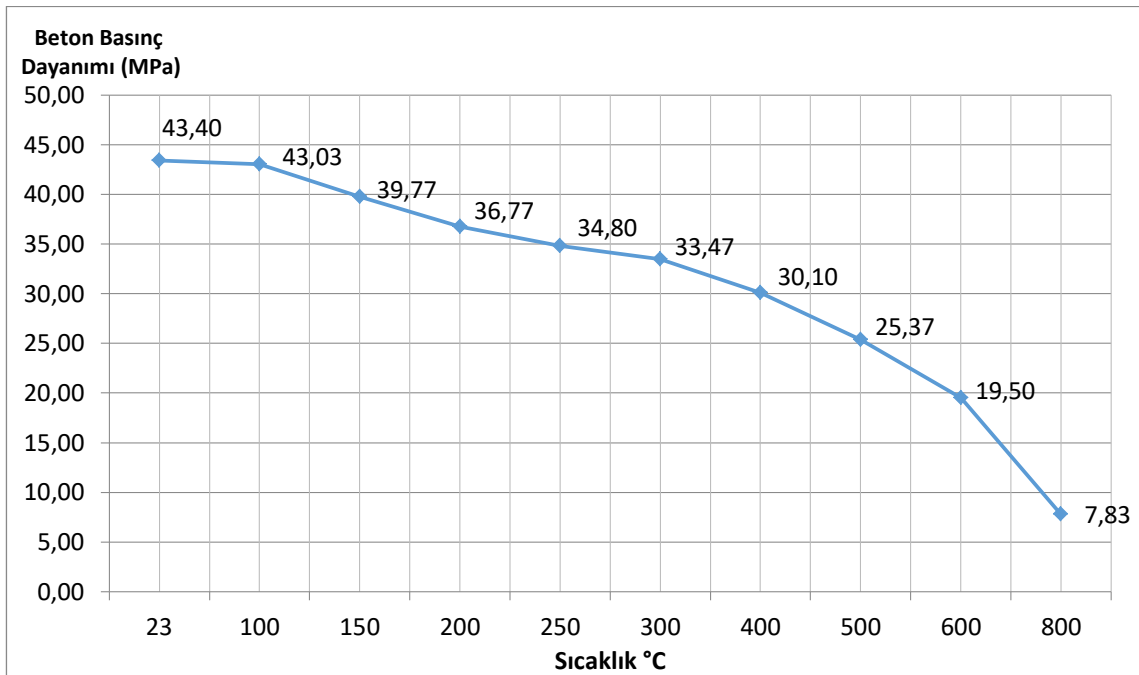


Şekil 5.1. Her sıcaklık grubu için küp basınç numuneleri.

Maruz kalınan her sıcaklık grubu için kiriş elemanları ve beton örneklerinin aynı gün gerçekleştirildiğine değinmiştik. Alt tarafta deneylerin yapıldığı günlere ait küp örneklerinin beton basınç deneylerinde kaydedilen veriler (basınç dayanımları) Tablo 5.1’de listelenmiştir.

Tablo 5.1. Her sıcaklık grubu için beton basınç dayanımları

Sıcaklık (°C)	Beton Basınç Dayanımı (Mpa)
23	43,40
100	43,03
150	39,77
200	36,77
250	34,80
300	33,47
400	30,10
500	25,37
600	19,50
800	7,83



Şekil 5.2. Sıcaklığa göre beton basınç dayanımlarının değişimi

Yukarıda deneyler sonucunda beton örneklerinden alınan değerlerden oluşturulan tablodan da görüleceği üzere sıcaklık değeri 150°C'ye ulaştığı anda çok ciddi bir azalma kaydedilmemiştir. Uygulanan sıcak değeri 200°C'ye ulaştığı anda beton basınç dayanımında 23°C'ye yani oda sıcaklığına kıyasla kapasitesinde %15 azalma kaydedilirken 250°C sıcaklığında %20, 300°C sıcaklığında %22, 400°C sıcaklığında %30 azalma kaydedilmiştir. Maruz kaldıkları sıcaklık değeri daha yüksek değerlere ulaştığında ise yani 500°C sıcaklığında %41, 600°C sıcaklığında %55 azalma kaydedilmiştir. Maruz kalınan en yüksek sıcaklık değeri 800°C'ye ulaştığında ise beton neredeyse tüm özelliğini kaybetmiş ve beton basınç dayanımında %82 azalma kaydedilmiştir. Maruz kaldıkları sıcaklık değerlerine göre beton basınç dayanımlarının kıyaslanması Şekil 5.2'de verilmiştir.

5.2. 23 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG000SH)

TS 500 standardına göre imal edilmiş enine donatı olarak geogrid malzemesi kullanılan kiriş numunesini kalıbına doğru bir şekilde konumlandırdıktan ve santralden gelen hazır betonun döküm işlemi yapıldıktan sonra 28 gün boyunca kür havuzunda muhafaza edilmiştir. Beton malzemesi istenilen basınç dayanımına ulaştıktan sonra oda sıcaklığında bekletilen yani herhangi bir sıcaklığa maruz bırakmadan yapısal davranışının incelenebilmesi için geogrid etriyeli kiriş numunesi eksenel yük uygulanabilecek düzeneğe Şekil 5.3'te görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 5.3. Deney öncesi SG000SH kiriş numunesi

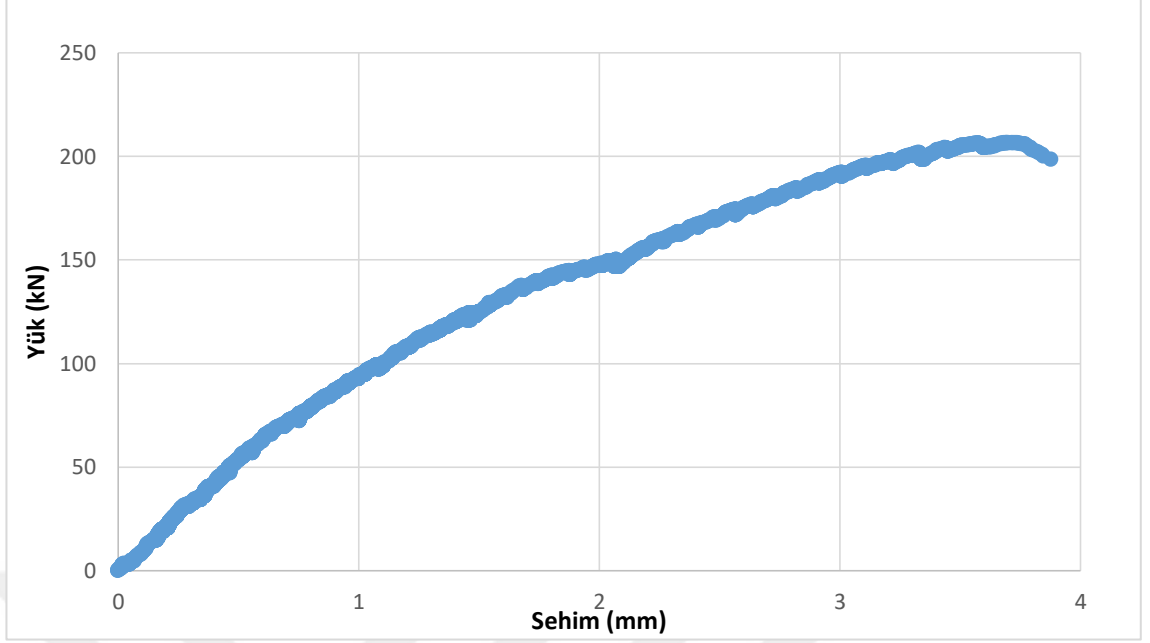
Kirişte elemanında gözle görülebilir ilk kılcal çatlakların oluşumu aksel yük değeri yaklaşık olarak 60 kN değerine ulaştığı anda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Meydana gelen ilk çatlaklar tebeşir yardımıyla işaretlenmiştir ve bu esnada yük aşamalı olarak arttırılmaya devam etmiştir. İlk çatlak kısımlarına ilave olarak oluşan diğer çatlaklar ise aksel yük değeri yaklaşık olarak 75 kN ile 150 kN arasında değerlere ulaştığı anda meydana gelmiştir. Oluşan bu ilave çatlakların daha iyi görülebilmesi ve ayırt edilebilmesi için farklı renk tebeşirler ile işaretlenmeye devam edilip aynı zaman da yük aşamalı olarak arttırılmaya devam edilmiştir. Kiriş elemanı tamamen yük alamayacak duruma gelene kadar bu yükleme işlemi devam etmiştir. Deney sona erdiği anda kiriş elemanında oluşan çatlaklar Şekil 5.4'te gösterilmiştir.

Kiriş numuneleri üzerinde aksel yük etkisi ile beraber betonda oluşan kesme çatlakları aksel yükün uygulandığı noktadan mesnet kısımlarına doğru olduğu görülmüştür. Bununla birlikte sonraki aşamalarda yük değeri arttıkça meydana gelen yeni çatlakların ilk çatlaklar ile paralel olduğu ve hatta daha sonraki aşamalarda bütün bu çatlakların birbirleri ile birleştiği ve çatlak genişliklerinin haliyle arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.4. Deney sonrası sg000sh kiriş numunesi

Deney sona erdikten sonra yük hücresi yardımıyla yer değiştirme ölçer (YD-5)'den anlık olarak kayıt edilen veriler yardımıyla meydana gelen yük-sehim grafiği Şekil 5.5'te gösterilmiştir.

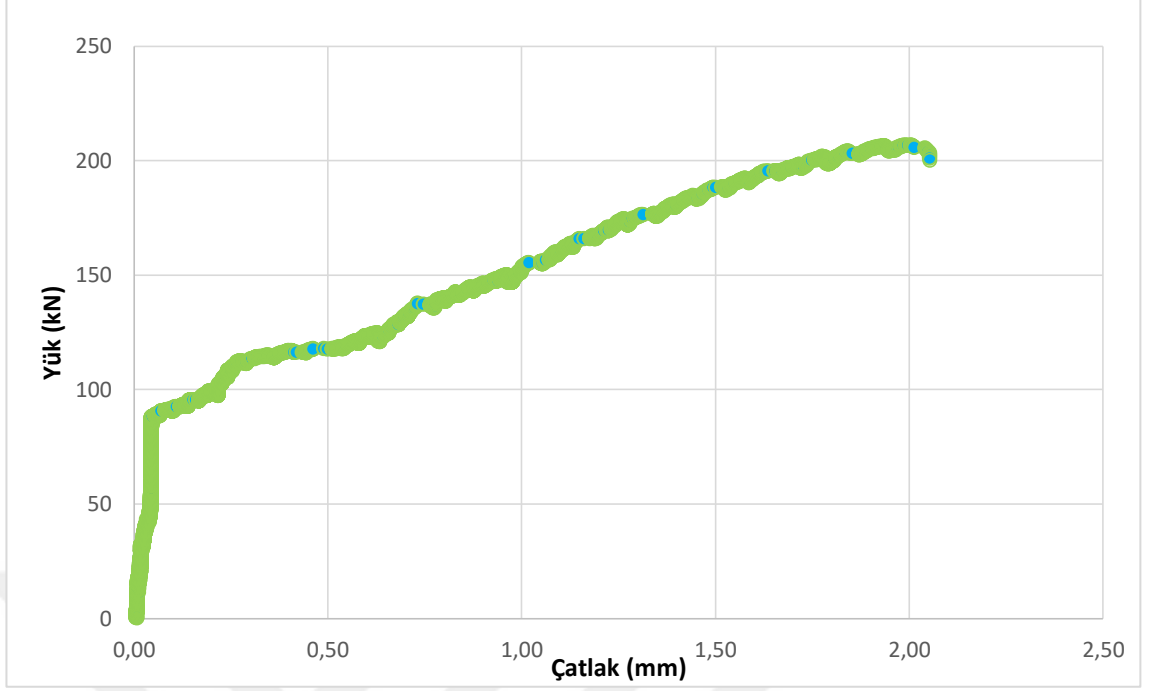


Şekil 5.5. SG000SH için yük-sehim grafiği

Deney sonrası yer değiştirme ölçer (YD-5)'den değerlerin alınabilmesi için yük hücresi aracılığıyla veriler bilgisayar ortamına kayıt edilmiş ve yük-sehim grafiği Şekil 5.5'de görüldüğü üzere oluşturulmuştur. Kiriş elemanında azami eksenel yükün değeri Şekil 5.5'te görüldüğü üzere 206.60 kN olarak kayıt edilmiştir. Azami yükte meydana gelen sehim değeri ise 3,71 mm'dir.

Yer değiştirme ölçerler(YD-1,YD-2,YD-3,YD-4)'den kayıt edilen değerler yardımıyla yük-çatlak verileri hesaplanmış ve Şekil 5.6'da grafik olarak gösterilmiştir.

Yük çatlak Grafiğinde de anlaşılacağı üzere azami yüke (206,60 kN) aşamalı olarak yükselene kadar betonda oluşan çatlakların genişliklerinin boyutlarının büyüdüğü gözlemlenmiştir. Eksenel yük değeri azami değerine çıktıktan sonra ise eksenel yük değeri yaklaşık olarak eşit seviyelerde devam etmesine rağmen betonda oluşan çatlak genişlikleri artmaya devam etmiştir. Azami çatlak genişlik değeri ise 2,053 mm olarak kayıt edilmiştir.



Şekil 5.6. SG000SH için yük-çatlak grafiği

5.3. 100 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG100SH)

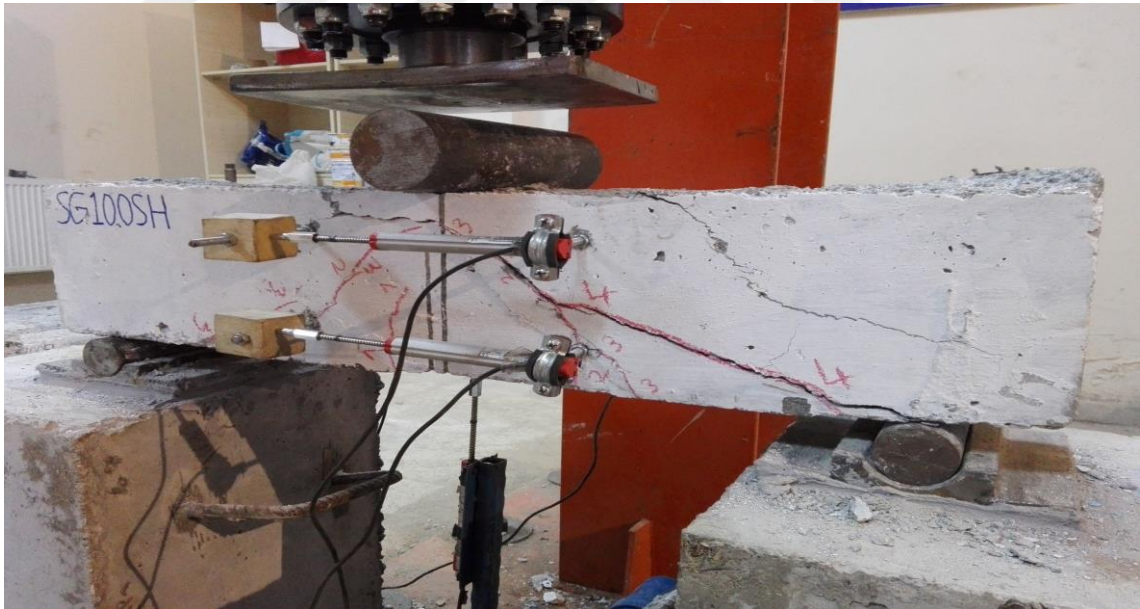
TS 500 standardına göre imal edilmiş enine donatı olarak geogrid malzemesi kullanılan kiriş numunesini kalıbına doğru bir şekilde konumlandırdıktan ve santralden gelen hazır betonun döküm işlemi yapıldıktan sonra 28 gün boyunca kür havuzunda muhafaza edilmiştir. Beton malzemesi istenilen basınç dayanımına ulaştıktan sonra 1200°C rejimli fırında 100°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Deney esnasında yapısal davranışının incelenebilmesi için geogrid etriyeli kiriş numunesi aksel yük uygulanabilecek düzeneğe Şekil 5.7'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.

Kirişte elemanında gözle görülebilir ilk kılcal çatlakların oluşumu aksel yük değeri yaklaşık olarak 60 kN değerine ulaştığı anda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Meydana gelen ilk çatlaklar tebeşir yardımıyla işaretlenmiştir ve bu esnada yük aşamalı olarak arttırılmaya devam etmiştir. İlk çatlak kısımlarına ilave olarak oluşan diğer çatlaklar ise aksel yük değeri yaklaşık olarak 75 kN ile 150 kN arasında değerlere ulaştığı anda meydana gelmiştir. Oluşan bu ilave çatlakların daha iyi görülebilmesi ve ayırt edilebilmesi için farklı renk tebeşirler ile işaretlenmeye devam edilip aynı zaman da yük aşamalı olarak arttırılmaya devam edilmiştir. Kiriş elemanı tamamen yük

alamayacak duruma gelene kadar bu yükleme işlemi devam etmiştir. Deney sona erdiği anda kiriş elemanında oluşan çatlaklar Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Deney öncesi SG100SH kiriş numunesi

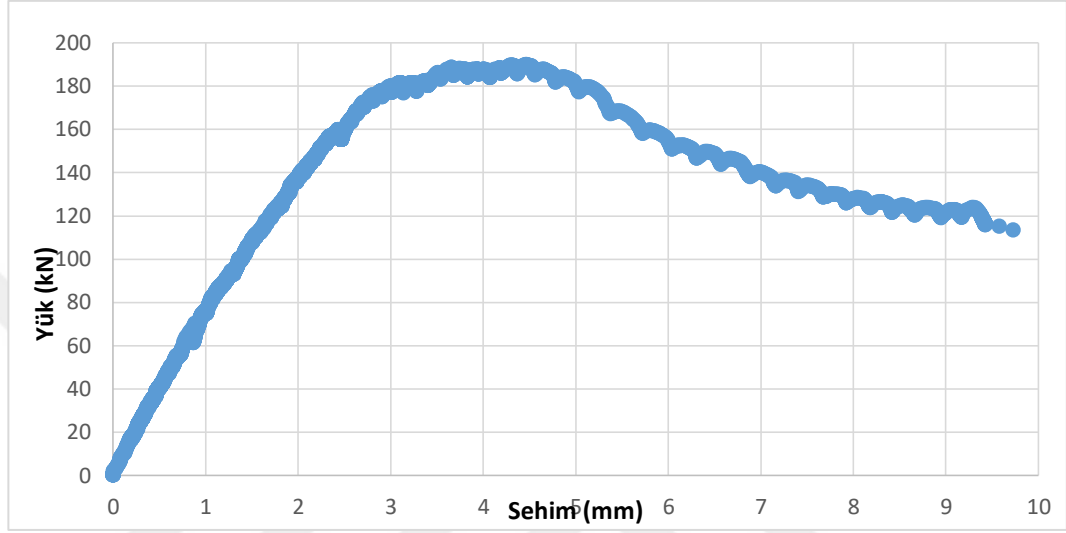


Şekil 5.8. Deney sonrası SG100SH kiriş numunesi

Kiriş numuneleri üzerinde aksenal yük etkisi ile beraber betonda oluşan kesme çatlakları aksenal yükün uygulandığı noktadan mesnet kısımlarına doğru olduğu görülmüştür. Bununla birlikte sonraki aşamalarda yük değeri arttıkça meydana gelen yeni çatlakların ilk çatlaklar ile paralel olduğu ve hatta daha sonraki aşamalarda bütün

bu çatlakların birbirleri ile birleştiği ve çatlak genişliklerinin haliyle arttığı gözlemlenmiştir.

Deney sona erdikten sonra yük hücresi yardımıyla yer değiştirme ölçer (YD-5)'den anlık olarak kayıt edilen veriler yardımıyla meydana gelen yük-sehim grafiği Şekil 5.9'da gösterilmiştir.

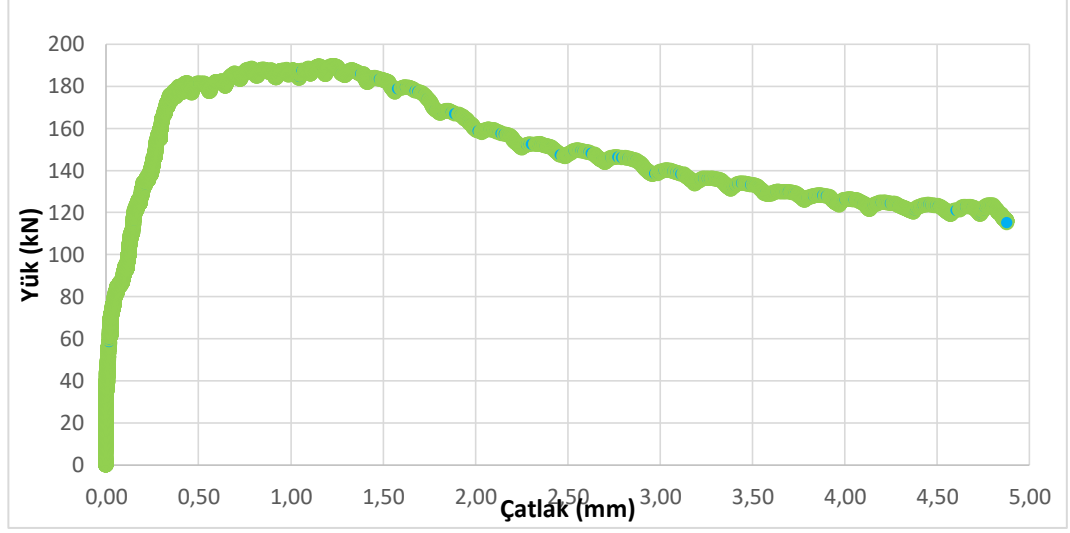


Şekil 5.9. SG100SH için yük-sehim grafiği

Deney sonrası yer değiştirme ölçer (YD-5)'den değerlerin alınabilmesi için yük hücresi aracılığıyla veriler bilgisayar ortamına kayıt edilmiş ve yük-sehim grafiği Şekil 5.13'te görüldüğü üzere oluşturulmuştur. Kiriş elemanında azami eksenel yükün değeri Şekil 5.9'da görüldüğü üzere 189,63 kN olarak kayıt edilmiştir. Azami yükte meydana gelen sehim değeri ise 4,47 mm'dir.

Yer değiştirme ölçerler(YD-1,YD-2,YD-3,YD-4)'den kayıt edilen değerler yardımıyla yük-çatlak verileri hesaplanmış ve Şekil 5.10'da grafik olarak gösterilmiştir.

Grafikte de anlaşılacağı üzere azami yüke (189,63 kN) aşamalı olarak yükselene kadar betonda oluşan çatlakların genişliklerinin boyutlarının büyüdüğü gözlemlenmiştir. Eksenel yük değeri azami değerine çıktıktan sonra ise eksenel yük değeri yaklaşık olarak eşit seviyelerde devam etmesine rağmen betonda oluşan çatlak genişlikleri artmaya devam etmiştir. Azami çatlak genişlik değeri ise 4,853 mm olarak kayıt edilmiştir.



Şekil 5.10. SG100SH için yük-çatlak grafiği

5.4. 150°C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG150SH)

TS 500 standardına göre imal edilmiş enine donatı olarak geogrid malzemesi kullanılan kiriş numunesini kalıbına doğru bir şekilde konumlandırdıktan ve santralden gelen hazır betonun döküm işlemi yapıldıktan sonra 28 gün boyunca kür havuzunda muhafaza edilmiştir. Beton malzemesi istenilen basınç dayanımına ulaştıktan sonra 1200°C rejimli fırında 150°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Deney esnasında yapısal davranışının incelenebilmesi için geogrid etriyeli kiriş numunesi aksel yük uygulanabilecek düzeneğe Şekil 5.11’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.

Kirişte elemanında gözle görülebilir ilk kılcal çatlakların oluşumu aksel yük değeri yaklaşık olarak 65 kN değerine ulaştığı anda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Meydana gelen ilk çatlaklar tebeşir yardımıyla işaretlenmiştir ve bu esnada yük aşamalı olarak arttırılmaya devam etmiştir. İlk çatlak kısımlarına ilave olarak oluşan diğer çatlaklar ise aksel yük değeri yaklaşık olarak 75 kN ile 150 kN arasında değerlere ulaştığı anda meydana gelmiştir. Oluşan bu ilave çatlakların daha iyi görülebilmesi ve ayırt edilebilmesi için farklı renk tebeşirler ile işaretlenmeye devam edilip aynı zamanda yük aşamalı olarak arttırılmaya devam edilmiştir. Kiriş elemanı tamamen yük alamayacak duruma gelene kadar bu yükleme işlemi devam etmiştir. Deney sona erdiği anda kiriş elemanında oluşan çatlaklar Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



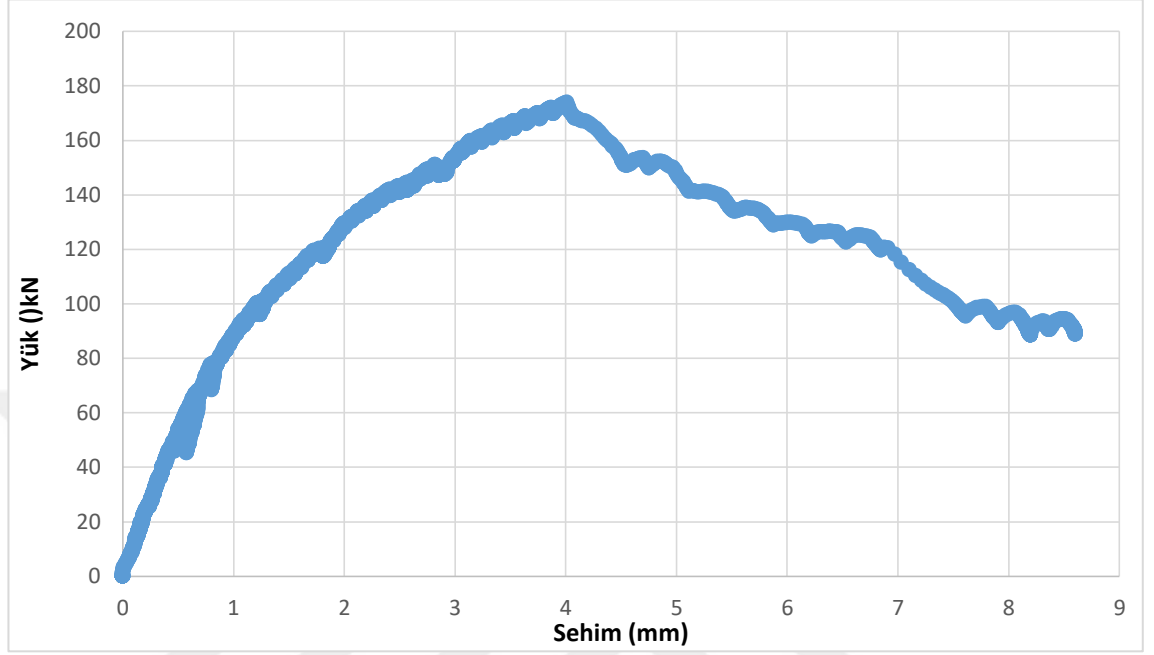
Şekil 5.11. Deney öncesi SG150SH kiriş numunesi



Şekil 5.12. Deney sonrası SG150SH kiriş numunesi

Kiriş numuneleri üzerinde aksenal yük etkisi ile beraber betonda oluşan kesme çatlakları aksenal yükün uygulandığı noktadan mesnet kısımlarına doğru olduğu görülmüştür. Bununla birlikte sonraki aşamalarda yük değeri arttıkça meydana gelen yeni çatlakların ilk çatlaklar ile paralel olduğu ve hatta daha sonraki aşamalarda bütün bu çatlakların birbirleri ile birleştiği ve çatlak genişliklerinin haliyle arttığı gözlemlenmiştir.

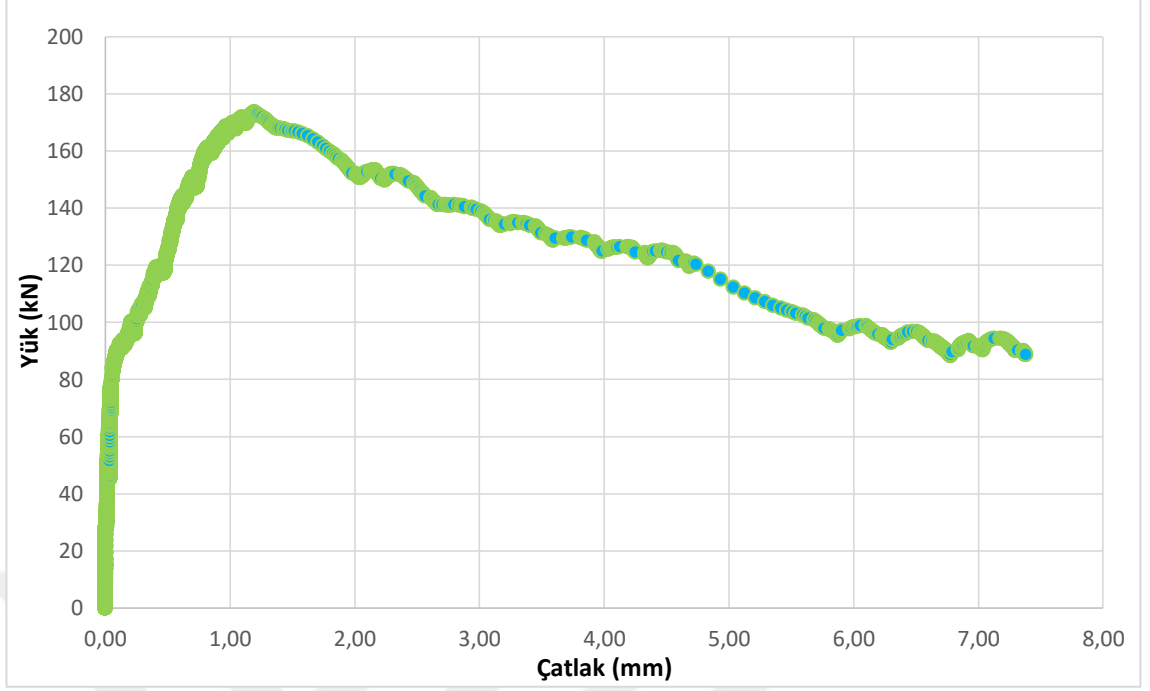
Deney sona erdikten sonra yük hücresi yardımıyla yer değiştirme ölçer (YD-5)'den anlık olarak kayıt edilen veriler yardımıyla meydana gelen yük-sehim grafiği Şekil 5.13'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13. SG150SH için yük-sehim grafiği

Deney sonrası yer değiştirme ölçer (YD-5)'den değerlerin alınabilmesi için yük hücresi aracılığıyla veriler bilgisayar ortamına kayıt edilmiş ve yük-sehim grafiği Şekil 5.17'de görüldüğü üzere oluşturulmuştur. Kiriş elemanında azami eksenel yükün değeri Şekil 5.13'te görüldüğü üzere 173,74 kN olarak kayıt edilmiştir. Azami yükte meydana gelen sehim değeri ise 4,01 mm'dir.

Yer değiştirme ölçerler(YD-1,YD-2,YD-3,YD-4)'den kayıt edilen değerler yardımıyla yük-çatlak verileri hesaplanmış ve Şekil 5.14'te grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.14. SG150SH için yük-çatlak grafiği

Grafikte de anlaşılacağı üzere azami yüke (173,74 kN) aşamalı olarak yükselene kadar betonda oluşan çatlakların genişliklerinin boyutlarının büyüdüğü gözlemlenmiştir. Eksenel yük değeri azami değerine çıktıktan sonra ise eksenel yük değeri yaklaşık olarak eşit seviyelerde devam etmesine rağmen betonda oluşan çatlak genişlikleri artmaya devam etmiştir. Azami çatlak genişlik değeri ise 7,378 mm olarak kayıt edilmiştir.

5.5. 200 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG200SH)

TS 500 standardına göre imal edilmiş enine donatı olarak geogrid malzemesi kullanılan kiriş numunesini kalıbına doğru bir şekilde konumlandırdıktan ve santralden gelen hazır betonun döküm işlemi yapıldıktan sonra 28 gün boyunca kür havuzunda muhafaza edilmiştir. Beton malzemesi istenilen basınç dayanımına ulaştıktan sonra 1200°C rejimli fırında 200°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Deney esnasında yapısal davranışının incelenebilmesi için geogrid etriyeli kiriş numunesi eksenel yük uygulanabilecek düzeneğe Şekil 5.15'te görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 5.15. Deney öncesi SG200SH kiriş numunesi

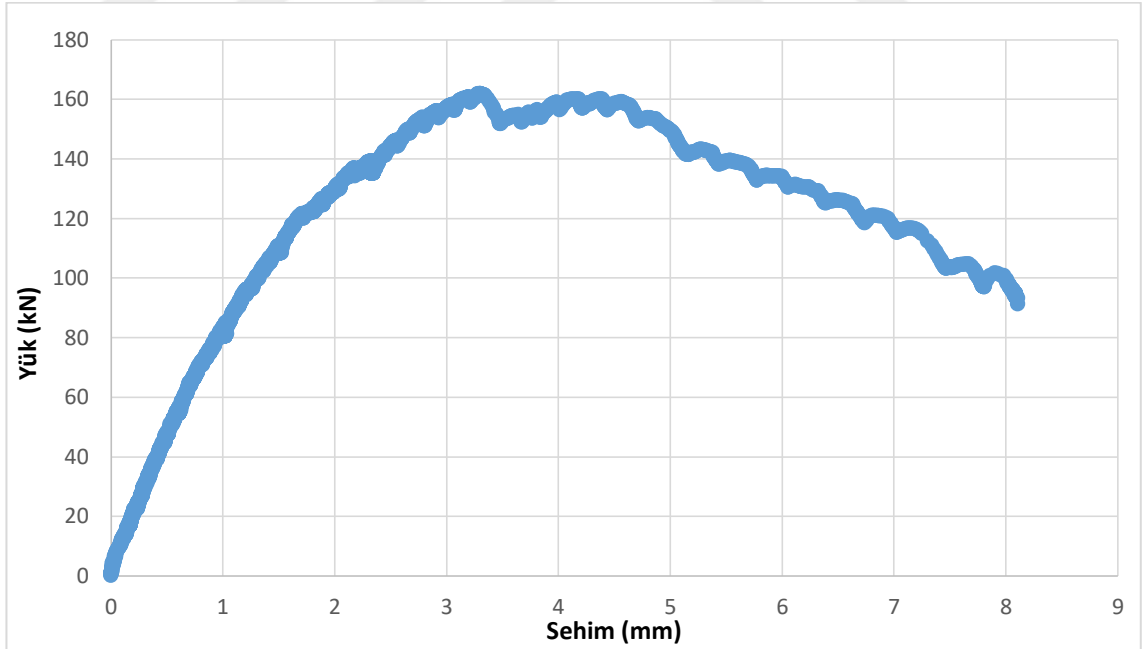
Kirişte elemanında gözle görülebilir ilk kılcal çatlakların oluşumu aksenal yük değeri yaklaşık olarak 50 kN değerine ulaştığı anda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Meydana gelen ilk çatlaklar tebeşir yardımıyla işaretlenmiştir ve bu esnada yük aşamalı olarak arttırılmaya devam etmiştir. İlk çatlak kısımlarına ilave olarak oluşan diğer çatlaklar ise aksenal yük değeri yaklaşık olarak 72,5 kN ile 145 kN arasında değerlere ulaştığı anda meydana gelmiştir. Oluşan bu ilave çatlakların daha iyi görülebilmesi ve ayırt edilebilmesi için farklı renk tebeşirler ile işaretlenmeye devam edilip aynı zaman da yük aşamalı olarak arttırılmaya devam edilmiştir. Kiriş elemanı tamamen yük alamayacak duruma gelene kadar bu yükleme işlemi devam etmiştir. Deney sona erdiği anda kiriş elemanında oluşan çatlaklar Şekil 5.16'da gösterilmiştir.

Kiriş numuneleri üzerinde aksenal yük etkisi ile beraber betonda oluşan kesme çatlakları aksenal yükün uygulandığı noktadan mesnet kısımlarına doğru olduğu görülmüştür. Bununla birlikte sonraki aşamalarda yük değeri arttıkça meydana gelen yeni çatlakların ilk çatlaklar ile paralel olduğu ve hatta daha sonraki aşamalarda bütün bu çatlakların birbirleri ile birleştiği ve çatlak genişliklerinin haliyle arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.16. Deney sonrası SG200SH kiriş numunesi

Deney sona erdikten sonra yük hücresi yardımıyla yer değiştirme ölçer (YD-5)'den anlık olarak kayıt edilen veriler yardımıyla meydana gelen yük-sehim grafiği Şekil 5.17'de gösterilmiştir.

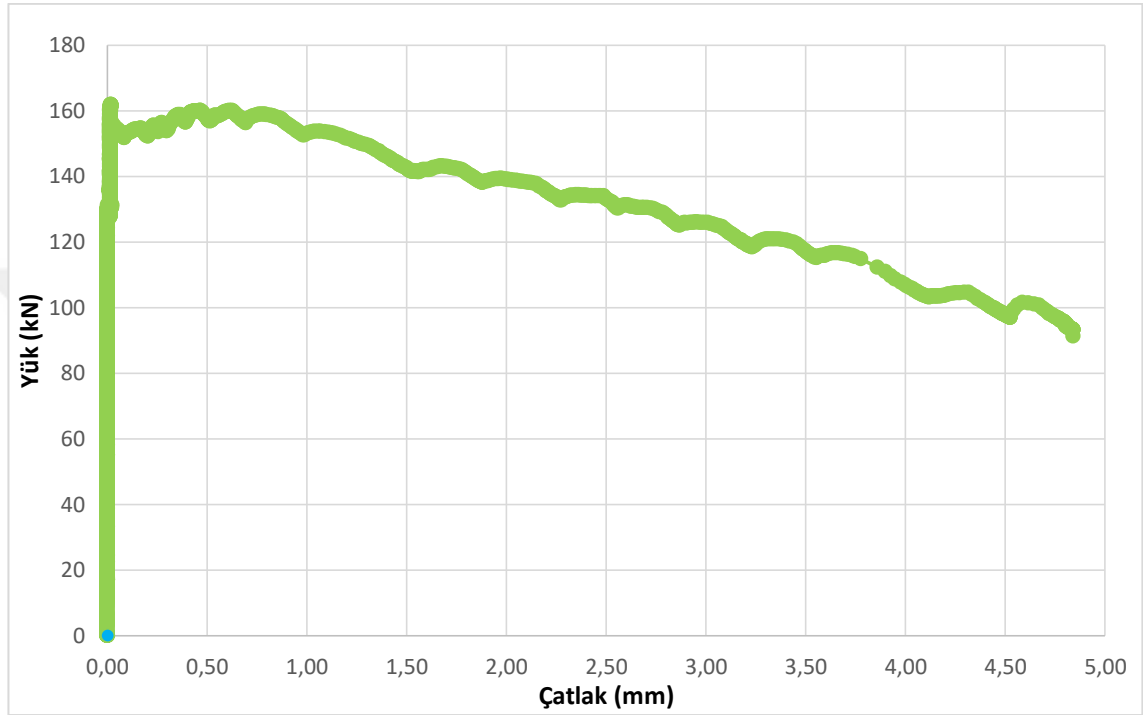


Şekil 5.17. SG200SH için yük-sehim grafiği

Deney sonrası yer değiştirme ölçer (YD-5)'den değerlerin alınabilmesi için yük hücresi aracılığıyla veriler bilgisayar ortamına kayıt edilmiş ve yük-sehim grafiği Şekil 5.17'de

görüldüğü üzere oluşturulmuştur. Kiriş elemanında azami eksenel yükün değeri Şekil 5.17'de görüldüğü üzere 160,82 kN olarak kayıt edilmiştir. Azami yükte meydana gelen sehîm değeri ise 3,30 mm'dir.

Yer değıştirme ölçerler(YD-1,YD-2,YD-3,YD-4)'den kayıt edilen değerler yardımıyla yük-çatlak verileri hesaplanmış ve Şekil 5.18'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.18. SG200SH için yük-çatlak grafiği

Grafikte de anlaşılacağı üzere azami yüke (161,59 kN) aşamalı olarak yükselene kadar betonda oluşan çatlakların genişliklerinin boyutlarının büyüdüğü gözlemlenmiştir. Eksenel yük değeri azami değerine çıktıktan sonra ise eksenel yük değeri yaklaşık olarak eşit seviyelerde devam etmesine rağmen betonda oluşan çatlak genişlikleri artmaya devam etmiştir. Azami çatlak genişlik değeri ise 4,841 mm olarak kayıt edilmiştir.

5.6. 250 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG250SH)

TS 500 standardına göre imal edilmiş enine donatı olarak geogrid malzemesi kullanılan kiriş numunesini kalıbına doğru bir şekilde konumlandırdıktan ve santralden gelen hazır betonun döküm işlemi yapıldıktan sonra 28 gün boyunca kür havuzunda muhafaza

edilmiştir. Beton malzemesi istenilen basınç dayanımına ulaştıktan sonra 1200°C rejimli fırında 250°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Deney esnasında yapısal davranışının incelenebilmesi için geogrid etriyeli kiriş numunesi aksenal yük uygulanabilecek düzeneğe Şekil 5.19’da görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 5.19. Deney öncesi SG250SH kiriş numunesi

Kirişte elemanında gözle görülebilir ilk kılcal çatlakların oluşumu aksenal yük değeri yaklaşık olarak 50 kN değerine ulaştığı anda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Meydana gelen ilk çatlaklar tebeşir yardımıyla işaretlenmiştir ve bu esnada yük aşamalı olarak arttırılmaya devam etmiştir. İlk çatlak kısımlarına ilave olarak oluşan diğer çatlaklar ise aksenal yük değeri yaklaşık olarak 72,5 kN ile 125 kN arasında değerlere ulaştığı anda meydana gelmiştir. Oluşan bu ilave çatlakların daha iyi görülebilmesi ve ayırt edilebilmesi için farklı renk tebeşirler ile işaretlenmeye devam edilip aynı zaman da yük aşamalı olarak arttırılmaya devam edilmiştir. Kiriş elemanı tamamen yük alamayacak duruma gelene kadar bu yükleme işlemi devam etmiştir. Deney sona erdiği anda kiriş elemanında oluşan çatlaklar Şekil 5.20’de gösterilmiştir.

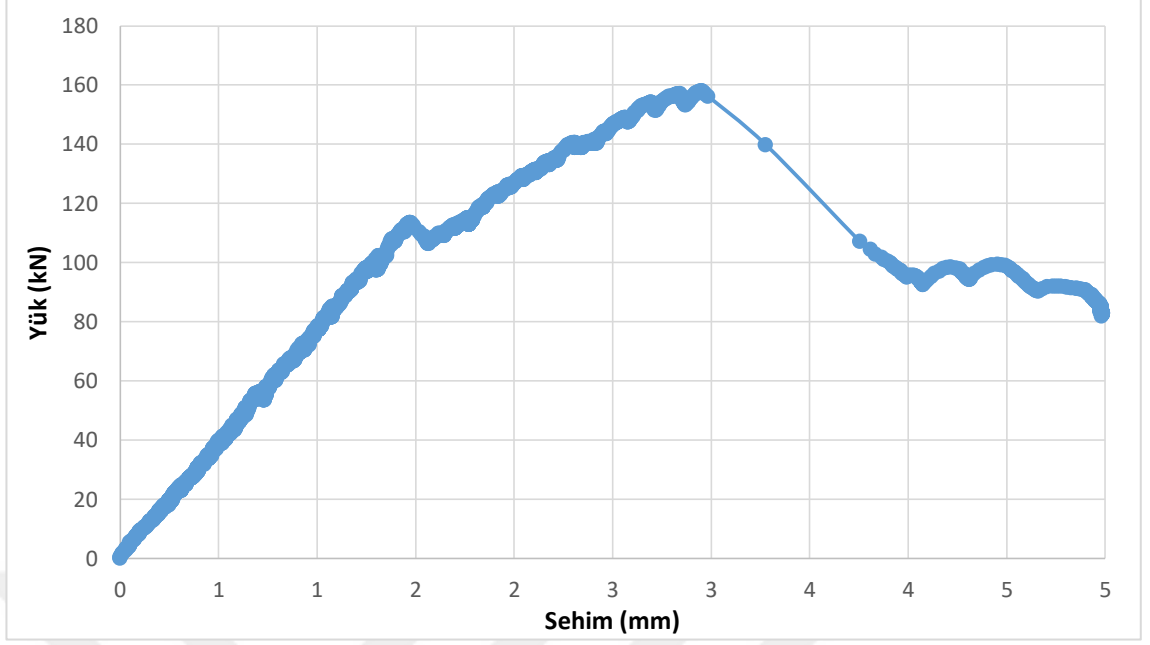


Şekil 5.20. Deney sonrası SG250SH kiriş numunesi

Kiriş numuneleri üzerinde aksenal yük etkisi ile beraber betonda oluşan kesme çatlakları aksenal yükün uygulandığı noktadan mesnet kısımlarına doğru olduğu görülmüştür. Bununla birlikte sonraki aşamalarda yük değeri arttıkça meydana gelen yeni çatlakların ilk çatlaklar ile paralel olduğu ve hatta daha sonraki aşamalarda bütün bu çatlakların birbirleri ile birleştiği ve çatlak genişliklerinin haliyle arttığı gözlemlenmiştir.

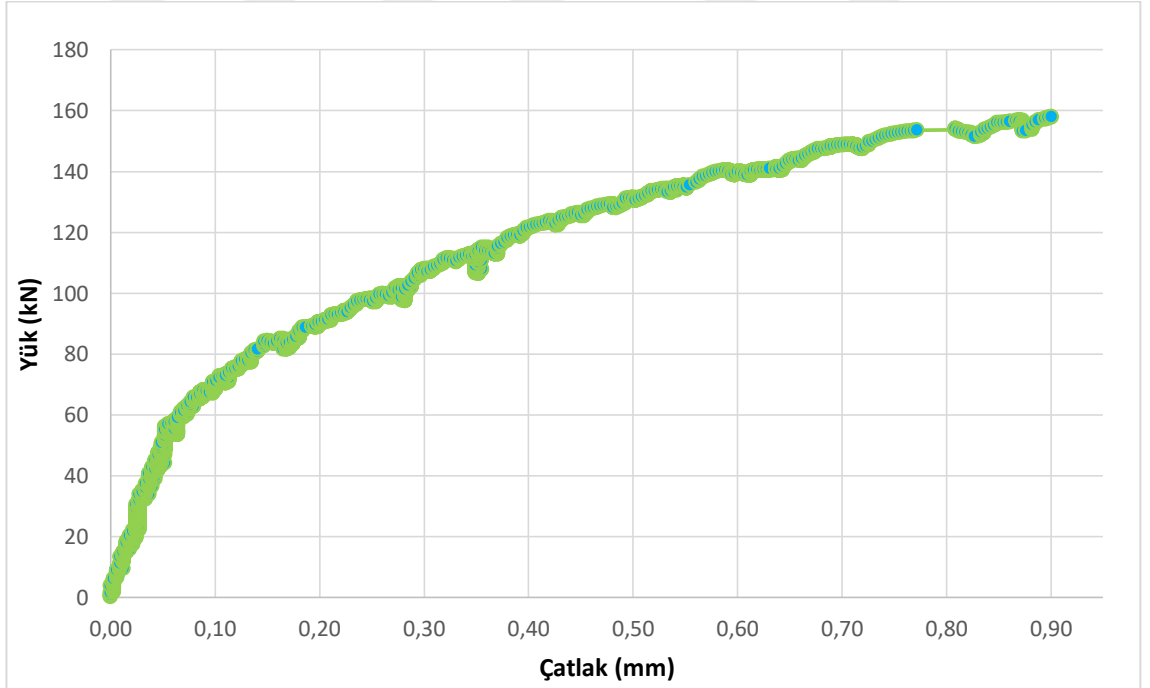
Deney sona erdikten sonra yük hücresi yardımıyla yer değiştirme ölçer (YD-5)'den anlık olarak kayıt edilen veriler yardımıyla meydana gelen yük-sehim grafiği Şekil 5.21'de gösterilmiştir.

Deney sonrası yer değiştirme ölçer (YD-5)'den değerlerin alınabilmesi için yük hücresi aracılığıyla veriler bilgisayar ortamına kayıt edilmiş ve yük-sehim grafiği Şekil 5.25'de görüldüğü üzere oluşturulmuştur. Kiriş elemanında azami aksenal yükün değeri Şekil 5.21'de görüldüğü üzere 157,91 kN olarak kayıt edilmiştir. Azami yükte meydana gelen sehim değeri ise 2,95 mm'dir.



Şekil 5.21. SG250SH için yük-sehim grafiği

Yer değiştirme ölçerler(YD-1,YD-2,YD-3,YD-4)'den kayıt edilen değerler yardımıyla yük-çatlak verileri hesaplanmış ve Şekil 5.22'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.22. SG250SH için yük-çatlak grafiği

Grafikte de anlaşılacağı üzere azami yüke (157,91 kN) aşamalı olarak yükselene kadar betonda oluşan çatlakların genişliklerinin boyutlarının büyüdüğü gözlemlenmiştir. Eksenel yük değeri azami değerine çıktıktan sonra ise eksenel yük değeri yaklaşık olarak eşit seviyelerde devam etmesine rağmen betonda oluşan çatlak genişlikleri artmaya devam etmiştir. Azami çatlak genişlik değeri ise 0,904 mm olarak kayıt edilmiştir.

5.7. 300 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG300SH)

TS 500 standardına göre imal edilmiş enine donatı olarak geogrid malzemesi kullanılan kiriş numunesini kalıbına doğru bir şekilde konumlandırdıktan ve santralden gelen hazır betonun döküm işlemi yapıldıktan sonra 28 gün boyunca kür havuzunda muhafaza edilmiştir. Beton malzemesi istenilen basınç dayanımına ulaştıktan sonra 1200°C rejimli fırında 300°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Deney esnasında yapısal davranışının incelenebilmesi için geogrid etriyeli kiriş numunesi eksenel yük uygulanabilecek düzeneğe Şekil 5.23'te görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 5.23. Deney öncesi SG300SH kiriş numunesi

Kirişte elemanında gözle görülebilir ilk kılcal çatlakların oluşumu eksenel yük değeri yaklaşık olarak 50 kN değerine ulaştığı anda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Meydana gelen ilk çatlaklar tebeşir yardımıyla işaretlenmiştir ve bu esnada yük aşamalı

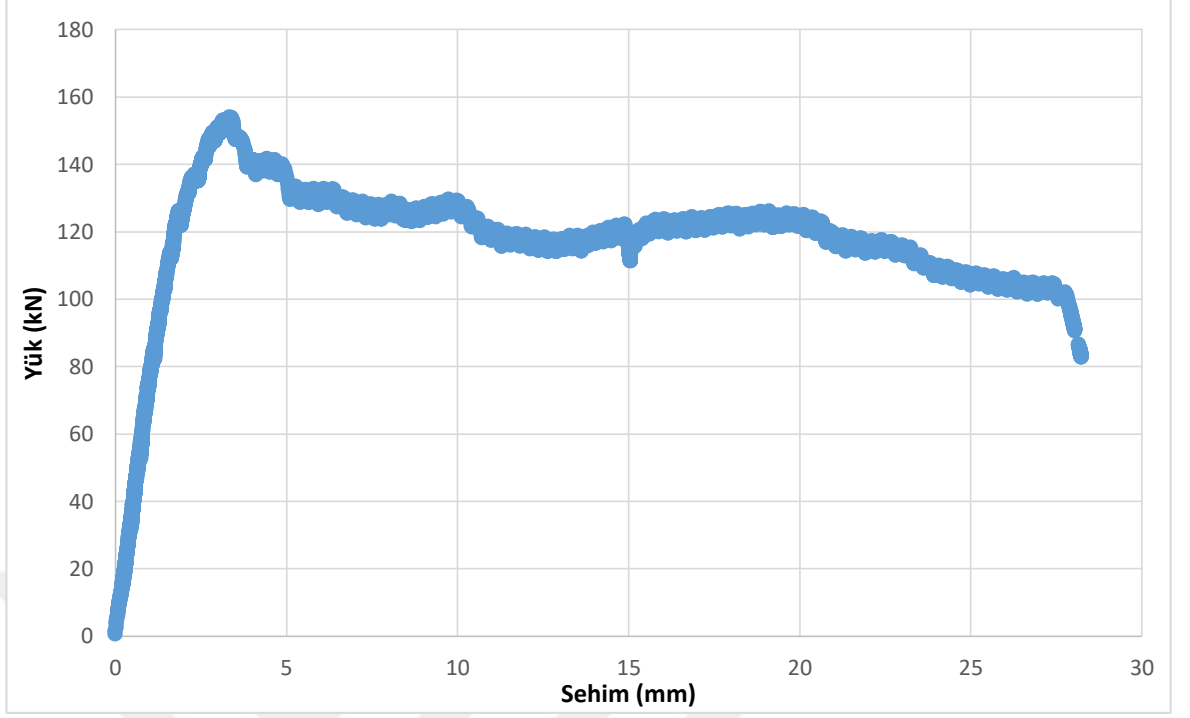
olarak arttırılmaya devam etmiştir. İlk çatlak kısımlarına ilave olarak oluşan diğer çatlaklar ise aksenal yük değeri yaklaşık olarak 72,5 kN ile 125 kN arasında değerlere ulaştığı anda meydana gelmiştir. Oluşan bu ilave çatlakların daha iyi görülebilmesi ve ayırt edilebilmesi için farklı renk tebeşirler ile işaretlenmeye devam edilip aynı zaman da yük aşamalı olarak arttırılmaya devam edilmiştir. Kiriş elemanı tamamen yük alamayacak duruma gelene kadar bu yükleme işlemi devam etmiştir. Deney sona erdiği anda kiriş elemanında oluşan çatlaklar Şekil 5.24'te gösterilmiştir.



Şekil 5.24. Deney sonrası SG300SH kiriş numunesi

Kiriş numuneleri üzerinde aksenal yük etkisi ile beraber betonda oluşan kesme çatlakları aksenal yükün uygulandığı noktadan mesnet kısımlarına doğru olduğu görülmüştür. Bununla birlikte sonraki aşamalarda yük değeri arttıkça meydana gelen yeni çatlakların ilk çatlaklar ile paralel olduğu ve hatta daha sonraki aşamalarda bütün bu çatlakların birbirleri ile birleştiği ve çatlak genişliklerinin haliyle arttığı gözlemlenmiştir.

Deney sona erdikten sonra yük hücresi yardımıyla yer değiştirme ölçer (YD-5)'den anlık olarak kayıt edilen veriler yardımıyla meydana gelen yük-sehim grafiği Şekil 5.25'te gösterilmiştir.

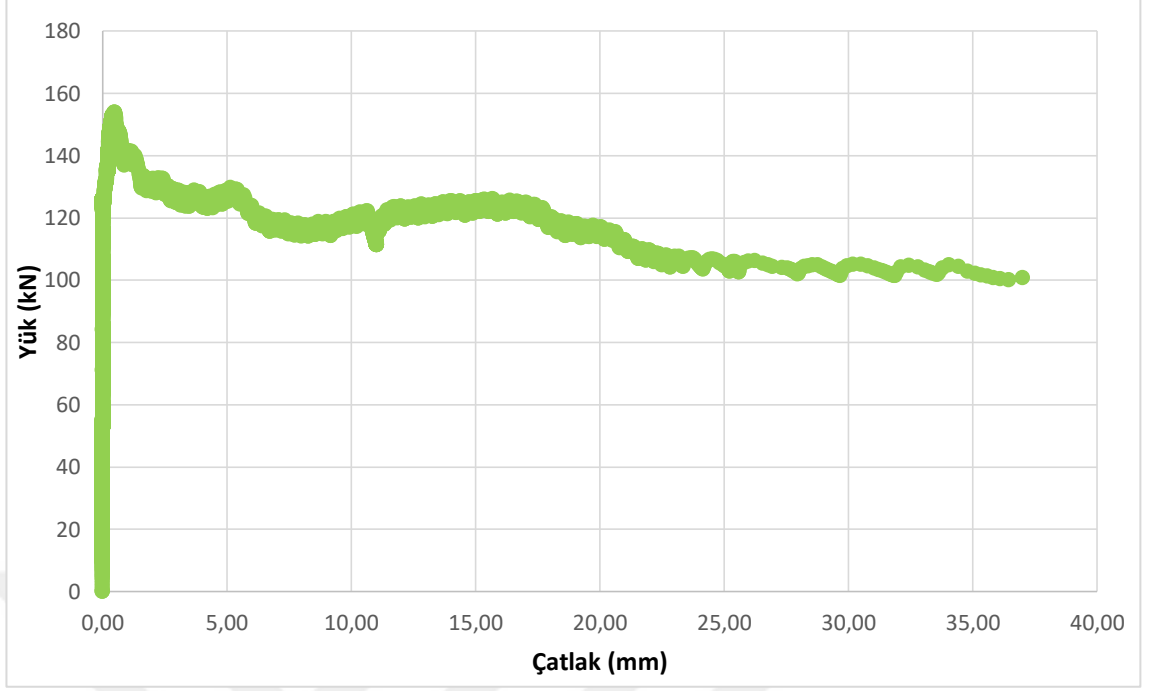


Şekil 5.25. SG300SH için yük-sehim grafiği

Deney sonrası yer değiştirme ölçer (YD-5)'den değerlerin alınabilmesi için yük hücresi aracılığıyla veriler bilgisayar ortamına kayıt edilmiş ve yük-sehim grafiği Şekil 5.29'da görüldüğü üzere oluşturulmuştur. Kiriş elemanında azami eksenel yükün değeri Şekil 5.25'te görüldüğü üzere 153,88 kN olarak kayıt edilmiştir. Azami yükte meydana gelen sehim değeri ise 3,34 mm'dir.

Yer değiştirme ölçerler(YD-1,YD-2,YD-3,YD-4)'den kayıt edilen değerler yardımıyla yük-çatlak verileri hesaplanmış ve Şekil 5.26'da grafik olarak gösterilmiştir.

Grafikte de anlaşılacağı üzere azami yüke (153,88 kN) aşamalı olarak yükselene kadar betonda oluşan çatlakların genişliklerinin boyutlarının büyüdüğü gözlemlenmiştir. Eksenel yük değeri azami değerine çıktıktan sonra ise eksenel yük değeri yaklaşık olarak eşit seviyelerde devam etmesine rağmen betonda oluşan çatlak genişlikleri artmaya devam etmiştir. Azami çatlak genişlik değeri ise 41,901 mm olarak kayıt edilmiştir.



Şekil 5.26. SG300SH için yük-çatlak grafiği

5.8. 400 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG400SH)

TS 500 standardına göre imal edilmiş enine donatı olarak geogrid malzemesi kullanılan kiriş numunesini kalıbına doğru bir şekilde konumlandırdıktan ve santralden gelen hazır betonun döküm işlemi yapıldıktan sonra 28 gün boyunca kür havuzunda muhafaza edilmiştir. Beton malzemesi istenilen basınç dayanımına ulaştıktan sonra 1200°C rejimli fırında 400°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Deney esnasında yapısal davranışının incelenebilmesi için geogrid etriyeli kiriş numunesi eksenel yük uygulanabilecek düzeneğe Şekil 5.27'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.

Kirişte elemanında gözle görülebilir ilk kılcal çatlakların oluşumu eksenel yük değeri yaklaşık olarak 50 kN değerine ulaştığı anda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Meydana gelen ilk çatlaklar tebeşir yardımıyla işaretlenmiştir ve bu esnada yük aşamalı olarak arttırılmaya devam etmiştir. İlk çatlak kısımlarına ilave olarak oluşan diğer çatlaklar ise eksenel yük değeri yaklaşık olarak 100 kN ile 150 kN arasında değerlere ulaştığı anda meydana gelmiştir. Oluşan bu ilave çatlakların daha iyi görülebilmesi ve ayırt edilebilmesi için farklı renk tebeşirler ile işaretlenmeye devam edilip aynı zaman da yük aşamalı olarak arttırılmaya devam edilmiştir. Kiriş elemanı tamamen yük

alamayacak duruma gelene kadar bu yükleme işlemi devam etmiştir. Deney sona erdiği anda kiriş elemanında oluşan çatlaklar Şekil 5.28’de gösterilmiştir.



Şekil 5.27. Deney öncesi SG400SH kiriş numunesi

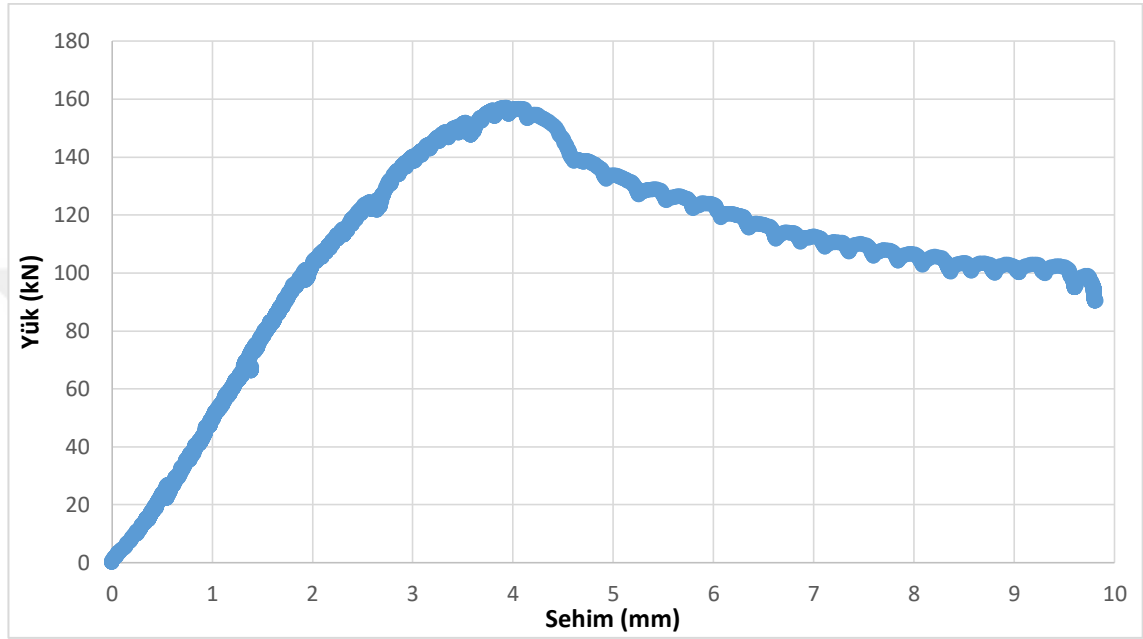


Şekil 5.28. Deney sonrası SG400SH kiriş numunesi

Kiriş numuneleri üzerinde aksenal yük etkisi ile beraber betonda oluşan kesme çatlakları aksenal yükün uygulandığı noktadan mesnet kısımlarına doğru olduğu görülmüştür. Bununla birlikte sonraki aşamalarda yük değeri arttıkça meydana gelen yeni çatlakların ilk çatlaklar ile paralel olduğu ve hatta daha sonraki aşamalarda bütün

bu çatlakların birbirleri ile birleştiği ve çatlak genişliklerinin haliyle arttığı gözlemlenmiştir.

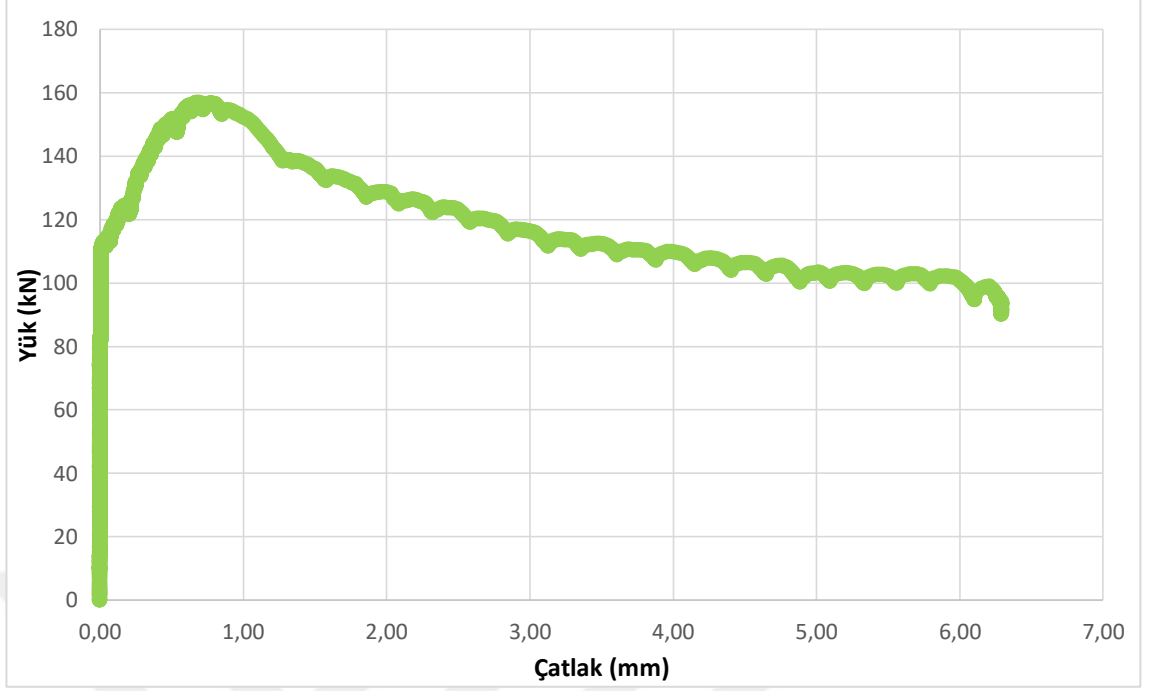
Deney sona erdikten sonra yük hücresi yardımıyla yer değiştirme ölçer (YD-5)'den anlık olarak kayıt edilen veriler yardımıyla meydana gelen yük-sehim grafiği Şekil 5.29'da gösterilmiştir.



Şekil 5.29. SG400SH için yük-sehim grafiği

Deney sonrası yer değiştirme ölçer (YD-5)'den değerlerin alınabilmesi için yük hücresi aracılığıyla veriler bilgisayar ortamına kayıt edilmiş ve yük-sehim grafiği Şekil 5.33'de görüldüğü üzere oluşturulmuştur. Kiriş elemanında azami eksenel yükün değeri Şekil 5.29'da görüldüğü üzere 156,84 kN olarak kayıt edilmiştir. Azami yükte meydana gelen sehim değeri ise 3,84 mm'dir.

Yer değiştirme ölçerler(YD-1,YD-2,YD-3,YD-4)'den kayıt edilen değerler yardımıyla yük-çatlak verileri hesaplanmış ve Şekil 5.30'da grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.30. SG400SH için yük-çatlak grafiği

Grafikte de anlaşılacağı üzere azami yüke (156,84 kN) aşamalı olarak yükselene kadar betonda oluşan çatlakların genişliklerinin boyutlarının büyüdüğü gözlemlenmiştir. Eksenel yük değeri azami değerine çıktıktan sonra ise eksenel yük değeri yaklaşık olarak eşit seviyelerde devam etmesine rağmen betonda oluşan çatlak genişlikleri artmaya devam etmiştir. Azami çatlak genişlik değeri ise 6,291 mm olarak kayıt edilmiştir.

5.9. 500 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG500SH)

TS 500 standardına göre imal edilmiş enine donatı olarak geogrid malzemesi kullanılan kiriş numunesini kalıbına doğru bir şekilde konumlandırdıktan ve santralden gelen hazır betonun döküm işlemi yapıldıktan sonra 28 gün boyunca kür havuzunda muhafaza edilmiştir. Beton malzemesi istenilen basınç dayanımına ulaştıktan sonra 1200°C rejimli fırında 500°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Deney esnasında yapısal davranışının incelenebilmesi için geogrid etriyeli kiriş numunesi eksenel yük uygulanabilecek düzeneğe Şekil 5.31’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 5.31. Deney öncesi SG500SH kiriş numunesi

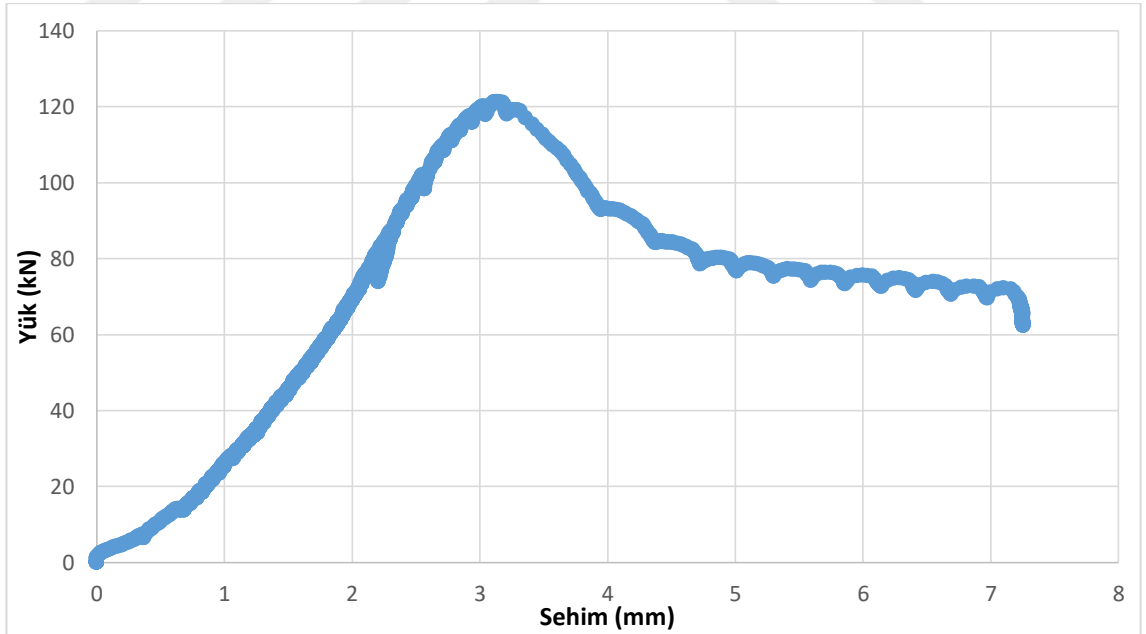
Kirişte elemanında gözle görülebilir ilk kılcal çatlakların oluşumu aksenal yük değeri yaklaşık olarak 85 kN değerine ulaştığı anda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Meydana gelen ilk çatlaklar tebeşir yardımıyla işaretlenmiştir ve bu esnada yük aşamalı olarak arttırılmaya devam etmiştir. İlk çatlak kısımlarına ilave olarak oluşan diğer çatlaklar ise aksenal yük değeri yaklaşık olarak 85 kN ile 100 kN arasında değerlere ulaştığı anda meydana gelmiştir. Oluşan bu ilave çatlakların daha iyi görülebilmesi ve ayırt edilebilmesi için farklı renk tebeşirler ile işaretlenmeye devam edilip aynı zaman da yük aşamalı olarak arttırılmaya devam edilmiştir. Kiriş elemanı tamamen yük alamayacak duruma gelene kadar bu yükleme işlemi devam etmiştir. Deney sona erdiği anda kiriş elemanında oluşan çatlaklar Şekil 5.32’de gösterilmiştir.

Kiriş numuneleri üzerinde aksenal yük etkisi ile beraber betonda oluşan kesme çatlakları aksenal yükün uygulandığı noktadan mesnet kısımlarına doğru olduğu görülmüştür. Bununla birlikte sonraki aşamalarda yük değeri arttıkça meydana gelen yeni çatlakların ilk çatlaklar ile paralel olduğu ve hatta daha sonraki aşamalarda bütün bu çatlakların birbirleri ile birleştiği ve çatlak genişliklerinin haliyle arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.32. Deney sonrası SG500SH kiriş numunesi

Deney sona erdikten sonra yük hücresi yardımıyla yer değiştirme ölçer (YD-5)'den anlık olarak kayıt edilen veriler yardımıyla meydana gelen yük-sehim grafiği Şekil 5.33'te gösterilmiştir.

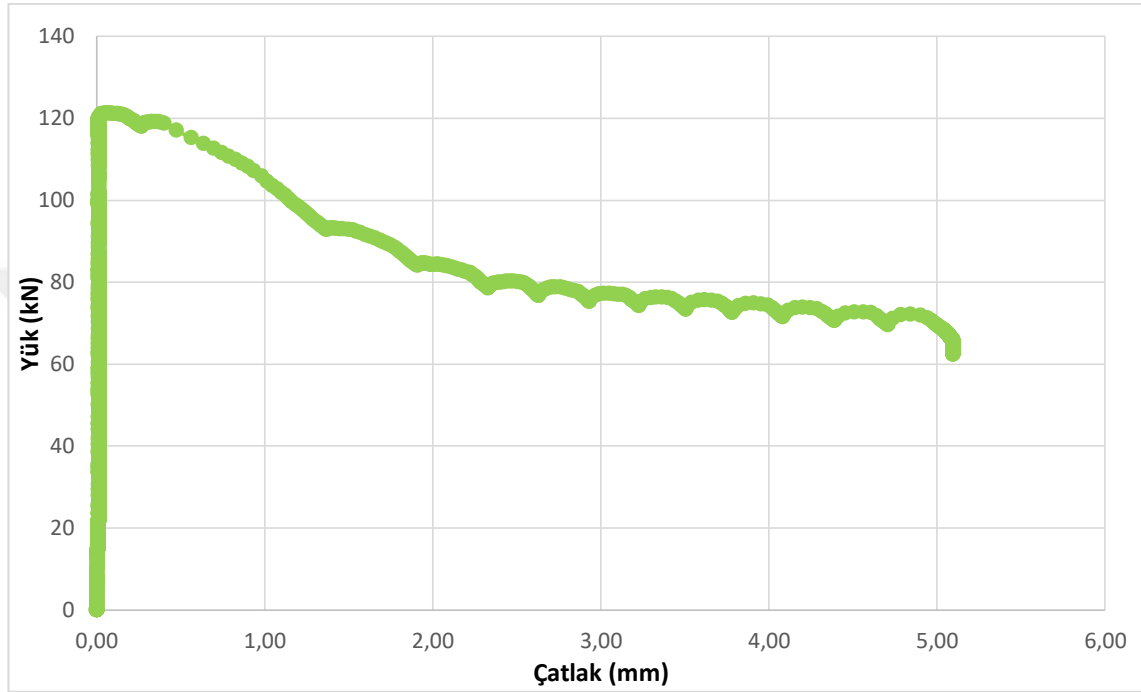


Şekil 5.33. SG500SH için yük-sehim grafiği

Deney sonrası yer değiştirme ölçer (YD-5)'den değerlerin alınabilmesi için yük hücresi aracılığıyla veriler bilgisayar ortamına kayıt edilmiş ve yük-sehim grafiği Şekil 5.34'de

görüldüğü üzere oluşturulmuştur. Kiriş elemanında azami aksenal yükün değeri Şekil 5.33'te görüldüğü üzere 121,16 kN olarak kayıt edilmiştir. Azami yükte meydana gelen sehim değeri ise 3,13 mm'dir.

Yer değiştirme ölçerler(YD-1,YD-2,YD-3,YD-4)'den kayıt edilen değerler yardımıyla yük-çatlak verileri hesaplanmış ve Şekil 5.34'te grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.34. SG500SH için yük-çatlak grafiği

Grafikte de anlaşılacağı üzere azami yüke (121,16 kN) aşamalı olarak yükselene kadar betonda oluşan çatlakların genişliklerinin boyutlarının büyüdüğü gözlemlenmiştir. Aksenal yük değeri azami değerine çıktıktan sonra ise aksenal yük değeri yaklaşık olarak eşit seviyelerde devam etmesine rağmen betonda oluşan çatlak genişlikleri artmaya devam etmiştir. Azami çatlak genişlik değeri ise 5,099 mm olarak kayıt edilmiştir.

5.10. 600 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG600SH)

TS 500 standardına göre imal edilmiş enine donatı olarak geogrid malzemesi kullanılan kiriş numunesini kalıbına doğru bir şekilde konumlandırdıktan ve santralden gelen hazır betonun döküm işlemi yapıldıktan sonra 28 gün boyunca kür havuzunda muhafaza edilmiştir. Beton malzemesi istenilen basınç dayanımına ulaştıktan sonra 1200°C rejimli

fırında 600°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Deney esnasında yapısal davranışının incelenebilmesi için geogrid etriyeli kiriş numunesi aksenal yük uygulanabilecek düzeneğe Şekil 5.35'te görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 5.35. Deney öncesi SG600SH kiriş numunesi

Kirişte elemanında gözle görülebilir ilk kılcal çatlakların oluşumu aksenal yük değeri yaklaşık olarak 80 kN değerine ulaştığı anda meydana geldiği gözlemlenmiştir. Meydana gelen ilk çatlaklar tebeşir yardımıyla işaretlenmiştir ve bu esnada yük aşamalı olarak arttırılmaya devam etmiştir. İlk çatlak kısımlarına ilave olarak oluşan diğer çatlaklar ise aksenal yük değeri yaklaşık olarak 80 kN ile 90 kN arasında değerlere ulaştığı anda meydana gelmiştir. Oluşan bu ilave çatlakların daha iyi görülebilmesi ve ayırt edilebilmesi için farklı renk tebeşirler ile işaretlenmeye devam edilip aynı zamanda yük aşamalı olarak arttırılmaya devam edilmiştir. Kiriş elemanı tamamen yük alamayacak duruma gelene kadar bu yükleme işlemi devam etmiştir. Deney sona erdiği anda kiriş elemanında oluşan çatlaklar Şekil 5.36'da gösterilmiştir.

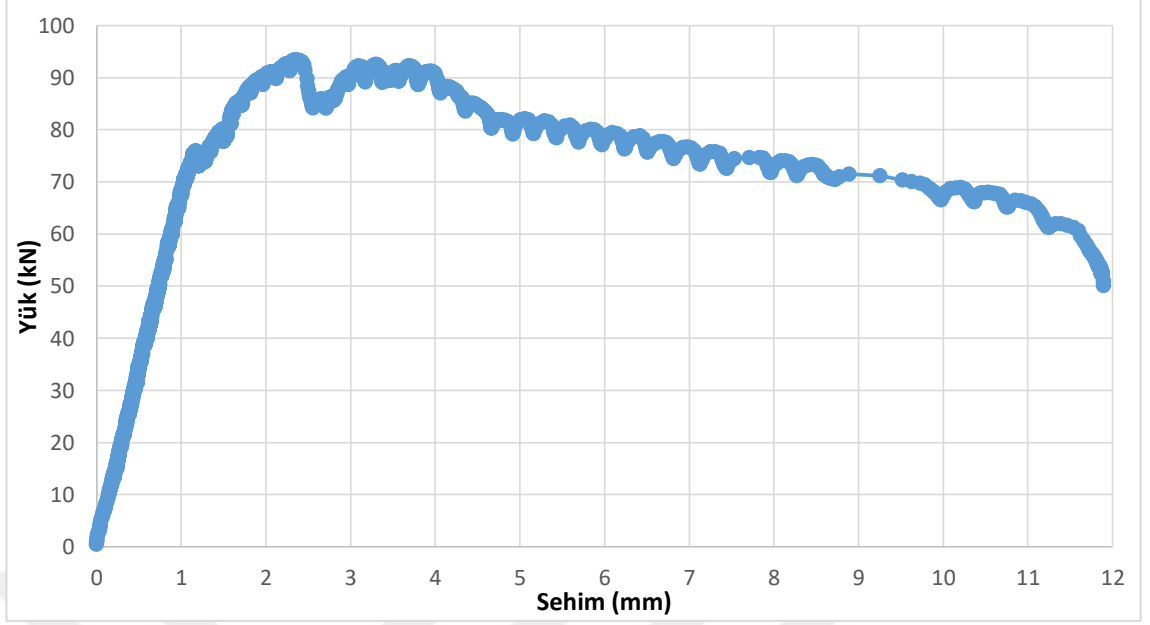


Şekil 5.36 . Deney sonrası SG600SH kiriş numunesi

Kiriş numuneleri üzerinde aksenal yük etkisi ile beraber betonda oluşan kesme çatlakları aksenal yükün uygulandığı noktadan mesnet kısımlarına doğru olduğu görülmüştür. Bununla birlikte sonraki aşamalarda yük değeri arttıkça meydana gelen yeni çatlakların ilk çatlaklar ile paralel olduğu ve hatta daha sonraki aşamalarda bütün bu çatlakların birbirleri ile birleştiği ve çatlak genişliklerinin haliyle arttığı gözlemlenmiştir.

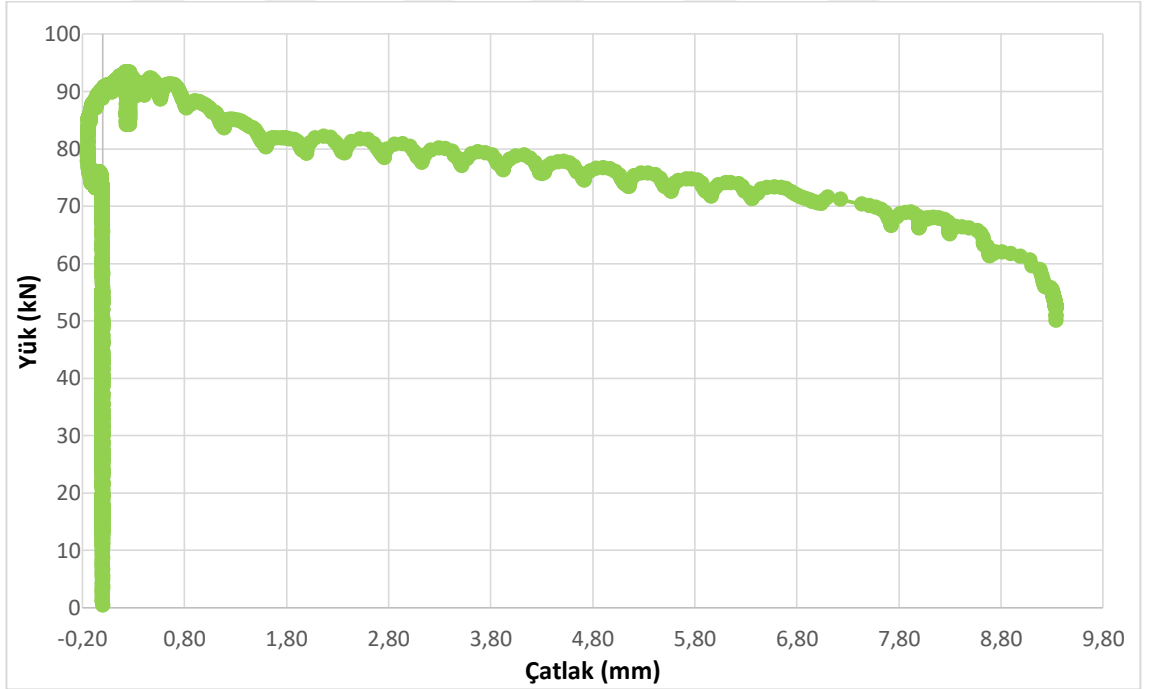
Deney sona erdikten sonra yük hücresi yardımıyla yer değiştirme ölçer (YD-5)'den anlık olarak kayıt edilen veriler yardımıyla meydana gelen yük-sehim grafiği Şekil 5.37'de gösterilmiştir.

Deney sonrası yer değiştirme ölçer (YD-5)'den değerlerin alınabilmesi için yük hücresi aracılığıyla veriler bilgisayar ortamına kayıt edilmiş ve yük-sehim grafiği Şekil 5.41'de görüldüğü üzere oluşturulmuştur. Kiriş elemanında azami aksenal yükün değeri Şekil 5.37'de görüldüğü üzere 93,38 kN olarak kayıt edilmiştir. Azami yükte meydana gelen sehim değeri ise 2,35 mm'dir.



Şekil 5.37. SG600SH için yük-sehim grafiği

Yer değiştirme ölçerler(YD-1,YD-2,YD-3,YD-4)'den kayıt edilen değerler yardımıyla yük-çatlak verileri hesaplanmış ve Şekil 5.38'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.38. SG600SH için yük-çatlak grafiği

Grafikte de anlaşılacağı üzere azami yüke (93,38 kN) aşamalı olarak yükselene kadar betonda oluşan çatlakların genişliklerinin boyutlarının büyüdüğü gözlemlenmiştir.

Eksenel yük değeri azami değerine çıktıktan sonra ise eksenel yük değeri yaklaşık olarak eşit seviyelerde devam etmesine rağmen betonda oluşan çatlak genişlikleri artmaya devam etmiştir. Azami çatlak genişlik değeri ise 9,342 mm olarak kayıt edilmiştir.

5.11. 800 °C Sıcaklığına Maruz Kalan Kiriş Numunesi (SG800SH)

TS 500 standardına göre imal edilmiş enine donatı olarak geogrid malzemesi kullanılan kiriş numunesini kalıbına doğru bir şekilde konumlandırdıktan ve santralden gelen hazır betonun döküm işlemi yapıldıktan sonra 28 gün boyunca kür havuzunda muhafaza edilmiştir. Beton malzemesi istenilen basınç dayanımına ulaştıktan sonra 1200°C rejimli fırında 800°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Deney esnasında yapısal davranışının incelenebilmesi için geogrid etriyeli kiriş numunesi eksenel yük uygulanabilecek düzeneğe Şekil 5.39’da görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 5.39. Deney öncesi SG800SH kiriş numunesi

Yüksek sıcaklığın etkisine bağlı olarak beton malzemesinde meydana gelen aşırı hasardan dolayı çok fazla yükleme yapılamamıştır. Çatlak oluşumları ise eksenel yük uygulanmaya başlar başlamaz ortaya çıktığı görülmüştür (Şekil 5.39).

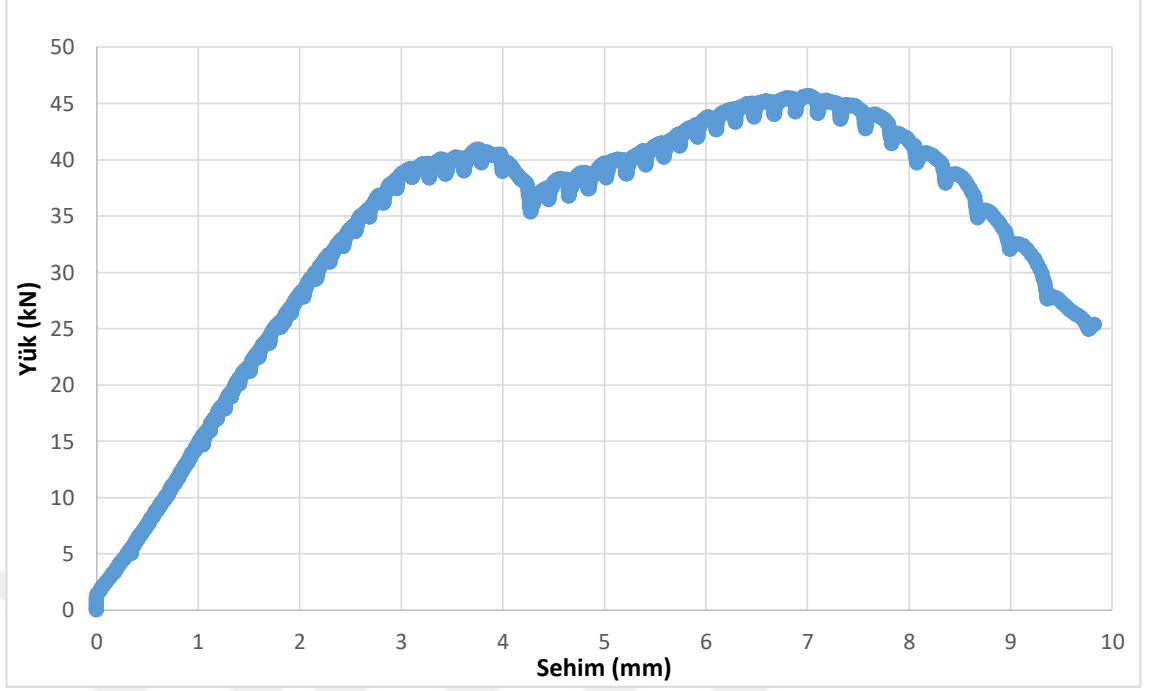


Şekil 5.40. Deney sonrası SG800SH kiriş numunesi

Kiriş numuneleri üzerinde aksenal yük etkisi ile beraber betonda oluşan kesme çatlakları aksenal yükün uygulandığı noktadan mesnet kısımlarına doğru olduğu görülmüştür. Bununla birlikte sonraki aşamalarda yük değeri arttıkça meydana gelen yeni çatlakların ilk çatlaklar ile paralel olduğu ve hatta daha sonraki aşamalarda bütün bu çatlakların birbirleri ile birleştiği ve çatlak genişliklerinin haliyle arttığı gözlemlenmiştir.

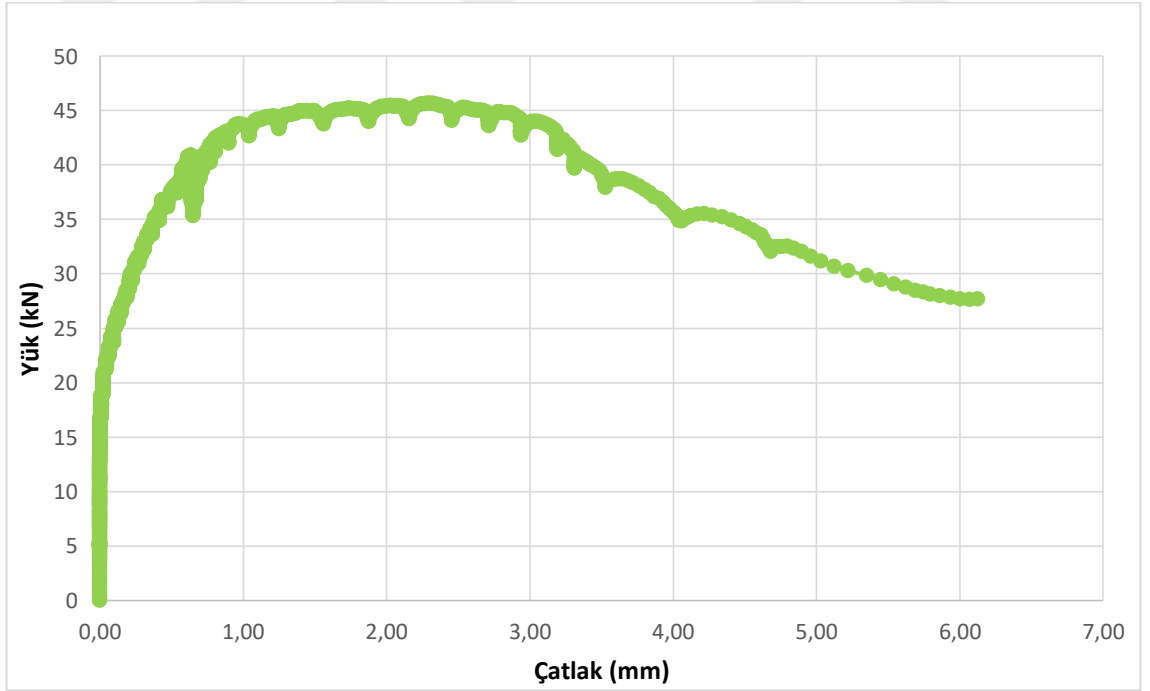
Deney sona erdikten sonra yük hücresi yardımıyla yer değiştirme ölçer (YD-5)'den anlık olarak kayıt edilen veriler yardımıyla meydana gelen yük-sehim grafiği Şekil 5.41'de gösterilmiştir.

Deney sonrası yer değiştirme ölçer (YD-5)'den değerlerin alınabilmesi için yük hücresi aracılığıyla veriler bilgisayar ortamına kayıt edilmiş ve yük-sehim grafiği Şekil 5.41'de görüldüğü üzere oluşturulmuştur. Kiriş elemanında azami aksenal yükün değeri Şekil 5.41'de görüldüğü üzere 45,68 kN olarak kayıt edilmiştir. Azami yükte meydana gelen sehim değeri ise 7,00 mm'dir.



Şekil 5.41. SG800SH için yük-sehim grafiği

Yer değiştirme ölçerler(YD-1,YD-2,YD-3,YD-4)'den kayıt edilen değerler yardımıyla yük-çatlak verileri hesaplanmış ve Şekil 5.42'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.42. SG800SH için yük-çatlak grafiği

Grafikte de anlaşılacağı üzere azami yüke (45,68 kN) aşamalı olarak yükselene kadar betonda oluşan çatlakların genişliklerinin boyutlarının büyüdüğü gözlemlenmiştir. Eksenel yük değeri azami değerine çıktıktan sonra ise eksenel yük değeri yaklaşık olarak eşit seviyelerde devam etmesine rağmen betonda oluşan çatlak genişlikleri artmaya devam etmiştir. Azami çatlak genişlik değeri ise 23,134 mm olarak kayıt edilmiştir.



6. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında betonarme kirişlerde yüksek sıcaklık etkisi altında kesme donatısı olarak çelikten farklı bir malzemenin enine donatı biçiminde konumlandırılmasının kiriş elemanlarının davranışları üzerindeki etkilerinin neler olduğu irdelenmiştir. Yapmış olduğumuz bu çalışmada, kiriş elemanlarının tasarım standartlarına uygun biçimde tasarlanan betonarme kirişleri temsil edecek hem çelik donatı hemde geogrid donatı detayı ve kesit özelliklerine sahip bir eleman üzerinde durulmuştur. Kesme donatısı için kullandığımız çelik donatı ve geçmiş çalışmalarda kullanım örnekleri bulunan geogrid malzemesi yüksek sıcaklıklar altında enine donatı olarak uygulanmış ve kiriş davranışı incelenmiştir. Bu amaçla bu numunelerden enine donatı olarak geogrid kullanılmış toplam 10 adet numuneler kullanılmış ve deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu numunelerin her sıcaklık değerleri için aksenal yük etkisi altındaki davranışları karşılaştırılmıştır.

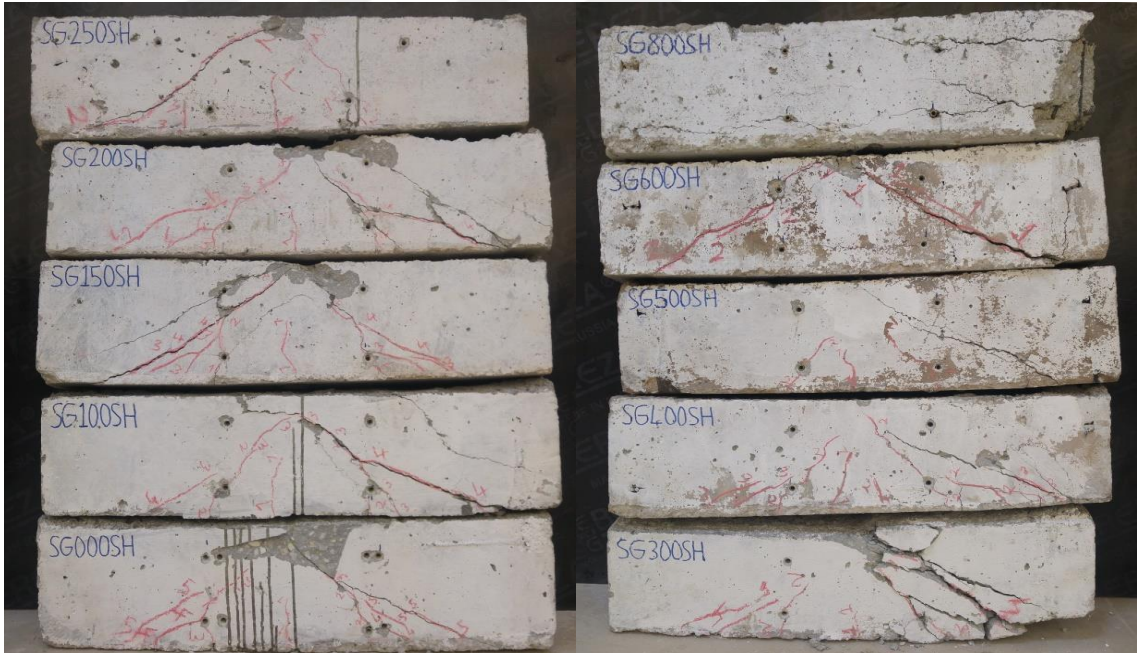
Enine donatı olarak kullandığımız geogrid malzemesinin farklı sıcaklık değerlerinde korumasız bir şekilde yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Bu işlemin ardından korumasız halde 250°C sıcaklığına ulaştığı anda malzemenin gevrekleşmeye başladığı, sıcaklık değeri 400°C'ye ulaştığı anda ise malzemenin erimeye başladığı görülmüştür. Şekil 6.1'de korumasız halde yakılan geogrid numunelerin resimleri görülmektedir. Sol taraftaki resimde 250°C sıcaklığına ulaşmış ve gevrekleşen numune, sağ tarafta ise 400°C değerine ulaşmış ve erimeye başlayan numune konumlandırılmıştır.

Geogrid malzemesinin bu sonuçlarından yola çıkmak gerekirse pas payı koruması altında kiriş elemanına uygulanan sıcaklık değeri 600°C değerine ulaştığı anda geogrid malzemesinin ancak eriyeceğini söyleyebiliriz.



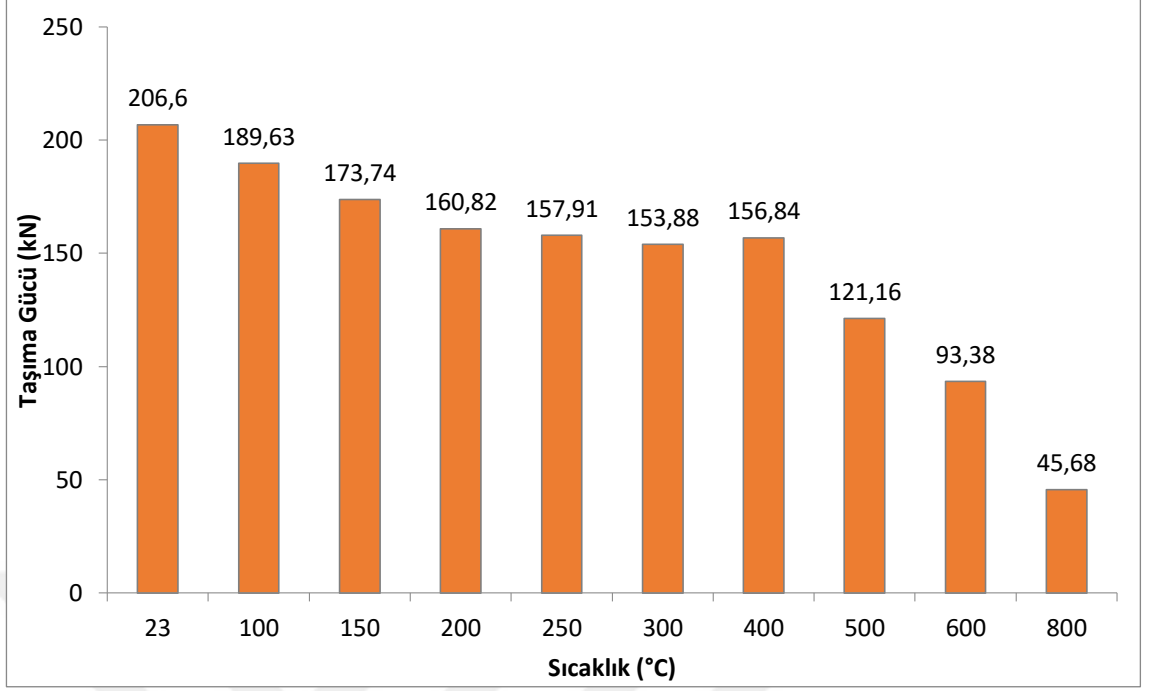
Şekil 6. 1. Korumasız halde yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan geogrid numuneler

Kiriş numunelerinin deney sonrasında çatlakların daha iyi görülebilmesi ve yorumlama da bize yardımcı olması açısından göçmüş olduğu resimlerin toplu hali Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.2. Kiriş numunelerinin deney sonrası toplu gösterimi

Kiriş numunelerinde çatlak oluşumu Şekil 6.2’den de görüleceği gibi birbirleriyle benzer şekilde gelişmiş ve mesnet bölgelerinde son bulmuştur. Buradan da anlaşılacağı gibi kesme etkisi altında geçecek şekilde tasarlanan kirişlerin tasarımlarının başarılı olduğu görülmektedir.

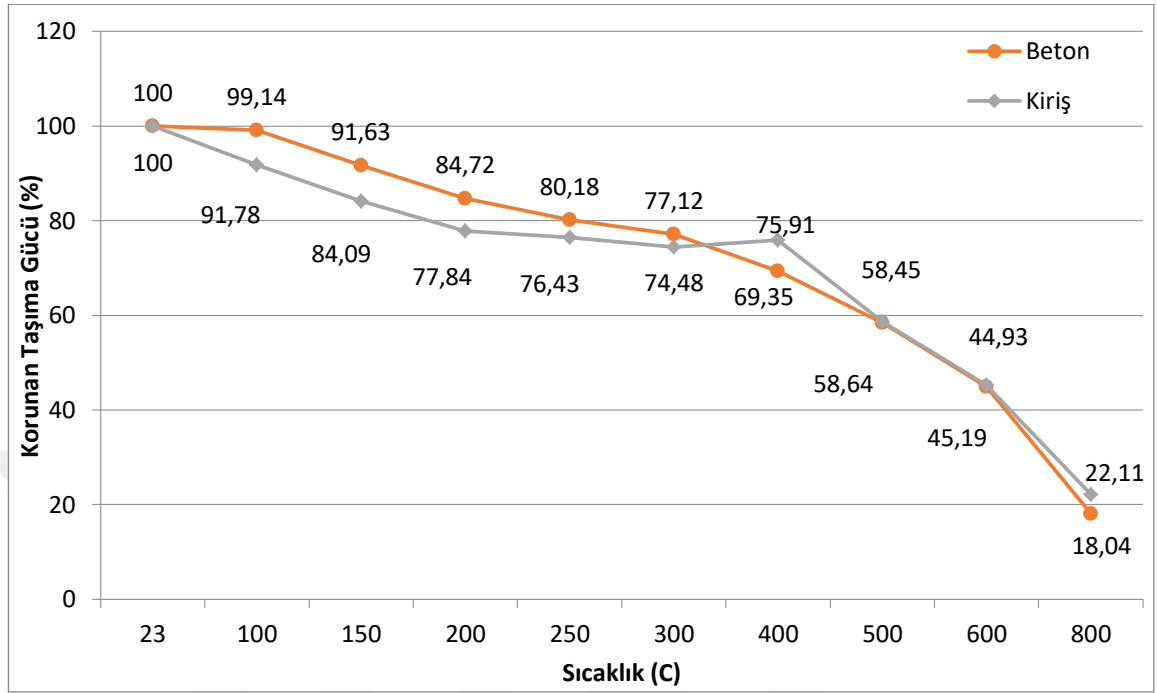


Şekil 6.3 Kiriş numunelerine ait sıcaklık taşıma gücü kapasitesi değişimi

Enine donatı olarak geogrid malzemesi kullanılan kiriş numunelerin sıcaklığın artması ile beraber taşıyabileceği yük miktarının devamlı bir düşüşe uğradığı Şekil 6.3’de de görüldüğü üzere aşıkardır.

Şekil 6.4’ten görüldüğü üzere uygulanan sıcaklık değeri 200°C’ye ulaştığı zaman numunelerin taşıyabileceği yük miktarında yaklaşık %23 düşüş gözlemlenmiştir. Malzeme deneylerinde bahsettiğimiz ve burada tekrar Şekil 6.3’te vurguladığımız üzere beton numunelerinde bu değer 200°C’ye ulaştığında %15 düşüş göstermesi yönündeydi. Sıcaklık değeri 400°C’ye ulaştığı zaman kiriş numunelerin taşıyabileceği yük miktarında oluşan kayıp yaklaşık %24 olarak gözlemlenmiştir. Fakat beton numunelerin de oluşan basınç dayanım kaybının %31 olduğunu varsayacak olursak geogrid etriyelerin yüksek sıcaklık etkisinde aderanslarını korumuş olduğu yorumunu yapabiliriz. Sıcaklık değeri 500°C’ye ulaştığı zaman ise taşıyabileceği yük miktarında oluşan kaybın yaklaşık %42 olduğu görülmektedir. Beton numunelerinin basınç testinde elde edilen değere göre ise basınç dayanımı kaybının %41 olduğu yöndeydi. Yine aynı şekilde sıcaklık değeri 600 °C’ye ulaştığı anda taşıma gücünde oluşan azalma miktarının aynı sıcaklık değerine ait beton basınç dayanımında oluşan kayıp ile aynı oranda olduğu (%55) sonuçlara yansımıştır. Son olarak benzer tutarlılık 800 °C

sıcaklığında da meydana gelmiştir. 800°C ısısına maruz kalan hem betonarme kirişinde hem de beton numunelerinde ki yük kaybı miktarları yaklaşık olarak %80 olmuştur.



Şekil 6. 4 Hedef sıcaklar için yüzde cinsinden karşılaştırmalı korunan dayanımlar

Bütün bu değerlere göre kiriş numunelerinin 400°C değerine kadar beton basınç sonuçlarını da göz önünde bulundurmak gerekirse iyi davranış gösterdiğini aderanslarını belirli bir oranda koruduklarını söyleyebiliriz. Fakat maruz kaldıkları sıcaklık değeri 500°C-800°C değerleri arasına geldiği zaman beton basınç değerlerinde oluşan azalma miktarı ile kirişlerin taşıma gücündeki azalma miktarlarını göz önünde bulundurursak numunelerin ağır bir hasar aldığını söyleyebiliriz.

Bütün bu deney sonucu değerlerini literatürde yapılan çalışmalar ile incelediğimiz zaman şu sonuçlara ulaşıyoruz:

Chadha ve Mundhada (2012) yaptıkları çalışmada yüksek sıcaklıklara maruz kalan kiriş elemanlarının çoğunun onarılabileceğini fakat sıcaklık değeri 900°C'nin üzerine çıktığı anda önemli bir kayıp olduğunu bulmuşlardır.

Yine farklı bir çalışmada Mundhada ve Pophale (2013) farklı yüksek sıcaklık değerlerine kiriş elemanlarını maruz bırakmışlardı. Sıcaklık değeri 550°C olduğu anda dayanımlarını büyük oranda koruduklarını, sıcaklık değeri 750°C'ye ulaştığı anda

dayanımlarının bir kısmını kaybettiklerini, sıcaklık değeri 950°C olduğu anda ise kirişlerin taşıma kapasitelerini tamamen kaybettiği sonucuna ulaşmışlardır.

Bizim deney sonuçlarında ise 400°C değerine ulaşan kiriş elemanlarının dayanımlarını büyük oranda koruduğu, 800°C değerine ulaştığında ise neredeyse taşıma kapasitelerinin tamamen kaybolduğu sonuçlarına ulaşmıştık. Chadha ve Mundhada (2012) ve Mundhada ve Pophale (2013) çalışmalarına kıyasla arada bu denli fazla farkın olmasının sebebi ise beton basınç değerlerinde elde edilen sonuçlardan da anlaşılacağı üzere numunelerin yüksek dayanımlı betonlarla yakın sonuçlar elde etmesidir. Yüksek derecelere ulaşan kiriş elemanlarında parça atmalar ve çatlak genişlemeleri görülmesi doğal olan bir durumdur Luo *et al.* (2000). Bu sebeple henüz 800°C ulaştığı anda taşıma kapasitelerini tamamen kaybetmiştir.

Sonuç olarak, gelişen teknolojiyle birlikte ulaşılabilen yapı malzemelerinin mühendislik yönünden kullanım alanlarını genişletmek ve bu malzemelerin daha da geliştirilebilmesi için kuramsal-deneysel temeller üzerinde yapılan akademik çalışmalar büyük önem arz etmektedir. Beton ve geogrid donatıların yüksek sıcaklık etkileri altındaki yapısal başarımlarının basınç aderans gerilmeleri üzerinden incelendiği bu çalışmada, beklenenin üzerinde sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca ileriye dönük çalışmalarda, kullanılan malzemelerin kendi yapısında veya birlikte kullanımında muhtelif değişikliklerin uygulanması ile başarımın daha da artırılabilceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdallah, S., Mizi Fan and David W.A. Rees. (2017) "Effect of elevated temperature on pull-out behaviour of 4DH/5DH hooked end steel fibres." *Composite Structures* 165 180–191.
- ACI Committee 318, (2014) "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-14) and Commentary", *American Concrete Institute*, Michigan, ABD, PA.
- Arslan G., (2005) Tersinir Yükle Altında Betonarme Çubukların Kesme mukavemeti, *Doktora Tezi, YTÜ Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- ASCE-ACI 426 (1973) "The Shear Strength of Reinforced Concrete Members", *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 99(ST6); 1091-1187.
- Ashok R. Mundhada and Arun D. Pophale. (2013) "Effect of Elevated Temperatures on Performance of RCC Beams", *International Journal of Civil, Structural, Environmental and Infrastructure, Engineering Research and Development*, Vol. 3, Issue 3, pp 105-112.
- Ataman, R., (1991) "Beton Yapıların Yangın Dayanımlarının İncelenmesi". *Y.Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Bingöl, F. A, (2008) Beton-Donatı Aderansına Yüksek Sıcaklıkların Etkisi. *Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 164s.
- Buchanan, A. H. (2001) *Structural Design for Fire Safety*, John Wiley and Sons Ltd.,
- Burnaz, O. (2010) Betonarme Yapılarda Yangın Ve Bu Yapıların Yangın Etkisi Altında Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi *Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 297s.
- BYKHY, (2002) "*Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik*".
- Celep Z. ve Kumbasar N. (2005) *Betonarme Yapılar*, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Chan Y. N., Peng, G. F. and Anson, M., (1999). "Residual strength and pore structure of high-strength concrete and normal strength concrete after exposure to high temperatures." *Cement and Concrete Composites*, 21, 23-27.
- Chang, Y.F., Chen, Y.H., Sheu, M.S. and Yao, G.C., (2006) "Residual stress-strain relationship for concrete after exposure to high temperatures." *Cement and Concrete Research*, 36, 1999-2005.
- Chichester, England.
- Chidambaram R. S. and Agarwal P. (2015b) "Performance Evaluation of Geogrid-Confined Beam-Column Joints With Steel Fiber Reinforced Concrete Under Cyclic Loading", *Journal of Testing and Evaluation*, doi:10.1520/JTE20150037. ISSN 0090-3973.
- Chidambaram R. S. and Agarwal P. (2015a) "Flexural and shear behavior of geo-grid confined RC beams with steel fiber reinforced concrete", *Construction and Building Materials*, 78, 271–280.

- E.G. Choi and Y .S. Shin. (2011) “The Structural Behaviour and Simplified Thermal Analysis of Normal-Strength and High-Strength Concrete Beams under Fire”, *Engineering Structures*, Volume 33, Issue 4, , pp 1123–1132.
- El-Hawary, M. and Hamoush, S.A. (1996). “Bond shear modulus of reinforced concrete at high temperatures.” *Engineering Fracture Mechanics*,55, 991-999.
- Ersoy, U. (2007) Betonarme: Temel İlkeler, TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap, *Evrin Yayınevi*, İstanbul.
- Ersoy, U. ve Özcebe G. (2001) “Betonarme: Temel İlkeler, TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap”, **6. baskı**, *Evrin Yayınevi*, İstanbul, ISBN:978-975-503-233-7, 90-91, 31-37, 58-73, 459-477.
- F. El Meski, Ph.D., P.E. and G. R. Chehab, Ph.D. (2014) A.M.ASCE “Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced with Different Types of Geogrids” *American Society of Civil Engineers*
- G. Ferrotti , F. Canestrari, A. Virgili and A. Grilli (2010) “A strategic laboratory approach for the performance investigation of geogrids in flexible pavements””. *Construction and Building Materials* ,25, 2343-2348
- Gustafarro, A.H., Abrams, M.S. and Litvin, A. (1971) “Fire resistance of lightweight insulating concrete.” *Lightweight Concrete, ACI Publication* SP-29, 161-180.
- Hacıemiroğlu M. (2014) Yangın Geçirmiş Betonarme Bir Yapının Deprem Performansının Değerlendirilmesi *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 167s.
- Hai Yan Zhang , Venkatesh Kodur, Bo Wua, Jia Yan and Zhen Sheng Yuan. (2018) “Effect of temperature on bond characteristics of geopolymer concrete.” *Construction and Building Materials* 163 (2018) 277–285.
- Handoo, S.K., Agarwal, S. and Agarwal, S.K. (2002) “Physicochemical, mineralogical and morphological characteristics of concrete exposed to elevated temperatures.” *Cement and Concrete Research*, 32, 1009-1018.
- Hayssam Itani, George Saad and Ghassan Chehab (2016) “The use of geogrid reinforcement for enhancing the performance of concrete overlays: An experimental and numerical assessment” *Construction and Building Materials* ,124, 826-837
- Hsu J. H. and Lin C. S. (2006) “The Residual Bearing Capabilities of Fire-Exposed Reinforced Concrete Beams”, *International Journal of Applied Science and Engineering*,.4, 2, pp 151-163.
- Hüsem, M. (2006) “The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high-performance concrete.” *Fire Safety Journal*, 41, 155-163.
- Işıltan Ö. (2010) Betonarme Kolonlar İçin Dbybhy 2007, Eurocode 8 Ve Fema 356 İle Yapılan Performans Değerlendirmelerinin Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

- Janotka, I. and Bagel, L. (2002) "Pore structures, permeabilities and compressive strengths of concrete at temperatures up to 800°C." *ACI Materials Journal*, 99 (2), 196-200.
- Khattab Saleem Abdul-Razzaq (2015) "Effect Of Heating On Simply Supported Reinforced Concrete Deep Beams" *Diyala Journal of Engineering Sciences*, 08, 116-123
- Lau A. and Anson M. (2006) "Effect of High Temperatures on High Performance Steel Fibre Reinforced Concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, Issue 9, pp 1698–1707.
- Li, M., Qian, C. and Sun W. (2004) "Mechanical properties of high-strength concrete after fire." *Cement & Concrete Research*, 34, 1001-1005.
- Lin, W.M., Lin, T.D. and Powers-Couche, L.J. (1996) "Microstructures of Fire Damaged Concrete." *ACI Materials Journal*, 93 (3),p: 199-205.
- Luccioni, B.M., Figueroa, M.I. and Danesi, R.F. (2003) "Thermo-mechanic model for concrete exposed to elevated temperatures." *Engineering Structures*, 25, 729-742.
- Özhan, V. K (2012) Farklı Beton Sınıfına Bağlı Betonarme Kirişlerin Eğilme Kapasitelerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 43s.
- R. Siva Chidambaram and Pankaj Agarwal (2014) "Flexural and shear behavior of geo-grid confined RC beams with steel fiber reinforced concrete" *Construction and Building Materials*,78, 271–280
- Rahul P. Chadha and Mundhada A. R. (2012) "Effect of Fire on Flexural Strength of Reinforced Concrete Beam", *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* Vol. 1, Issue 3.
- Rami J.A. Hamad, M.A. Megat Johari and Rami H. Haddad. (2017) "Mechanical properties and bond characteristics of different fiber reinforced polymer rebars at elevated temperatures." *Construction and Building Materials* 142 521–535.
- Rostasy, F.S., Weiss, R. and Wiedemann, G. (1980) "Changes Of Pore Structure Of Cement Mortars Due To Temperature." *Cement and Concrete Research*, 10, 157-164.
- Saatçioğlu M. and Razvi S. R. (1992) "Strength And Ductility Of Confined Concrete", *J. Struct. Eng.*, 118, 1590-1607.
- Sebastjan Bratina, Miran Saje and Igor Planinc. (2007) "The Effects Of Different Strain Contributions On The Response Of RC Beams In Fire", *Engineering Structures*, Volume 29, Issue 3, pp 418–430.
- Shneider, U. and Weiss, R. (1977) "Kinetic Considerations On The Thermal Destruction Of Cement-Bound Concrete And Its Mechanical Effects". *Cement Concr. Research*, 7.
- Sivakamasundari S., Daniel A. J. and Kumar A. (2017) "Study on Flexural Behavior of Steel Fiber RC Beams Confined With Biaxial Geo-Grid", *Procedia Engineering*, 173, 1431–1438.

- TS 500 (2000) “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (ICS 91.080.40)”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, TS.
- TS EN 1992-1-2 (2012) Betonarme Yapıların Tasarımı-Bölüm 1-2: Genel Kurallar-Yapısal Yangın Tasarımı (Eurocode2), Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Ünlüoğlu, E., Topçu, İ.B. ve Yalaman, B. (2007) “Yüksek Sıcaklıkta Kalmış Yapılarda Pas Payının Betonarme Çelik Donatı Özelliklerine Etkisi” *İMO Teknik Dergi*, 4145 -4155, Yazı 273.
- Vydra, V., Vodak, F., Kapickova, O. and Hoskova, S., (2001). Effect of temperature on porosity of concrete for nuclear-safety structures. *Cement and Concrete Research*, 31, 1023-1026.
- Xiao, J. and König, G. (2004) ‘‘Study on concrete at high temperature in China-an overview.’’ *Fire Safety Journal*, 39, 89-103.





EKLER

EK-1. Tez Çalışması Süresince Yapılan Akademik Çalışmalar

Özkal, F. M., Polat, M., Yağan, M. ve Öztürk M. O. (2018) “Mechanical Properties and Bond Strength Degradation of GFRP and Steel Rebars at Elevated Temperatures”
Construction & Building Materials - 184, 45-57.



ÖZGEÇMİŞ

Muhammed Orhan ÖZTÜRK, 1993 yılında Erzurum’da doğdu. İlköğrenim ve Lise öğretimini Samsun’da tamamladı. 2016 yılında Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Construction and Building Materials isimli Dergide (sayı:184, sayfa:45-57) yayımlanmış bir makalesi bulunmaktadır. Erzincan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri dahilinde Standart Araştırma Projeleri Kapsamında FBA-2017-491 Numaralı Projede araştırmacı olarak görev almıştır. Hâlihazırda bir yapı denetim firmasında inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır.

