

**İKİ VE ÜÇ BOYUTLU CFRP'Lİ EĞİLME KİRİŞLERİNDE BOYUT
ETKİSİ**

Eyub Mustafa KAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2010

ANKARA

Eyub Mustafa KAYA tarafından hazırlanan “İKİ VE ÜÇ BOYUTLU CFRP’Lİ EĞİLME KİRİŞLERİNDE BOYUT ETKİSİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Sıddık ŞENER

.....

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Hüsnü CAN

.....

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Prof.Dr. Sıddık ŞENER

.....

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Prof.Dr. Abdussamet ARSLAN

.....

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Tarih 08/10/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Eyub Mustafa KAYA

İKİ VE ÜÇ BOYUTLU CFRP'Lİ EĞİLME KİRİŞLERİNDE BOYUT ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Eyub Mustafa KAYA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ekim 2010

ÖZET

Bu çalışmada basit mesnetli, üç nokta yüklemesi altında farklı boyutlu kirişlerde boyut etkisi deneyleri yapılmıştır. Deney numuneleri en büyük agrega çapı 15 mm olan betondan yapılmış olup kirişlerin çekme bölgesine CFRP yapıştırılarak kirişler güçlendirilmiştir. Kirişler toplam 3 grup halinde 2 boyutu ve 3 boyutu değişken olarak hazırlanmış ve test edilmiştir. Deney sonuçlarında kirişlerin göçme yükünde boyut etkisinin varlığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 911.1.082

Anahtar Kelimeler: Boyut etkisi, kırılma mekaniği, CFRP'li kirişler.

Sayfa Adedi : 68

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Sıddık ŞENER

**SIZE EFFECT ON TWO AND THREE DIMENSIONAL BENDING BEAMS
WITH CFRP**

(M.Sc. Thesis)

Eyub Mustafa KAYA

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

October 2010

ABSTRACT

In this study, two and three dimensional size effect of simply supported concrete beams which are in different sizes and loaded in three points is experimentally investigated. Test beams which have maximum 15mm aggregate size are strengthened by CFRP glued to beam for bending. Test beams are divided in three groups and tested with variable sizes in two and three dimension. This experimental study results show us that there is a size effect in fracture of beams.

Science Code : 911.1.082

Key Words : Size effect, fracture mechanics, with CFRP beams.

Page Numbers : 68

Advister : Prof. Dr. Sıddık ŞENER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla ben yönlendiren Hocam Prof. Dr. Sıddık ŞENER'e yine değerli deneyimlerinden yararlandığım hocam Araş.Gör. Yasin ÇAĞLAR'a ve laboratuarda destekleriyle yardımcı olan Uzman Faruk OGÜN'e ayrıca tezi hazırlamamda katkıları bulunan eşim Merve DOĞAN KAYA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. BOYUT ETKİSİ	6
2.1. Boyut Etkisinin Enerji İle Açıklanması	9
2.1.1. Type I boyut etkisi	16
2.1.2. Type II boyut etkisi	16
2.3. Kırılma Bölgesi	17
2.4. Boyut Etkisi ve Yapıların Gevrekliği	20
2.5. Artık Sünek Yada Sürtünme Limitinin Etkisi.....	21
2.6. Boyut Etkisi Tipleri.....	21
2.6.1. Rastgele dayanım yüzünden istatistiksel boyut etkisi.....	21
2.6.2. Farklı rutubet ve kırılma yüzünden boyut etkisi	22
2.6.3. Çeper etkisinin doğurduğu boyut etkisi	22
2.6.4. Çatlak kenarındaki uçlarda üç boyutlu tekillik yüzünden boyut etkisi	22
2.6.5. Agrega boyutunun etkisi	22

Sayfa

2.7. Yüksek dayanımlı beton ve harç dayanımının etkisi	23
3. DENEY KİRİŞLERİ.....	25
3.1. Kirişlerin Sınıflandırılması.....	25
3.1.1. Üç Boyutlu Kirişler CFRP 'li (CF3 Grubu)	25
3.1.2. İki Boyutlu CFRP'li Kirişler.....	26
3.2. Kullanılan Malzemeler	28
3.2.1. Beton	28
3.2.2. CFRP	28
3.3. Deney Düzeneği	31
3.4. Deney Kirişlerinin Hazırlanması.....	31
3.5. Beton Karışımının Hesabı.....	32
3.5.1. Üç Boyutta Değişken Kirişler	32
3.5.2. İki Boyutta Değişken Kirişler	33
3.6. Deney Yapılışı.....	35
3.7. Beton Dayanımları	35
3.7.1. Üç Boyutlu CFRP'li Kirişler.....	35
3.7.2. İki Boyutlu CFRP'li Kirişler.....	35
4. DENEY SONUÇLARI	37
4.1. Üç Boyutlu CFRP 'li Deney Kirişleri	37
4.2. İki Boyutlu Kirişler	38
4.2.1. Kalınlık değişken CFRP'li kirişler	38
4.2.2. Genişlik değişken CFRP'li kirişler	39
5. SONUÇLARIN ANALİZLERİ	40

Sayfa

5.1. Type 1 Lineer Regrasyonları.....	41
5.2. Type 1 Nonlineer Regrasyonları	42
6. ÇATLAK HARİTALARI	43
6.1. Üç Boyutlu Kiriş Göçmesinde Çatlak Haritaları	43
6.2. İki Boyutlu Kirişlerde Çatlak Haritaları.....	46
6.2.1. Kalınlık değişken kiriş göçmesinde çatlak haritaları	46
6.2.2. Genişlik değişken kiriş göçmesinde çatlak haritaları.....	49
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR	53
EKLER.....	56
EK-1 Deney Kirişleri Düzeltme Yapılmamış Yük-Yer Değiştirme Grafikleri.....	57
EK-2 CF31-3 Kirişleri Deney Sonrası Durumu.....	58
EK-3 CF34-5 Kirişleri Deney Sonrası Durumu.....	59
EK-4 CF37-9 Kirişleri Deney Sonrası Durumu.....	60
EK-5 CF310-12 Kirişleri Deney Sonrası Durumu.....	61
EK-6 CFH2-5 Kirişleri Deney Sonrası Durumu.....	62
EK-7 CFH6-8 Kirişleri Deney Sonrası Durumu.....	63
EK-8 CFH9-12 Kirişleri Deney Sonrası Durumu.....	64
EK-9 CFB1-3 Kirişleri Deney Sonrası Durumu	65
EK-10 CFB4-6 Kirişleri Deney Sonrası Durumu	66
EK-11 CFB7-9 Kirişleri Deney Sonrası Durumu	67
ÖZGEÇMİŞ	68

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Olasılıksal boyut etkisi.....	6
Şekil 2.2. Boyut etkisi yasası	7
Şekil 2.3. Gevrek, yarı gevrek, sünek malzemeler.....	8
Şekil 2.4. Boyut etkisinin enerji ile açıklanması.....	10
Şekil 2.5. Boyut etkisi ifadesinin grafik gösterimi (Type I)	13
Şekil 2.6. Boyut etkisi ifadesinin grafik gösterimi (Type II).....	15
Şekil 2.7. Farklı malzemelerin kırılma bölgeleri	19
Şekil 3.1. 3 Boyutlu CFRP’li kirişler	25
Şekil 3.2. 2 Boyutlu CFRP’li kirişler	26
Şekil 3.3. 2 Boyutlu CFRP’li kirişler	27
Şekil 3.4. Gerilme-Birim uzama diyagramı	30
Şekil 3.5. 3 Boyutlu kirişler	32
Şekil 3.6. İki boyutlu kirişler	34
Şekil 4.1. CF3 Grubu Yük(P)-Yerdeğiştirme(Δ) Grafiği.....	37
Şekil 4.2. CFH Grubu Yük(P)-Yerdeğiştirme(Δ) Grafiği.....	38
Şekil 4.3. CFB Grubu Yük(P)-Yerdeğiştirme(Δ) Grafiği	39
Şekil 5.1. Type 1 Lineer regrasyonları.....	41
Şekil 5.2. Type 1 Nonlineer regrasyonları	42
Şekil 6.1. CF31-5 Kirişleri çatlak haritaları.....	43
Şekil 6.2. CF37-9 Kirişleri çatlak haritaları.....	44
Şekil 6.3. CF310-12 Kirişleri çatlak haritaları.....	45

Şekil	Sayfa
Şekil 6.4. CFH1-6 Kirişleri çatlak haritaları	46
Şekil 6.5. CFH7-9 Kirişleri çatlak haritaları	47
Şekil 6.6. CFH10-12 Kirişleri çatlak haritaları	48
Şekil 6.7. CFB1-6 Kirişleri çatlak haritaları	49
Şekil 6.8. CFB7-9 Kirişleri çatlak haritaları	50
Şekil 6.9. CFB10-12 Kirişleri çatlak haritaları	51

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Üç Boyutlu CFRP’li Deney Kirişleri Göçme Yükleri.....	37
Çizelge 4.2. İki Boyutlu Kalınlık Değişken CFRP’li Deney Kirişleri Göçme Yükleri	38
Çizelge 4.3. İki Boyutlu Kalınlık Değişken CFRP’li Deney Kirişleri Göçme Yükleri	39

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. CFRP ile güçlendirilmiş kirişler	30
Resim 3.2. Deney kirişlerinin hazırlanması	32

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Simgeler	Açıklama
A	Lineer Regresyon Eğimi
a	Çatlak uzunluğu
B	Malzeme özelliğine bağlı sabit
C	Lineer Regresyon Doğrusunun Düşey eksenini kestiği nokta
C_n	Uygunluk katsayısı
C₀	Ampirik sabit
d_a	En büyük agrega boyutu
D₀	Yapı biçimine bağlı sabit katsayı
E	Elastisite Modülü
f_c	Betonun basınç dayanımı
f_t	Betonun çekme dayanımı
f_b	Borunun akma gerilmesi
I	Eylemsizlik momenti
İ	Eylemsizlik yarıçapı
P	Kırılma yükü
P_{cr}	Kritik yük
W	Enerji
β	Gevreklik katsayısı
ε	Birim şekil değiştirme
σ_N	Göçme gerilmesi

1. GİRİŞ

Bu çalışmada basit mesnetli, üç nokta yüklemesi altında farklı boyutlu kirişlerin deney sonuçları verilmiştir. Deney numuneleri CFRP betondan yapılmış olup en büyük agrega çapı 15 mm dir. Üç boyutlu uzunlukları (200, 400 ve 800 mm), yükseklikleri (40, 80, ve 160 mm), genişlikleri farklı (40, 80 ve 160 mm) kirişler ile iki boyutluda üç farklı uzunlukları (200, 400 ve 800 mm), yükseklikleri (40, 80, ve 160 mm) değişken olup, üçüncü boyut sabit (40 mm) dir. Kirişler üç ve iki boyutta farklı, geometrik olarak benzerdir. Sonuçlar Bazant'ın önerdiği yaklaşık boyut etkisi ifadesini sağlamaktadır.

İnşaat mühendisliğinde yapıların analizi yöntemlerinde iki önemli durumdan bahsedilebilir. Bunlardan birincisi dayanım kriteri ve diğeri lineer elastik kırılma mekaniği kriteri olarak bilinir. Dayanım kriterinde yapı, dış ve iç etkiler göz önünde bulundurarak hesaplanır. Limit lineer elastik kırılma mekaniğinde ise yapıya tesir eden yüklerden oluşan yer değiştirmeler, şekil değişimler önemli olur ve iç gerilmelerden oluşan çatlaklar yapı için limit kriterleri oluşturur.

Beton, yarı gevrek bir malzeme olup davranışının plastik yada elastik teoriye göre açıklanması doğru olmayıp, kırılma mekaniğine dayanmalıdır. Var olan yönetmenliğimiz TS500 [1] plastik limit analizine dayanmakta olup boyut etkisi içermez. Malzeme davranışı, gerilme ve uzama cinsinden tam olarak tanımlanamazlar. Malzemenin matematik modeli, kırılma enerjisi ve karakteristik uzunluk denilen değişken içermelidir. Bu tip malzeme deneylerinde boyut etkisi görüldüğünden matematik modelde boyut etkisi göstermelidir. Geometrik olarak benzer farklı yapılar karşılaştırılırsa kırılma anındaki nominal gerilme σ_N 'in elemanın karakteristik boyutu D ile azaldığı gözlenir.

Son yıllarda beton yada betonarme konusunda yapılan deneysel araştırmalar, betonun kırılmaya yol açtığı tüm elemanların boyut etkisi göstermiştir. Bu sadece betonun çekme gerilmelerini taşıyamadığı için oluşan kırılmalar değil eğilme gerilmelerini

taşıyamadığı için oluşan kırılmalar için de geçerlidir [2]. Aynı durum ön gerilmeli beton kiriş için de geçerlidir. Malzemenin kırılma özellikleri, beton elemanlarda boyut etkisinin beklenmesi gerektiğini gösteren tek neden değildir. Son yıllardaki araştırmalara göre bir elemanın yük-yer değiştirme eğrisi, en büyük yük sonrası, eleman boyutu ile farklı yumuşama (artan yer değiştirmelerle yüklerin azalması) gösterir. Yapı analizindeki boyut etkisinin, fizikte karşılığı olan ölçek yasasının anlaşılması ile birçok fiziki olayın doğru analiz edilmesi gereklidir. Bu durum beton yapılar [3] için de geçerlidir. Büyük ve küçük elemanlar arasındaki ölçek kanununun farklılığı görecelik ve kuantum mekaniği teorilerin gelişmesinin sonucudur. Akışkanlar mekaniğindeki ölçek problemi, sınır tabaka ve türbülans kuramların daha gerçekçi bulunmasına yol açmıştır [4].

Yakın zamana kadar betonda boyut etkisine, olasılıksal davranışın bir sonucu olarak bakılırdı. Weibull tipi teorilerle, boyut etkisi açıklanır ve güvenlik katsayıları kullanılırdı. Gerçekte maksimum yüke ulaşılmadan önce çatlaklar büyümektedir. Beton dayanımı, boyut etkisini çok az değiştirmektedir [5]. Daha büyük yapı daha fazla şekil değiştirme enerjisi tutabilir. Birim alanda çatlak gelişimi için enerji tüketimi yapı boyutuna bağlı olmaksızın aynıdır ve enerji çatlağın ilerlemesine neden olur.

Betonun gevrek, çatlaklı ve homojen olmayan bir malzeme olması kırılma mekaniği hesap yöntemlerindeki değişkenlerin bulunmasını güçleştirmektedir.

Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmada basit mesnetli, üç nokta yüklemesi altında farklı boyutlu kirişlerin deney sonuçları verilmiştir. Deney numuneleri CFRP'li betondan yapılmış olup en büyük agrega çapı 15 mm dir. Üç boyutlu uzunlukları (200, 400 ve 800 mm), yükseklikleri (40, 80, ve 160 mm), genişlikleri (40, 80 ve 160 mm) dir. İki boyutluda uzunlukları (200, 400 ve 800 mm), yükseklikleri (40, 80, ve 160 mm), kalınlıkları ise sabit (40 mm) kirişler olmak üzere 35 kiriş denenmiştir.

Bu Konudaki Araştırmalar

Betonun kırılma mekaniğinin önemli bir uygulaması olan boyut etkisi günümüzde dünyada birçok araştırmacı tarafından deneysel ve analitik çalışmalarla zenginleştirilmektedir. Boyut etkisi üzerinde özellikle Amerika’da Northwestern Üniversitesi’nde Prof. Bazant yoğun araştırmalar yapmaktadır. Avrupa’da ise İngiltere’de Prof. Barr, İtalya’da Prof. Carpinteri, Almanya’da Prof. Reinhard, İsviçre’de Prof. Wittmann çalışmaktadır. Japonya’da ise Prof. Mihashi uluslararası çalışmalar yapmaktadır. Konunun önemi dolayısı ile 1987’de başlayan Betonun Kırılma Mekaniği Konferansları iki bir yılda yinelenmektedir.

Bugüne kadar yapılmış boyut etkisi çalışmaları şöyle özetlenebilir: Ön gerilmeli beton kirişlerin kesme göçmesinde boyut etkisi [6], betonarme kirişlerin kesme göçmesinde boyut etkisi [7], agrega boyutunun değişimi ile boyut etkisinin incelenmesi [8], diyagonal kesme göçmesinde boyut etkisi [9], donatısız boruların kiriş ve çembersel göçmesi [10], kirişlerin burulma göçmesinde boyut etkisinin analitik incelenmesi [11], döşemelerin deneysel zımbalama göçmesi [12], boyuna donatı ve donatısız kirişlerin deneysel olarak burulma göçmesi [13], çekip çıkarma deneylerinde boyut etkisi [14], etriyesiz betonarme kirişlerin diyagonal kesme göçmesi [15], Brezilya yarma deneylerinde boyut etkisi [16], yüksek mukavemetli, çentikli beton kirişlerde boyut etkisi [17], beton silindirlerin çift zımbalama deneylerinde boyut etkisi [18], boyut etkisi üzerine yapılmış analitik ve deneysel çalışmalardır. Kırılma mekaniğinin betonarme yapı tasarımında kullanımı yaygınlaşmaktadır [19].

Bu konudaki çalışmalarla paralel Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde deneysel ve analitik çalışmalar yapılmaktadır. Bu konudaki çalışmalarından bazıları; Direkt çekme altında aderans ekinde boyut etkisinin araştırılması [20], Aderans ekinde dolayı yükleme altında boyut etkisinin araştırılması [21], Sargılı donatıların aderans ekinde boyut etkisi [22], Dolaylı yükleme altında aderans ekinde sargılı ve sargısız 2 ve 3 boyutlu elemanlarda boyut etkisinin araştırılması [23], Direkt ve

indirekt yüklemelerde sabit moment ve kesme bölgelerinde aderans eki deneyleri (spiralli ve spiralsız) [24], Burulma altında betonarme kirişlerde boyut etkisinin araştırılması[25], Yüksek dayanımlı silindirlerde boyut etkisi [26], Eksenel yüklü betonarme kolonlarda boyut etkisi [27-30],

Niçin Boyut Etkisi

Kırılma mekaniğinin homojen gevrek malzemelere uygulanması bu yüzyılın başlarında 1913’de Ingils, ile başlamış sonra 1921’de Griffith ile devam etmiştir. Betona uygulanması ise 1960’da Prof.Kaplan (Cape Town) [31], tarafından ilk kez başlatılmıştır. Kırılma mekaniğinin betona uygulanmasında en önemli gerekçelerden biri de geometrik olarak benzer farklı boyutlu elemanlarda göçmedeki gerilmenin boyut arttıkça azalmasıdır. Boyut etkisi üzerindeki çalışmaların yoğunluğu, günümüzde artıp, yayılmaktadır. Gün geçtikçe eski sonuçları yeni sonuçlar değiştirmektedir. Sonunda daha güvenli daha sağlam ve daha yüksek binalar yapılmaktadır.

Boyut etkisinde birçok gerekçe vardır:

- Diğer mukavemete dayanan göçme teorileri (elastisite-plastisite) göçmede enerji kullanmazken, gerçekte çatlak gelişimi için enerji gerekli olup boyut etkisi enerji prensibi kullanılır
- Farklı boyutlu yapıların en büyük yük sonrası davranışlarını (süneklik) mukavemet kriterleri göz önüne almaz iken, boyut etkisi bu farklılığı göz önüne alır.
- Farklı boyutlu geometrik olarak benzer elemanlarda göçme yüklerine karşı gelen nominal gerilme, mukavemet kriterlerinde değişmez, sabit kalırken, boyut etkisi içeren lineer olmayan kırılma mekaniği gerçek davranışı göstererek artan boyutla gerilmelerin azaldığı görülür.
- Farklı kalınlıklardan (boyut etkisi) ötürü sonuçlar da farklı olabilir. Ancak iki boyutlu elemanlar (kalınlık sabit) test edilirse sonuçlar etkilemez.

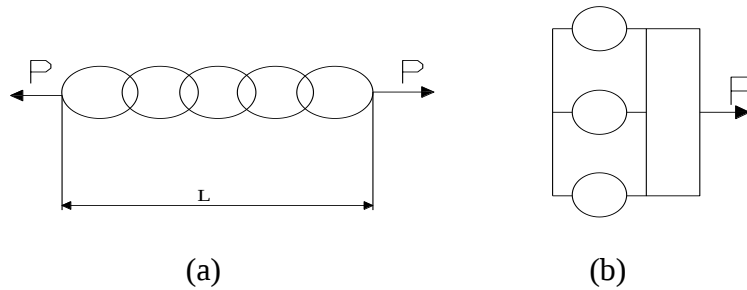
- Çeper etkisi ile iri malzeme, çeperlerden uzağa kaçır ve ince taneli malzemeler yüzeye (çepere) toplanır. İri malzemelerin elemanda uniform dağılması sonuçları etkileyen bir başka boyut etkisidir.

2. BOYUT ETKİSİ

Boyut etkisi uygulamada bir çok şekilde görülür:

- Geometrik olarak benzer farklı boyutlu elemanların maksimum yüklerinde boyut etkisi görülür.
- Olasılıksal boyut etkisi: Weibull'un 1938'de önerdiği teoridir.

Weibull teorisine göre zincirin boyu arttıkça zincirde zayıf halka olma olasılığı artar. Zincir uzadıkça zincirin kopma mukavemeti azalacaktır (Şekil 1.1.a). Bu teoride yapı birbirine bağlı halkalar dolayısı ile seri bağlı düşünülmektedir. Bir başka teoriye göre ise (Donell Model 1950) yapı paralel bağlı düşünülmektedir (Şekil 1.1.b). Ancak gerçek yapı davranışı karmaşık (paralel+seri bağlı) bir davranış sergilemektedir. Weibull teorisinin (seri bağlı) beton yapılara uygulanması kabul edilemez.



Şekil 2.1. Olasılıksal boyut etkisi a) Weibull zincir teorisi, b) Donell paralel bağ teorisi

- En büyük yük sonrası yer değiştirmelerde boyut etkisi görülür.

Boyut etkisi iki farklı biçimde karşımıza çıkar. Birincisinde sonlu eleman analizinde farklı boyut kullanımı sonucu bulunan farklılıklardır. İkinci tip boyut etkisi ise yapısal boyut etkisi olup bu çalışmada incelenmiştir. Boyut etkisi, farklı boyutlu geometrik olarak benzer yapıların P göçme yüklerini (max yük) karşılaştırarak tanımlanır. Burada σ_N , nominal (göçme) gerilme cinsinden belirtilmiştir. İki boyutlu benzerlik için (levha gibi) $\sigma_N = c_N P/bD$

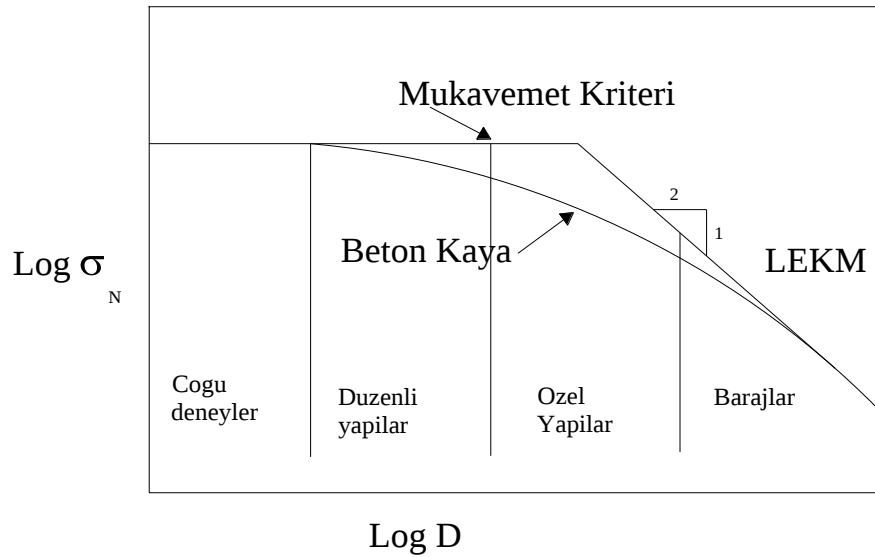
ve üç boyutlu benzerlik için (silindir gibi) $\sigma_N = c_N P/D^2$ dir. Burada:

b = iki boyutlu yapının kalınlığı,

D = yapının herhangi boyutu olarak tanımlanan karakteristik boyuttur.

Sadece σ_N 'in bağıl değeri gerektiğinden D boyutu, kirişin yüksekliği, kesit kenar uzunluğu olabilir. c_N = uygunluk için kullanılan boyutsuz katsayıdır.

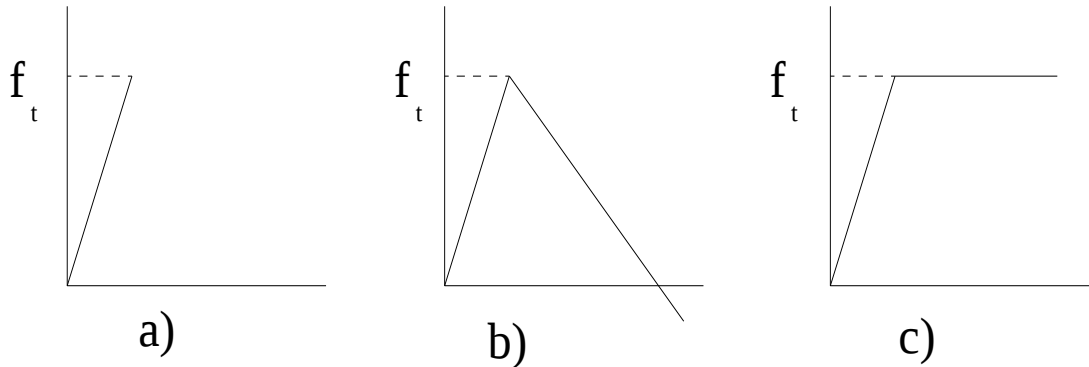
Beton yapılar, boyut etkisinin çok fazla olduğu lineer elastik kırılma mekaniği LEKM ile boyut etkisinin olmadığı dayanım, elastik teori yada taşıma gücü kriteri arasındadır. Plastik limit analizinde (taşıma gücü) yada elastik analizinde (emniyet gerilmeleri yöntemi), gerilmeler cinsinden kullanılan herhangi bir teoriye göre σ_N göçme gerilmesi, yapı boyutundan bağımsızdır. Dolayısı ile eğilme, kesme ya da burulma elastik ya da plastik teoriye dayanan formüller ile verilmiştir. Betonda göçme, tek bir noktada başlayıp çatlak önünde sonlu bölgede kırılma bölgesi oluşur. Bu da göçmenin yayılarak olduğunu gösterir. Doğrusal elastik kırılma mekaniğinde (LEKM) göçme ise çatlak tepesindeki küçük noktada olur. Elemanın diğer kısımlarında ise elastik kaldığı kabul edilmektedir.



Şekil 2.2. Boyut Etkisi Yasası Type II.

Boyut etkisi, tasarımcılar tarafından göz önünde alınmadığından kırılma mekanikçiler için şikayet konusudur. Geometrik olarak benzer farklı boyutlu elemanların göçme yüklerinden elde edilen σ_N değerleri aynı ise boyut etkisi yoktur denir. σ_N 'nin yapı boyutuna bağımlılığı boyut etkisi gösterir.

Elastik analiz (Emniyet Gerilmeleri Yöntemi) ile plastik limit analize (taşıma gücü) dayanan göçme kriterleri yapı boyutundan bağımsız olduğundan boyut etkisi içermezler. Eğer $\log \sigma_N$ 'in $\log D$ 'ye göre değişimi çizilirse elastik ya da plastik göçme kriterleri yatay çizgiyle verilir (Şekil 2.2.'deki yatay çizgi). Bu yüzden elastik ya da plastik göçme kriterleri boyut etkisi göstermez. Lineer elastik kırılma mekaniği Şekil 1.2.'de gösterildiği gibi -1/2 eğimli çizgi ise oldukça kuvvetli boyut etkisini gösterir. Gerçekte beton yapılar Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi, dayanım kriteri ile lineer elastik kırılma mekaniği arasındadır. Eğer yapı çok küçükse deney sonuçları yatay doğruya (dayanım kriteri), yapı çok büyük ise eğimli doğruya yaklaşır.



Şekil 2.3. a) Gevrek b) Yarı Gevrek c) Sünek Malzemeler

Beton yapıların göçmesi, en büyük yüke ulaşmadan önce büyük çatlakların ve çatlama bölgesinin gelişmesi ile olur. Temel kırılma mekaniği teorileri bu yüzyılın ortasında elde edildiği halde henüz tasarım, kırılma mekaniğin dayanmamaktadır. Bunun nedeni kırılma mekaniği son zamanlarda elde edilmiş olup, sadece cam gibi homojen gevrek (Şekil 2.3.a) ya da beton, kaya, deniz buzu gibi yarı gevrek (Şekil

2.3.b) malzemeye uygulanmasıdır. Kırılma teorilerinin betona uygulaması ilk olarak Kaplan tarafından düşünülmüş, fakat başarılı olmamıştır. Beton yapılarda, kırılma sırasındaki çatlak önündeki agreganın ve boşlukların sağladığı gerilme köprüsü ile çatlakların dağılımı sonucu yumuşama göz önüne alınmalıdır. Donatı gibi sünek malzemeler elasto-plastik göçme gösterir (2.3.c).

Betona uygulanan kırılma mekaniği biçimi son on yılda çok gelişmiştir. Beton yapı tasarımı iki devrim görmüştür. İlki beton yapıyı elastik ve betonun çekme almadığı varsayımına dayanan Emniyet Gerilmeleri Yöntemi 1900-1930’larda kullanılmıştır. İkinci devrim 1930’daki önceki teoriye dayanmakta olup, plastik limit analizin 1940-1970’li yıllarda kullanması sonucu ortaya çıkan Taşıma Gücüdür. Kırılma mekaniğinin beton yapıların tasarımında kullanılmasına üçüncü devrim olarak bakılmaktadır. Kırılma mekaniğinin beton tasarımında kullanılması önemli yararlar sağlayacaktır. Öyle ki farklı boyutlu yapılar için aynı güvenliğe ulaşmak olası olacaktır. Böylece yapısal güvenlik ve ekonomi artar. Bununla yeni beton malzemesi ve yeni tasarımlar gerçekleşecektir. Özellikle yüksek dayanımlı betonlar, lifli beton yapılar, çok büyük boyutlu beton yapılar, ön gerilmeli yapılar, beton barajlar, nükleer reaktör hücreleri gibi güvenliğin çok yüksek olduğu ve hasarları büyük felaketlere neden olabilecek yapılar için kırılma mekaniğine göre tasarım çok önemlidir. Hawkins betonarme yapı tasarım hesabında kırılma mekaniği kullanmadığı için 1984 yılına kadar Amerikan betonarme yapım yönetmenliğinin (ACI 318) 29 kez düzeltildiğini ya da değiştirildiğini belirtmiştir.

Boyut etkisi dayandığı kırılma mekaniği yapıda göçmenin yayılmasını göz önüne alan mukavemete dayanan enerji kriteri kullanan, göçme teorisi olarak tanımlanabilir.

2.1. Boyut Etkisinin Enerji ile Açıklanması

Kırılma mekaniğinin enerji ile açığa çıkması yüzünden, boyut etkisi olan ilişki Şekil 2.4.’te gösterilen üniforma gerilmeli panel düşünülerek açıklanabilir. Şekil 2.4.’te sol

k = Şekil 2.4.'te eğim olup yapı biçimine bağlı ampirik sabittir (boyut etkisinde önemli olmayan k değeri, sonlu eleman analizlerinde ve deney sonuçlarından $\pi/2$ bulunmuştur).

W – yapıda depolanan potansiyel enerji; b – kalınlık; G_f – kırılma enerjisidir (Boyut J/m^2). Çatlak bandının birim uzunluğu veya çatlak oluşturan gerekli enerji, büyük yapılarda Δa çatlak uzaması sonucu, (malzeme özeliği olan G_f kırılma enerjisine eşittir) büyük yapı için σ_N değeri, hacmin aynı kalacağı daha büyük bölgede açığa çıkan toplam enerjisinden az olmalıdır. Büyük yapılarda birim çatlak gelişmesi için daha büyük enerji için gerektiğinden σ_N küçülecektir.

Dolayısıyla σ_N yapı boyutundan etkilendiğinden boyut etkisinin varlığı görülmektedir.

Dış yüklemeler sonucunda levhadaki taralı şeritten açığa çıkan enerji (Şek 2.4.)

$$\Delta W = b(h_o \Delta a + 2k \Delta a) \sigma_N^2 / 2E \quad (2.1)$$

Levhada yutulan enerji,

$$\Delta W = G_f b \Delta a \quad (2.2)$$

Dış etkiler (1.1) ile levhanın yuttuğu enerji (1.2) eşitliğinden,

$$\sigma_N^2 = \left[h_o + 2k \left(\frac{a}{D} \right) D \right] = 2EG_f \quad (2.3)$$

$$\sigma_N = \left[\frac{2EG_f}{h_o + 2k \left(\frac{a}{D} \right) D} \right]^{1/2} \quad (2.4)$$

$$D_0 = \frac{h_0 D}{2ka} \quad \text{ile gösterirsek} \quad (2.5)$$

Pay ve payda f_t ile çarpıldığında,

$$\sigma_N = \left[\frac{2EG_f}{h_0 \left(1 + \frac{D}{D_0} \right)} \right]^{1/2} \frac{f_t}{f_t} \quad (2.6)$$

elde edilir. Sonuçta;

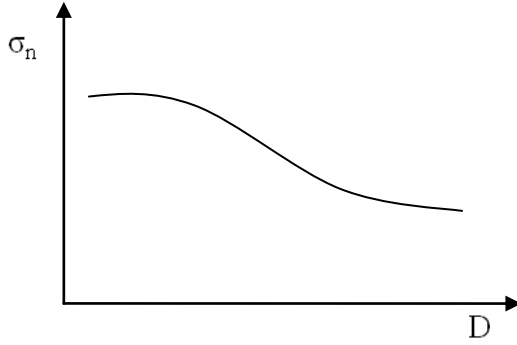
$$\sigma_N = \left[\frac{2EG_f f_t^2}{h_0 f_t^2 \left(1 + \frac{D}{D_0} \right)} \right]^{1/2} \quad (2.7)$$

Bazant'ın önerdiği boyut etkisi yasası iki tiptir.

Type.I.Çatlaksız elemanlar için geçerli denklem

$$\sigma_N = f_r^\infty \left(1 + \frac{D_b}{D} \right) \quad (2.8)$$

Burada f_r^∞ ve D_b lineer regrasyon sonucu bulunan malzeme sonuçlarıdır.



Şekil 2.5. Boyut Etkisi İfadesinin Grafik Gösterimi (Type I)

Type II. Çatlaklı elemanlarda boyut etkisi

$$\sigma_N = B f_t (1 + \beta)^{-1/2}, \quad B = (2E G_f / h_o f_t^2)^{1/2}, \quad \beta = D/D_o \quad (2.9)$$

B – malzeme dayanımına bağlı sabit

D – yapı biçimine bağlı boyutsuz sabittir

f_t – betonun çekme dayanımı, B 'yi boyutsuz yapabilmek için kullanılmıştır.

Daha genel boyut etkisi yasası:

$$\sigma_N = B f_t (1 + \beta^r)^{-1/2r}, \quad r - \text{geometriye bağlıdır.}$$

Bütün geometri ve malzemeler için $r \approx 1$ bulunduğundan bu çalışmada (2.9) denklemi kullanılmıştır. Denklem yaklaşık bir ifadedir, fakat boyut değişiminin 1:20'ye kadar aralığı için yeterlidir. Daha büyük boyut değişimi için karmaşık formüller gereklidir. 2.9 denkleminin elde edilmesinde aşağıdaki varsayımlardan yararlanmıştır.

1. Göçme anında çatlak önünde açığa çıkan enerji çatlak uzunluğuna bağlıdır.
2. Açığa çıkan enerji aynı zamanda en büyük agrega boyutu d_a 'nın bir kaç katı olan çatlak bandının genişliğine bağlıdır
3. Farklı boyutlu geometrik olarak benzer yapılarda oluşan kırılma yüzeyleri de geometrik olarak benzerdir.

4. Yapı göçmesi çatlak başlangıcı ile değil, çatlamış bölgenin tüm yapıyı kaplaması ile olur.

Bazant'ın önerdiği ve boyut etkisi ifadesinde (Denk.2.9) yapı çok küçük $D \ll D_o$ ise $\beta = d/D_o$ değeri birin yanında küçük olduğundan ihmal edilebilir.

$\sigma_N = B f_t$ olur ki göçme gerilmesi plastik limit analizi yada emniyet gerilmeleri yöntemi ile temsil edilmektedir.

Eğer yapı çok büyük ise ($D \gg D_o$) bir değeri β değeri yanında çok küçüktür,

$$\sigma_N = B f_t \beta^{-1/2} \text{ olur.}$$

Yani göçme gerilmesi doğrusal elastik kırılma mekaniği temsil edilmektedir yada her iki tarafın Logaritması alındığında $\log \sigma_N = -1/2 \log \beta + \text{sabit}$, Şekil 2.2'de logaritmik eksen takımında, eğimli -1/2 olan doğru ile göstermektedir (Şekil 2.6).

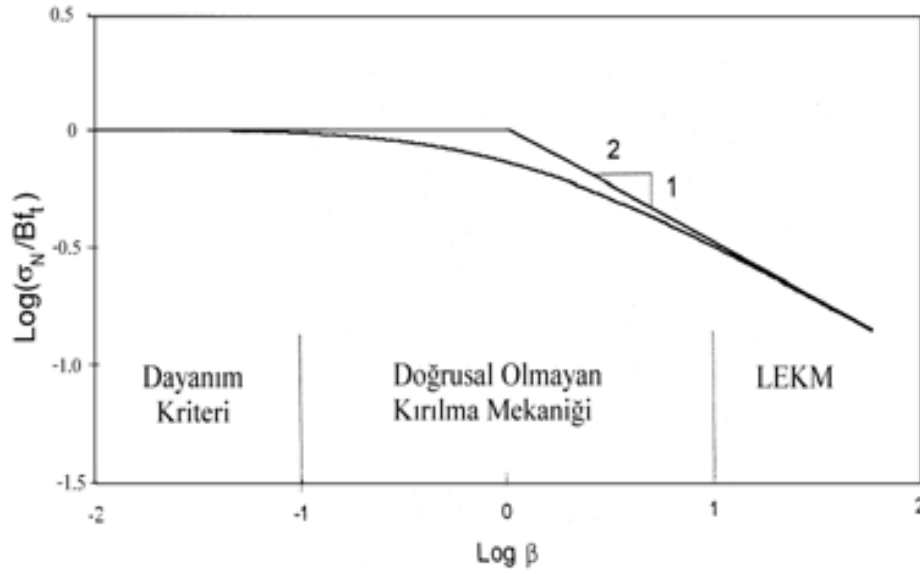
Asimtonun kesim noktası, plastik analiz ve LEKM teorileri eşitlenerek,

$$B f_t = B f_t \beta^{-1/2} \tag{2.10}$$

$$\beta^{-1/2} = 1, \text{ buradan } \beta = 1, D = D_o \text{ bulunur.}$$

β gevreklik sayısıdır.

Buradaki gevreklik Gustafsson ve Hillerborg ile Carpinteri gevreklik sayısı (yapı boyutunun çatlak tepesinde oluşan plastik bölge çapına oranı) tanımlarından farklıdır. 2.9 denklemi sadece aynı betondan yapılmış ve aynı en büyük agrega boyutu içeren yapılarda uygulanabilir. Agreganın küçük farklılıklar göstermesi durumunda bu yasa yaklaşık olarak uygulanabilir. Agreganın büyük farklılık göstermesi durumunda 2.9 denkleminde düzeltme terimleri kullanılmalıdır.



Şekil 2.6. Boyut Etkisi İfadesinin Grafik Gösterimi (Type II)

$\text{Log } \beta \gg 1$ ise LEKM uygulanır.

$\text{Log } \beta \ll 1$ ise plastic limit analizi uygulanır.

Uygulamada; (Bkz. Şekil 2.6)

$\beta < 0,1$ ise plastic limit analiz

$0,1 < \beta < 10$ ise lineer olmayan kırılma mekaniği

$\beta > 10$ ise LEKM geçerlidir.

$\beta < 0,1$ için Şekil 2.6'daki yatay asimtot lineer olmayan eğriden %4,7 oranında sapar.

$\beta < 10$ için eğimli asimtot (LEKM) lineer olmayan bölge için β 'nin değişim aralığı $1/25 \leq \beta < 25$ arasında olmalıdır. $\beta \ll 1$ ya da $\beta \gg 1$ lineer olmayan kırılma mekaniği gereksizdir.

Beton çekme dayanımı genelde,

$$f_t = 0,35\sqrt{f_c} \quad (2.11)$$

alınabilir.

f_c – beton basınç dayanımıdır. Boyut etkisi denkleminin üstünlüğü lineer regresyon için düzenlenebilir olmasıdır. Bu düzenlemeler yapılırsa deney sonuçları;

$$Y = AX + C \quad (2.12)$$

Bişiminde bir doğru ile temsil edilebilir.

2.1.1. Type I Boyut Etkisi

Çatlaksız (çentiksiz) numuneler için geçerlidir. (2.8) denklemi düzenlendiğinde,

$f_r^\infty = \sigma_0$ değişken dönüşümü yapılır ise,

$$\frac{1}{\sigma_N} = \frac{1}{\sigma_0} + \frac{1}{\sigma_0} \frac{D}{D_b} \quad (2.13)$$

(2.12) de bağıntıda,

$$Y = 1/\sigma_N, X = D, C = 1/\sigma_0, A = C/D_b \quad (2.14)$$

$\sigma_N = \frac{3P_u L}{2bD^2}$, göçme yüklerinden elde edilir.

D_b ve σ_N lineer regresyondan elde edilerek boyut etkisi bağıntısı elde edilmiş olur.

2.1.2. Type II Boyut Etkisi

Çatlaklı (çentikli) numuneler için geçerlidir. Type II boyut etkisi denklemi (2.9) düzenlenirse:

$$\frac{\sqrt{1+\beta}}{B} = \frac{f_t}{\sigma_N} \quad (2.15)$$

her iki tarafın karesi alınırsa,

$$\left(\frac{f_t}{\sigma_N} \right)^2 = \frac{1 + \frac{D}{D_0}}{B^2} \quad (2.16)$$

Parantez açılarak,

$$\left(\frac{f_t}{\sigma_N} \right)^2 = \frac{1}{B^2} + \frac{1}{B^2} \frac{D}{D_0} \quad (2.17)$$

Yukarıda denklem $Y=AX+C$ şeklinde temsil edilebilir.

$$Y = (f_t / \sigma_N)^2,$$

$$C = 1/B^2$$

$$X = D,$$

$$A = C/D_0 \quad \text{elde edilir.} \quad (2.18)$$

Bu dönüşüm ile X , Y eksen takımında doğru denklemi elde edilir. Gerçekte sonuçlar dağılım göstereceğinden lineer korelasyon ile A doğru eğimi, C doğrusunun Y eksenini kestiği nokta bulunur. Bunlardan yararlanarak (2.9) denklemi için gerekli olacak B ve D_0 sabitleri bulunarak boyut etkisi yasası elde edilmiş olur.

2.3. Kırılma Bölgesi

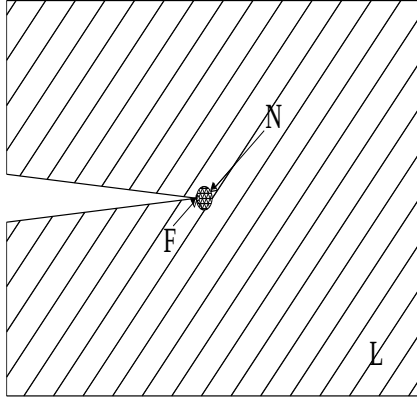
Farklı malzemelerde çatlak tepesinde de farklı bölgeler oluşmaktadır. Şekil 2.7’de verildiği gibi betonda boyut etkisinin en büyük gerekçelerinden biri kırılma bölgesinin (F) büyüklüğüdür.

Genelde iki tip lineer olmayan kırılma mekaniği vardır;

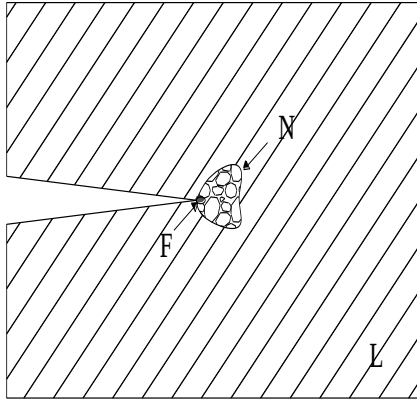
- 1) Sünek (metaller)
- 2) Sünek olmayan (beton, seramik)

Şekil 2.7’de lineer elastik kırılma mekaniğinde (cam) –Şekil 2.7.a) lineer olmayan bölge çok küçük olup, tüm yapı hemen hemen elastiktir.

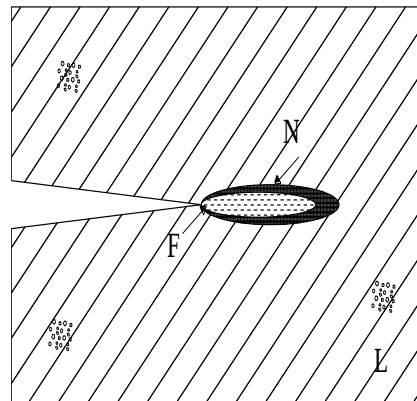
Sünek kırılmada (şekil 2.7. b,c), lineer olmayan bölgenin çoğu plastiktir, ve kırılma bölgesi F, lineer olmayan kısmın N, küçük bir kısmıdır. Sünek olmayan betonun kırılmasının Şekil 2.7.c) aksine, kırılma bölgesi F, büyük olup lineer olmayan bölgenin N, hemen hemen tamamını kapsar.



a)



b)



c)

Şekil 2.7 Farklı Malzemelerin Kırılma Bölgeleri a) cam b) metal c) beton

2.4. Boyut Etkisi ve Yapıların Gevrekliği

Boyut etkisi kırılma mekaniği teorisinin çok önemli bir sonucudur. Bu yüzden kırılma özelliklerini buradan bulmak uygundur. Yapı tasarımı için boyut etkisi bağıntısı laboratuardaki küçük numune sonuçlarından gerçek boyutlu eleman sonuçlarına geçmek için gereklidir. Maksimum nominal gerilmede boyut etkisi bölüm 1.6'da açıklanmıştır.

Denklem 2.9 boyut etkisi yasasını malzeme kırılma parametreleri G_f ve f_t cinsinden verir. Bazant β gevreklik sayısını yapının biçiminden bağımsız isimlendirmiştir. 1.9 Denklemine göre gevreklik sayısı, $\beta = D/D_o$ dır.

Yapının gevrekliğinin diğer tanımları daha önce verilmiştir. Irwin'le (1958) başlayarak, araştırmacılar metallerde yapısal gevrekliği yapı boyutunun, Irwin'in lineer olmayan bölge boyutuna oranı olarak bulmuşlardır. Hilleborg ise D/L_o oranı ile tanımlanan yapısal gevreklik önermiştir.

$$L_o = E G_f / f_t^2 \quad (L_o = \text{karakteristik uzunluk}).$$

Bu yüzden L_o karakteristik kırılma bölgesi olarak isimlendirilir. Carpinteri gevreklik sayısını

$$s = G_f / f_t D \quad \text{olarak göstermiştir.}$$

Benzer tanımlar seramikler için önceden önerilmiştir. Hillerborg, Carpinteri'nin, gevreklik sayısı, yapı geometrisine bağımlı olduğundan genelleştirilemez ($\beta = 3$ bir yapı geometrisi için çok gevrek davranış ve başka geometri için çok sünek davranış verir).

Gevrekliğin genelleştirilmesi Bazant tarafından önerilmiştir. Geçerli standart formülle göre limit analizin düzenlemesinde, lineer olmayan kırılma mekaniği göz

önüne alınarak taşıma yükünde nominal gerilme v_u (boyut etkisiz) şu şekilde verilmiştir.

$$\sigma_N = \frac{v_u}{\sqrt{1+\beta}} \quad (>v_u^{\min}) \quad (2.17)$$

β 'nin bağlı olduğu D_o 'ı hesaplama yöntemi araştırılmalıdır. Normal gerilme (2.17) denkleminin $v_u^{\min}$ limit değeri vardır (Type I). Böyle bir limite örnek Brazilian silindir deneyleridir. Type II de ise boyut arttıkça, gerilme azalmaktadır.

2.5. Artık Sünek Ya da Sürtünme Limitinin Etkisi

Silindirlerin Brazilian yarma deneylerinde, Hasegawa göçmede nominal gerilmenin silindirin artan yarıçapı ile azaldığını, sonra sabit kaldığını görmüştür (Bu davranış Bazant, Kazemi'de (1991) gözlenmiştir. Buna göre belli büyük boyutlarda maksimum yükte gevrek olmayan göçme mekanizmasına geçiş vardır. Bunun nedeni büyük boyutların maksimum yükünde yük uygulaması noktası altındaki bölgede küçük kama biçimli bölge vardır. Küçük çaplılarda yükün neden olduğu ayrılma çatlağı kama biçimli bölgenin sürtünmeli kaymasından büyüktür ve bu yüzden gevrek kırılma mekanizması olur. Halbuki eğer yapı çok büyük olursa ayrılma göçmesindeki nominal gerilme, kamada sürtünmeli kaymaya neden olan σ_N nominal gerilmesinden çok küçüktür. Bu yüzden bu tip göçme için boyut etkisi yasasında σ_N 'nin daha fazla azalmayacağı bir limit konmalıdır. Basınçta ayrılma göçmesi içeren diğer göçme mekanizmaları durumunda da bu artık gerilme doğurabilir.

2.6. Boyut Etkisi Tipleri

2.6.1. Rastgele dayanım yüzünden istatistiksel boyut etkisi

Malzemenin heterojenliği yüzünden dayanım Weibull – tipi istatistik modellerle tanımlanmıştır. Ancak yapının ilk çatlakla göçmesi yada yapının büyük parçasında

gerilmenin uniform olduğu beton yapıda, Weibull teorisinin etkisi, boyut etkisine göre ihmal edilecek kadar azdır.

2.6.2. Farklı rutubet ve kırılma yüzünden boyut etkisi

Hidratasyon sırasında açığa çıkan ısı farklı boyutlu elemanlarda farklıdır. Beton barajlarda betonun su yüzünde ısı diğer yüzden ve hidratasyon ısısı yüzünden gövdede çok farklıdır. Farklı ısıdan doğan gerilmenin uniform olmayışı, yapıdaki rutubet ve betonun kuruması sırasında difüzyon yüzünden, önemli yapısal boyut etkisi elde edilir.

2.6.3. Çeper etkisinin doğurduğu boyut etkisi

Betonun yüzeyine yakın sınır tabaka, yapının içinden mukavemet ve karışım olarak farklılığı, başka bir boyut etkisi doğurur. Bu sınır tabaka bir agrega kalınlığında olup, harcın (ince malzeme) oranı büyük agrega (kaba malzeme) oranından fazladır. Bu tabaka “çeper etkisi” olarak bilinir. Sınır tabakanın kalınlığının yapı boyutundan bağımsızlığı yüzünden bu tabakanın etkisi küçük yapılarda, büyük yapılardan fazladır. Çok büyük kesitlerde bu etki önemsiz olur.

2.6.4. Çatlak kenarındaki uçlarda üç boyutlu tekillik yüzünden boyut etkisi

Gerilme şiddet çarpanı sabit değildir plağın yüzeyi ile kesişme noktasında sıfıra düşer (Poisson oranının sıfır olduğu durumlar hariç). Gerilme şiddet çarpanının ortalama değerine plak kalınlığının etkisi vardır. Kalınlık büyük olmamalıdır. Eğer bütün numunelerin kalınlıkları aynı ise bu etki elimine edilir.

2.6.5. Agrega boyutunun etkisi

Boyut etkisi ve kırılma parametreleri aynı agrega boyutu ve betondan yapılmış yapılar için geçerlidir. Eğer agrega boyutu değişirse, kırılma parametreleri ve boyut

etkisi parametreleri değişir. Boyut etkisi bağıntısı düzeltilmelidir.

$$\sigma_N = \frac{Bf_t}{\sqrt{1+\beta}} \quad (2.18)$$

$$f_t = f_t^0 \left(1 + \sqrt{\frac{c_0}{d_a}} \right)$$

$$\beta = D/D_0$$

Burada:

f_t^0 – referans olarak seçilen betonun çekme dayanımıdır.

f_t – maksimum agrega boyutu d_a olan beton için çekme dayanımıdır.

c_0 – ampirik sabittir.

Bu formül dislokasyon teorisi ile elde edilen çok kristalli metallerin, akma mukavemetinde dane boyutu etkisi için Petek formülü benzeridir. 2.18 denklemini Chama (1981), Taylor (1972), ve Igura’nın (1985) deney sonuçları ile uyumludur, ve c_0 kalibre edilmiştir.

2.7. Yüksek Dayanımlı Beton ve Harç Dayanımının Etkisi

Beton dayanımındaki son gelişmeler matriksin (bağlayıcı harç) dayanımı ve agrega–matriks aderansını arttırma yönündedir. Yüksek dayanımlı betonda agrega ve matriksin Young Modülleri ve mukavemeti arasındaki fark normal dayanımlı betondan çok küçüktür. Yüksek dayanımlı beton, daha homojen malzeme olarak davranır ve sonuçta kırılma bölgeleri (fracture prosess zone) daha küçüktür. Boyut etkisi incelemesinde (zellikle boyut etkisi yasasında d_0 kırılma bölgesi ile ilişkilidir). Aynı yapı boyutu için yüksek mukavemetli beton lineer elastik kırılma mekaniğine daha yakındır, yani normal betona göre davranışı daha gevrektr. Bu

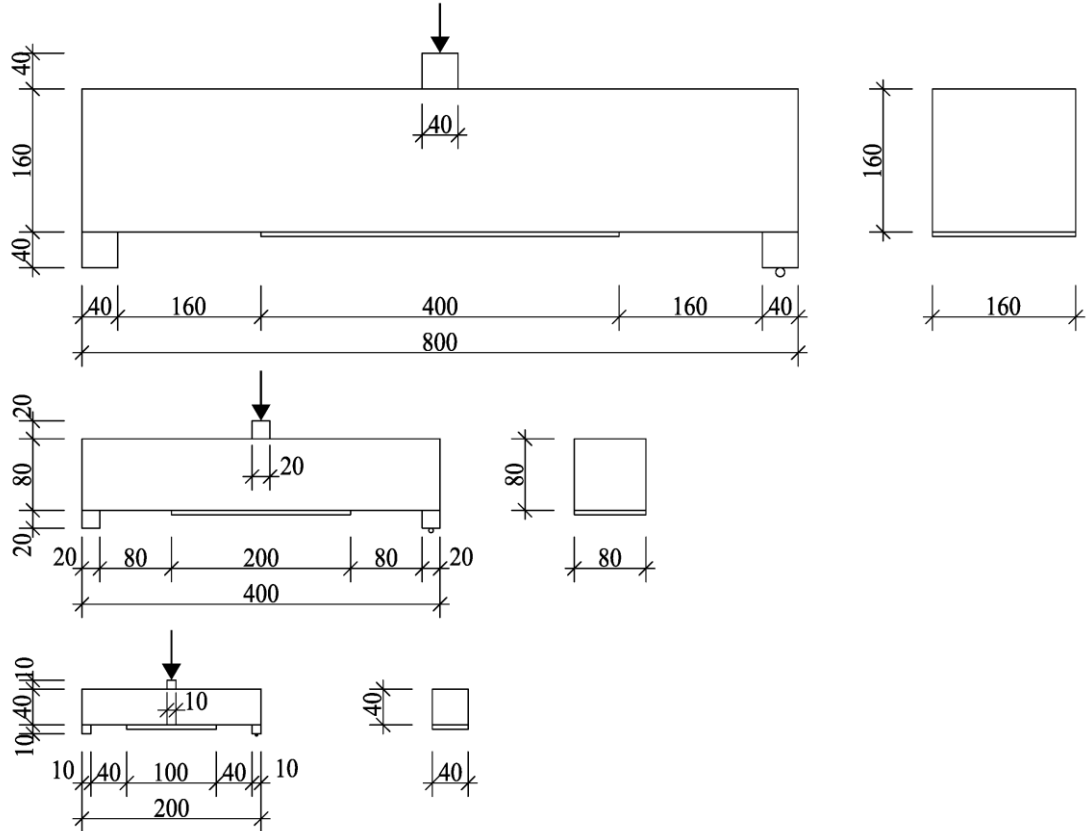
yüzden kırılma mekaniği analizi ve boyut etkisi, yüksek dayanımlı betonlarda, normal dayanımlı betonlardan çok daha önemlidir.

3. DENEY KİRİŞLERİ

3.1. Kirişlerin Sınıflandırılması

3.1.1. Üç boyutlu CFRP'li kirişler (CF3 Grubu)

Toplamda 35 adet kiriş hazırlanmıştır. Üç boyutlu (CF3 grubu) deneylerde kirişlerin uzunlukları (200, 400 ve 800 mm), yükseklikleri (40, 80, ve 160 mm), genişlikleri (40, 80 ve 160 mm) dir.

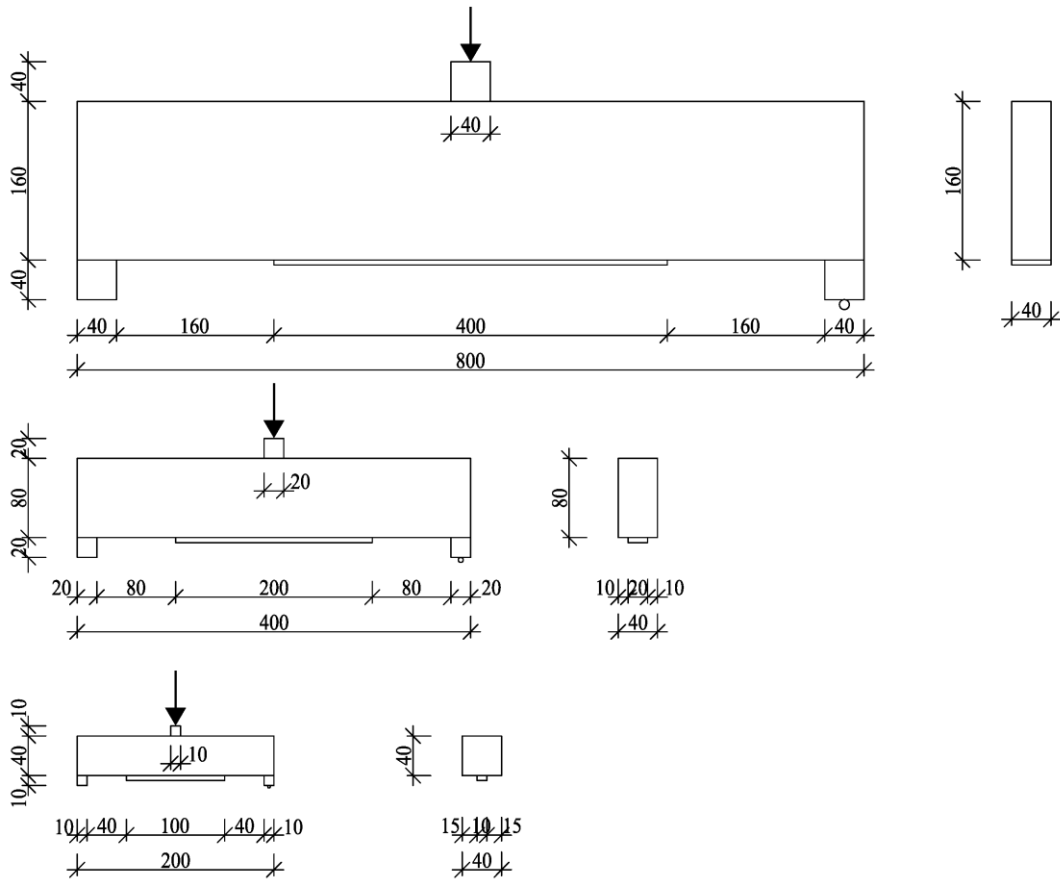


Şekil 3.1. 3 Boyutlu CFRP'li Kirişler

3.1.2 İki Boyutlu Kirişler

Kalınlık Değişken CFRP'li Kirişler (CFH Grubu)

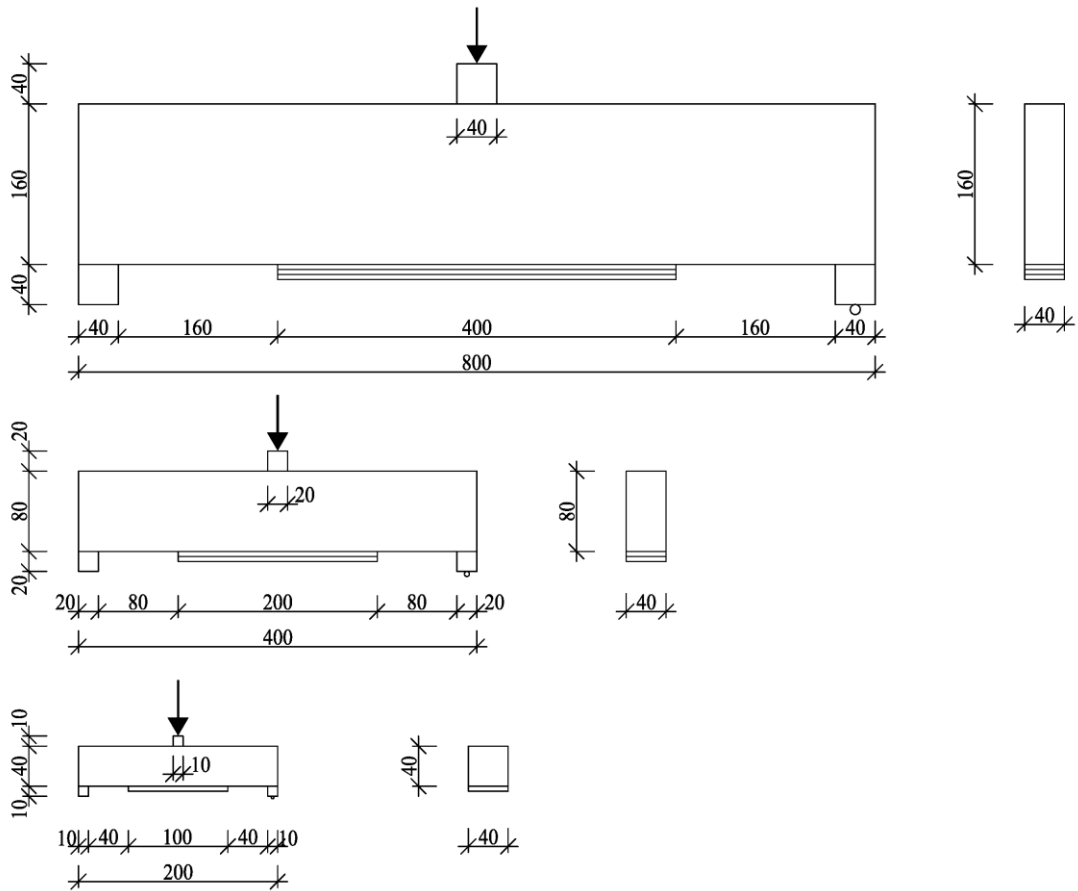
Uzunlukları (200, 400 ve 800 mm), yükseklikleri (40, 80, ve 160 mm), üçüncü boyut kalınlıkları ise (40 mm) (CFH grubu) dir. Deney numuneleri çekme bölgesinde CFRP (carbonfiber reinforced polymer) olan betondan yapılmış numunelerdir. CFH grubunda orta ve büyük boy kirişlerin çekme bölgesinde kullanılan karbon fiber katmanları kiriş boyutuyla orantılı olarak hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. 2 Boyutlu CFRP'li Kirişler

Genişlikleri Değişken CFRP'li Kirişler (CFB Grubu)

Uzunlukları (200, 400 ve 800 mm), yükseklikleri (40, 80, ve 160 mm), üçüncü boyut kalınlıkları ise (40 mm) (CFB grubu) dir. Deney numuneleri çekme bölgesinde CFRP (carbonfiber reinforced polymer) olan betondan yapılmış numunelerdir.



Şekil 3.3. 2 Boyutlu CFRP'li Kirişler

CFB grubunda kirişlerin çekme bölgesinde kullanılan karbon fiber genişlikleri kiriş boyutuyla orantılı olarak hazırlanmıştır.

3.2. Kullanılan Malzemeler

3.2.1. Beton

Beton karışımında normal portland çimentosu NPÇ 32,2 kullanılmıştır. Yapılan karışım su, çimento, kum, çakıl – 0,5, 1, 2, 2 olarak alınmıştır. En büyük agrega çapı 15 mm'dir. Kum olarak 7 mm'lik agrega kullanılmıştır. CF3, CFB ve CFH kırıış grupları farklı günlerde olmak üzere bunlara ait beton basınç dayanımının bulunacağı silindir numuneleri ile aynı karışımdan tek seferde dökülmüş ve birlikte kür odasında saklanmıştır. Deneyler beton döküldükten sonra 57-60 gün arasında yapılmıştır. Betonun birim hacim ağırlığı=2300 kg/m³ olarak varsayılmıştır.

3.2.2. CFRP

Fiber takviyeli polimerler FRP veya 'yapı kompozitleri' olarak adlandırılan bu kompozitler polimer matriks malzemenin fiberle takviye edilmesinden elde edilirler. FRP ürünleri günümüzde yapısal uygulamalarda sık kullanılmaktadır.

Kompozit malzemelerde kullanılan fiberlerin fiziksel biçimleri oluşturulan yeni malzemenin özellikleri üzerinde çok önemli bir faktördür. Takviyeler temel olarak 3 farklı biçimde bulunmaktadır. Bunlar parçacıklar, süreksiz ve sürekli fiberlerdir. Parçacık genelde 3 boyutlu olmamasına rağmen her yönde eşit boyutlardadır. Takviye malzemesinin (elyaflar) bir boyutu diğer boyutlarına göre daha fazla olur. Süreksiz elyaflar (doğranmış elyaflar, öğütülmüş elyaflar veya püskül) birkaç mm den birkaç cm ye kadar değişen ölçülerde olabilmektedir. Çoğu lifin çapı birkaç mikrometreyi geçmemektedir.

Sürekli elyaflar ise tel sarma yöntemi gibi yöntemlerle kesilmeden ip şeklinde kullanılmaktadır. Elyaflar en yüksek mekanik özelliklerini enine değil boyuna doğrultuda gösterirler. Bu nedenle tasarım aşamasında elyafların reçine içindeki yerleşimler ve geometrileri göz önünde bulundurmak çok önemlidir.

Cam elyafının günümüzde en çok kullanılan ve geçerli takviye malzemesi olmasına rağmen gelişmiş kompozit malzemelerde genellikle saf karbonun elyafı kullanılmaktadır. Karbon elyafı cam elyafına oranla daha güçlü ve hafif bir malzeme olmasına rağmen üretim maliyeti daha yüksektir. Karbon elyafından daha güçlü ve aynı zamanda daha pahalı olan ise bor elyafıdır.

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca elyaf türleri;

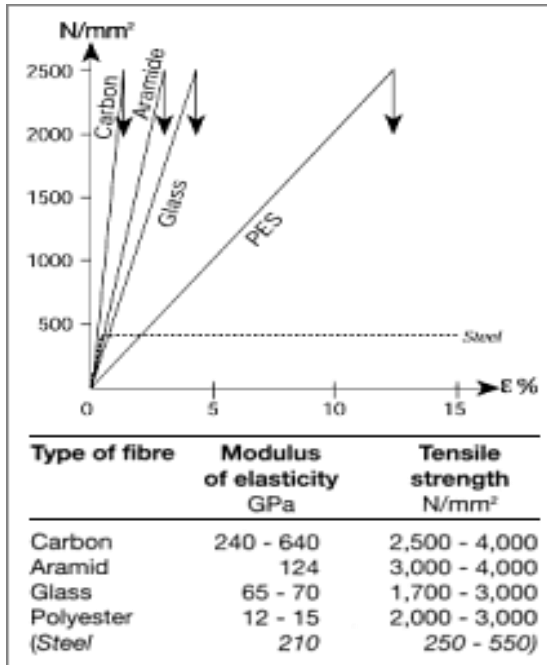
1. Cam elyafı
2. Karbon elyafı
3. Aramid elyafı
4. Bor elyafı
5. Oksit elyafı
6. Yüksek yoğunluklu polietilen elyafı
7. Poliamid elyafı
8. Polyester elyafı
9. Doğal organik elyaflar.

Bu elyaflar arasında en çok cam, karbon ve aramid elyafı kullanılmaktadır. Bu üç elyaf türü de güçlü, sert ve sürekli biçimde üretilmektedirler.

Bu malzemeler çok düşük ağırlıklarına rağmen çok yüksek mukavametlere, anti korozyon özelliklere, yüksek mekanik ve fiziksel değerlere sahiptirler. FRP kompozit malzemeler tek yönlü plakalar, kumaşlar, çubuklar ve çift yönlü örtüler olarak üretilmektedir.



Resim 3.1. CFRP ile güçlendirilmiş kirişler



Şekil 3.4 Gerilme-Birim uzama diyagramı

Kompozit güçlendirme sistemi betonarme elemanlara dıştan uygulanan bir güçlendirme sistemidir. Harici yapıştırırmalı kompozit sistemler, yapı elemanlarının yük taşıma kapasitesini ve eğilme dayanımını artırır.

Yükler epoksi reçine yapıştırıcısı vasıtasıyla kompozite aktarılır, böylelikle üniform bir yük aktarımı sağlanır.

3.3. Deney Düzenegi

Bütün numuneler 2000 kN kapasiteli kapalı çerçevede, yük (150N hassasiyetli 300-600 ve 500-1000 kN kapasiteli load cell) ölçümleri deney sırasında alınarak yapılmıştır. Elemanlarda eksenel kısalma ölçümleri LVDT yardımı ile ölçülmüştür. Her elemanın orta yüksekliğinden deplasmanlar ölçülmüştür. Ölçümler bilgisayarda $P(kN)$, yer değiştirme (mm) değerleri saniye saniye ölçülmüştür.

3.4. Deney Kirişlerinin Hazırlanması

Deney kirişleri, betonlar döküldükten sonra kalıplardan çıkartıldıklarında bir arada tutulmuş ve kür havuzunda bekletilmiştir. Tüm kür süresi içerisinde bütün deney elemanlarının aynı koşullar altında kalmasına özen gösterilmiştir. Kiriş numunelerinde karbon fiber şeritlerin uygulaması yapılacak yüzeylerde mozaik taşı ile silinerek pürüzsüz hale getirilmiş ve yüzey hava tabancası ile tozdan arındırılmıştır.

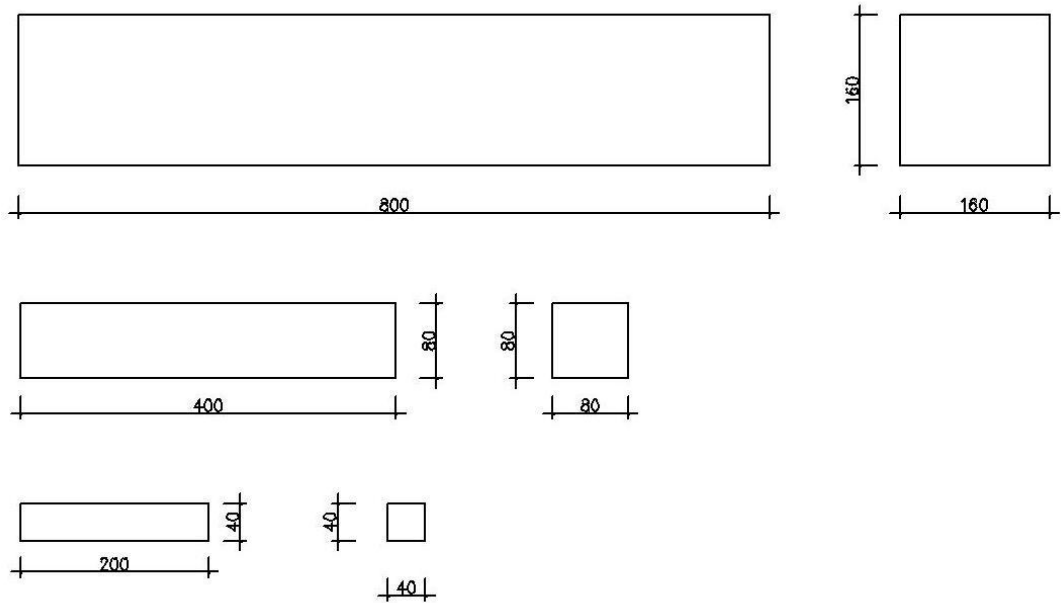


Resim 3.2. Deney kirişlerinin hazırlanması

3.5. Beton karışımın hesabı

3.5.1. 3 Boyutta değişen kirişler (CF3 grubu)

Beton karışım oranı=su/çimento/kum/çakıl=0,5/1/2/2 olarak alınmıştır. Numuneler 03.04.2010 tarihinde dökülmüştür. 27, 28, 31.05.2010 tarihlerinde kırılmıştır.



Şekil 3.5 3 Boyutlu Kirişler

800:160:160 mm. Kiriş için

Hacmi:0,02048 m³

Beton Kütlesi:0,02048x2300=47,104 kg

Karışım oranı doğrultusunda malzeme ağırlıkları:

Su:4,282 kg

Çimento:8,564 kg

Çakıl:17,129 kg

Kum:17,129 kg

400:80:80 mm. Kiriş için

Hacmi:0,00256 m³

Beton Kütlesi:0,00256x2300=5,888 kg.

Karışım oranı doğrultusunda malzeme ağırlıkları:

Su:0,535 kg.

Çimento:1,071 kg

Çakıl:2,141 kg

Kum:2,141 kg.

200:40:40 mm. Kiriş için

Hacmi:0,00032 m³

Beton Kütlesi:0,00032x2300=0,736 kg.

Karışım oranı doğrultusunda malzeme ağırlıkları:

Su:0,067 kg.

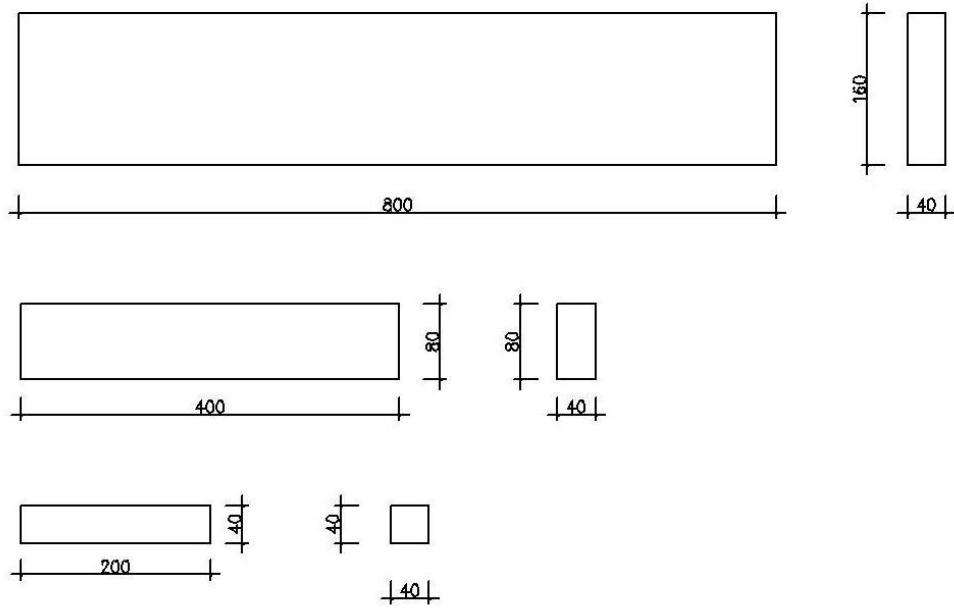
Çimento:0,134

Çakıl:0,268 kg.

Kum:0,268 kg

3.5.2. İki boyutta değişen kirişler (CFB ve CFH grubu)

Beton karışım oranı=su/çimento/kum/çakıl=0,5/1/2/2 olarak alınmıştır. Numuneler 07.04.2010 tarihinde dökülmüş, 31.05.2010 tarihinde kırılmıştır.



Şekil 3.6. İki Boyutlu Kirişler

800:160:40 mm. Kiriş için

Hacmi:0,00512 m³

Beton Kütlesi:0,00512x2300=11,776 kg

Karışım oranı doğrultusunda malzeme ağırlıkları:

Su:1,07 kg

Çimento:2,141 kg

Çakıl:4,282 kg

Kum:4,282 kg

400:80:40 mm. Kiriş için

Hacmi:0,00064 m³

Beton Kütlesi:0,00064x2300=1,472 kg

Karışım oranı doğrultusunda malzeme ağırlıkları:

Su:0,134 kg

Çimento:0,268 kg

Çakıl:0,535 kg

Kum:0,535 kg

200:40:40 mm. Kiriş için

Hacmi:0,00032 m³

Beton Kütlesi:0,00032x2300=0,736 kg

Karışım oranı doğrultusunda malzeme ağırlıkları:

Su:0,067 kg

Çimento:0,134 kg

Çakıl:0,268 kg

Kum:0,268 kg

3.6. Deney Yapılışı

Deneylerde üç nokta yüklemesi yapılmıştır. Hazırlanan kirişler deney düzeneğine yerleştirilmiş ve uç noktalarından mesnetlenmiştir. Kirişlerin açıklığında hidrolik krik o ile yükleme yapılmıştır.

Yapılan yükleme sonucu elde edilen veriler bilgisayara aktarılmıştır. Bütün numuneler aynı deney düzeneğinde denenmiştir.

3.7. Beton Dayanımları

3.7.1. Üç Boyutlu CFRP'li Kirişlerde

11 adet kiriş beton basınç dayanımını bulmak için 150 mm çaplı 300 mm yükseklikli 3 silindir ile birlikte dökülmüştür. Basınç dayanımları 19,9-15,6-17,5 MPa olmak üzere ortalama basınç dayanımı $f_c=17.6$ MPa (Standart sapma=2.15 MPa) dır.

3.7.2. İki Boyutlu CFRP'li Kirişler

Kalınlık değişken CFRP'li kirişler

12 adet kiriş beton basınç dayanımını bulmak için 150 mm çaplı 300 mm yükseklikli

3 silindir ile birlikte dökülmüştür. Basınç dayanımları 31-28,4-26,3-25 MPa olmak üzere ortalama basınç dayanımı $f_c=27.6$ MPa (Standart sapma=2,62 MPa) dır.

Genişlik değişken CFRP'li kirişler

12 adet kiriş beton basınç dayanımını bulmak için 150 mm çaplı 300 mm yükseklikli 3 silindir ile birlikte dökülmüştür. Basınç dayanımları 18,2-15,6-17,5 MPa olmak üzere ortalama basınç dayanımı $f_c=17,1$ MPa (Standart sapma=1,34 MPa) dır.

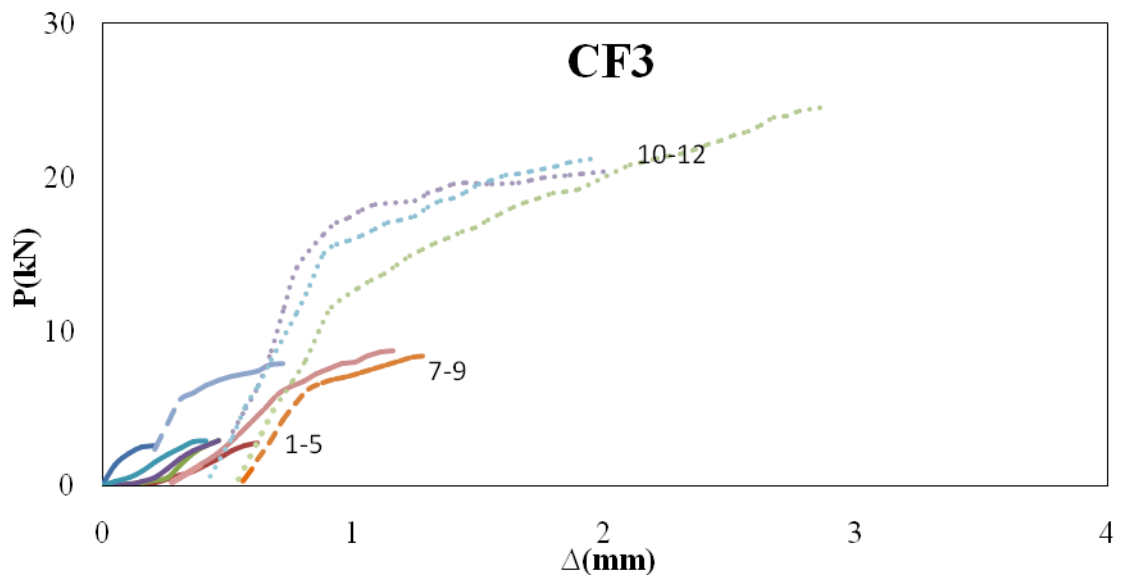
4. DENEY SONUÇLARI

4.1. Üç Boyutlu CFRP'li Deney Kirişleri

Deney sonucunda 11 adet kirişin taşıdığı en büyük yükteki, yer değiştirmeler hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Üç Boyutlu CFRP'li Deney Kirişleri Göçme Yükleri

NUMUNE NO	L (mm)	h (mm)	b (mm)	Basınç Dayanımı(f_c) MPa	En büyük yük(P_u) (kN)
CF3-1	200	40	40	17,6	2,65
CF3-2	200	40	40	17,6	2,818
CF3-3	200	40	40	17,6	2,93
CF3-4	200	40	40	17,6	2,93
CF3-5	200	40	40	17,6	2,93
CF3-7	400	80	80	17,6	8,431
CF3-8	400	80	80	17,6	7,892
CF3-9	400	80	80	17,6	8,75
CF3-10	800	160	160	17,6	24,586
CF3-11	800	160	160	17,6	20,411
CF3-12	800	160	160	17,6	21,42



Şekil 4.1 CF3 Grubu Yük(P)-Yerdeğiştirme(Δ) Grafiği

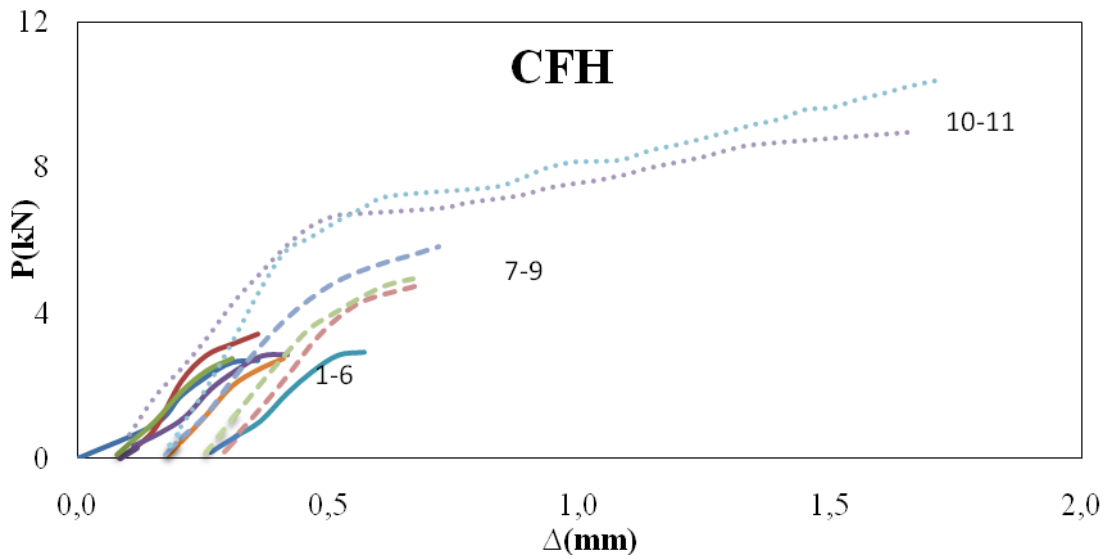
4.2. İki Boyutlu Kirişler

4.2.1. Kalınlık Değişken Kirişler

Deney sonucunda 11 adet kirişin taşıdığı en büyük yükteki, yer değiştirmeler hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. İki Boyutlu Kalınlık Değişken CFRP'li Deney Kirişleri Göçme Yükleri

NUMUNE NO	L (mm)	h (mm)	b (mm)	Basınç Dayanımı(f_c) MPa	En büyük yük(P_u) (kN)
CFH-1	200	40	40	27,6	2,678
CFH-2	200	40	40	27,6	3,434
CFH-3	200	40	40	27,6	2,762
CFH-4	200	40	40	27,6	2,846
CFH-5	200	40	40	27,6	2,93
CFH-6	200	40	40	27,6	2,734
CFH-7	400	80	40	27,6	5,833
CFH-8	400	80	40	27,6	4,776
CFH-9	400	80	40	27,6	4,944
CFH-10	800	160	40	27,6	8,971
CFH-11	800	160	40	27,6	10,419



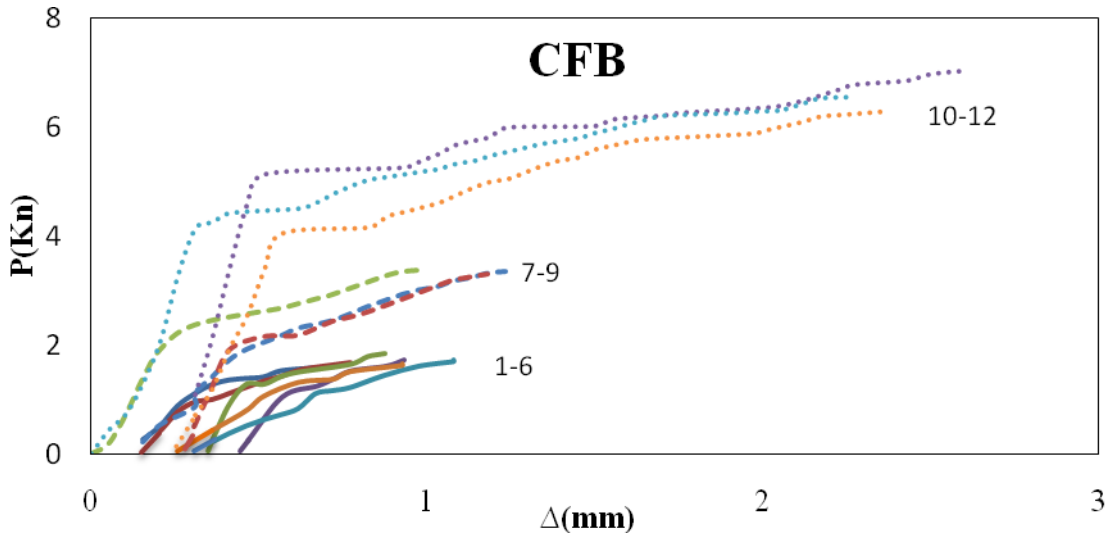
Şekil 3.2 CFH Grubu Yük(P)-Yerdeğiştirme(Δ) Grafiği

4.2.2. Genişlik Değişken Kirişler

Deney sonucunda 12 adet kirişin taşıdığı en büyük yükteki, yer değiştirmeler hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. İki Boyutlu Kalınlık Değişken CFRP'li Deney Kirişleri Göçme Yükleri

NUMUNE NO	L (mm)	h (mm)	b (mm)	Basınç Dayanımı(f_c) MPa	En büyük yük(P_u) (kN)
CFB-1	200	40	40	17,1	1,587
CFB-2	200	40	40	17,1	1,671
CFB-3	200	40	40	17,1	1,839
CFB-4	200	40	40	17,1	1,727
CFB-5	200	40	40	17,1	1,727
CFB-6	200	40	40	17,1	1,643
CFB-7	400	80	40	17,1	3,35
CFB-8	400	80	40	17,1	3,266
CFB-9	400	80	40	17,1	3,378
CFB-10	800	160	40	17,1	7,01
CFB-11	800	160	40	17,1	6,544
CFB-12	800	160	40	17,1	6,324



Şekil 4.3 CFB Grubu Yük(P)-Yerdeğiştirme(Δ) Grafiği

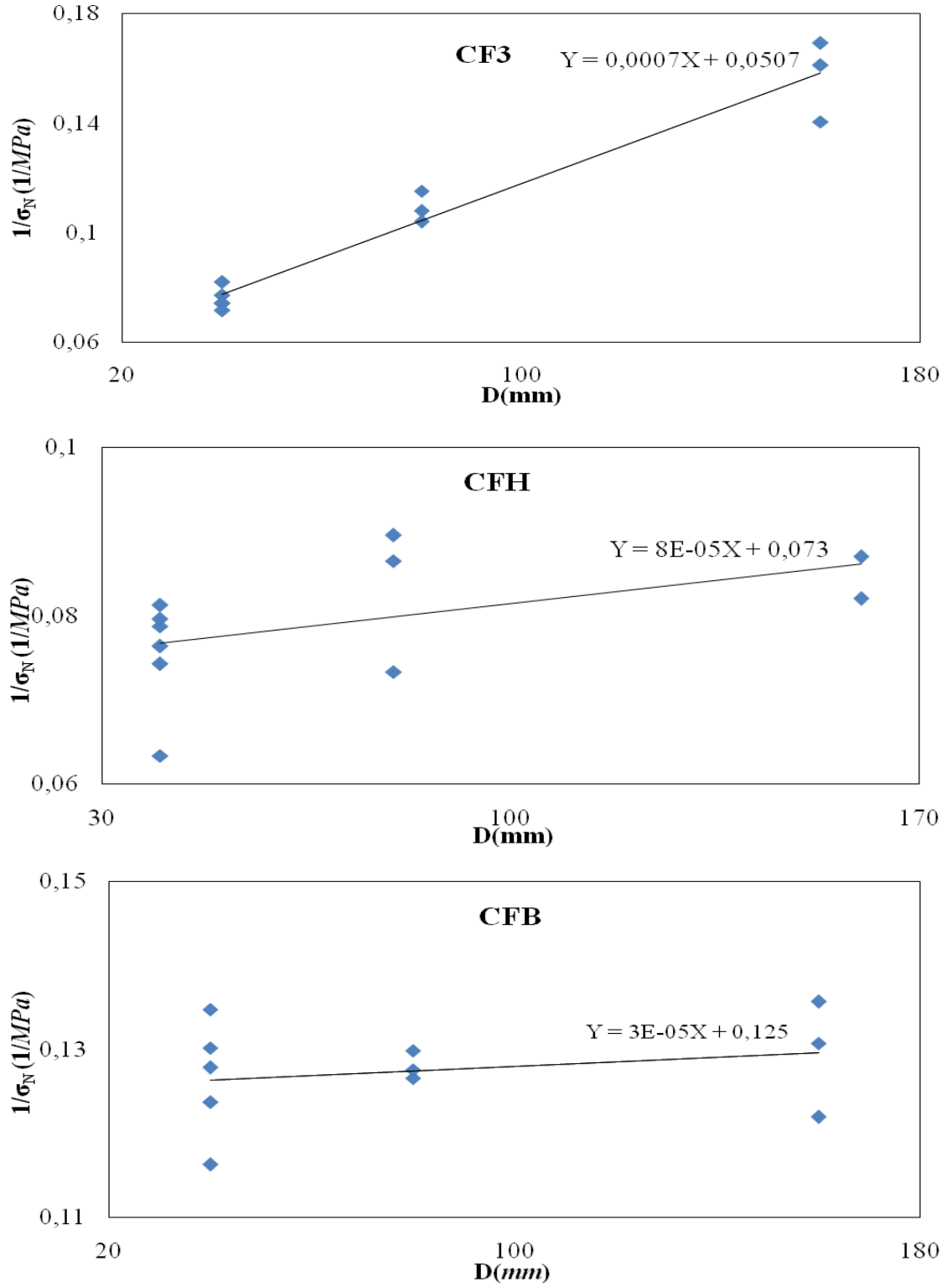
5. SONUÇLARIN ANALİZİ

Deney kirişlerinde orta ve büyük boy kirişlerde göçme gevrek olmuştur. Artan yükler altında karbon lifin bitim noktasında kiriş göçmesi görülmüştür. Küçük boyutlu olan kirişlerin göçmesi ise daha sünek olduğu görülmüştür. Sonuçların analizinde boyut etkisi için Type1 denklemleri kullanılmıştır. Boyut etkisi denklemi lineer regresyon ile düzenledikten sonra daha önce bulunan sonuçların $Y=AX+C$ biçimine getirilmiştir,

Type 1 denklemleri hesabında X ekseninde D , Y ekseninde $1/\sigma_n$ denklemleri kullanılmıştır. Bu ifadeler $Y=AX+C$ ile tanımlandığından C 'nin pozitif ve sıfırdan farklı olması gerekmektedir Boyut etkisini en açık bir şekilde gösteren Bazant'ın logaritmik eğrisidir.

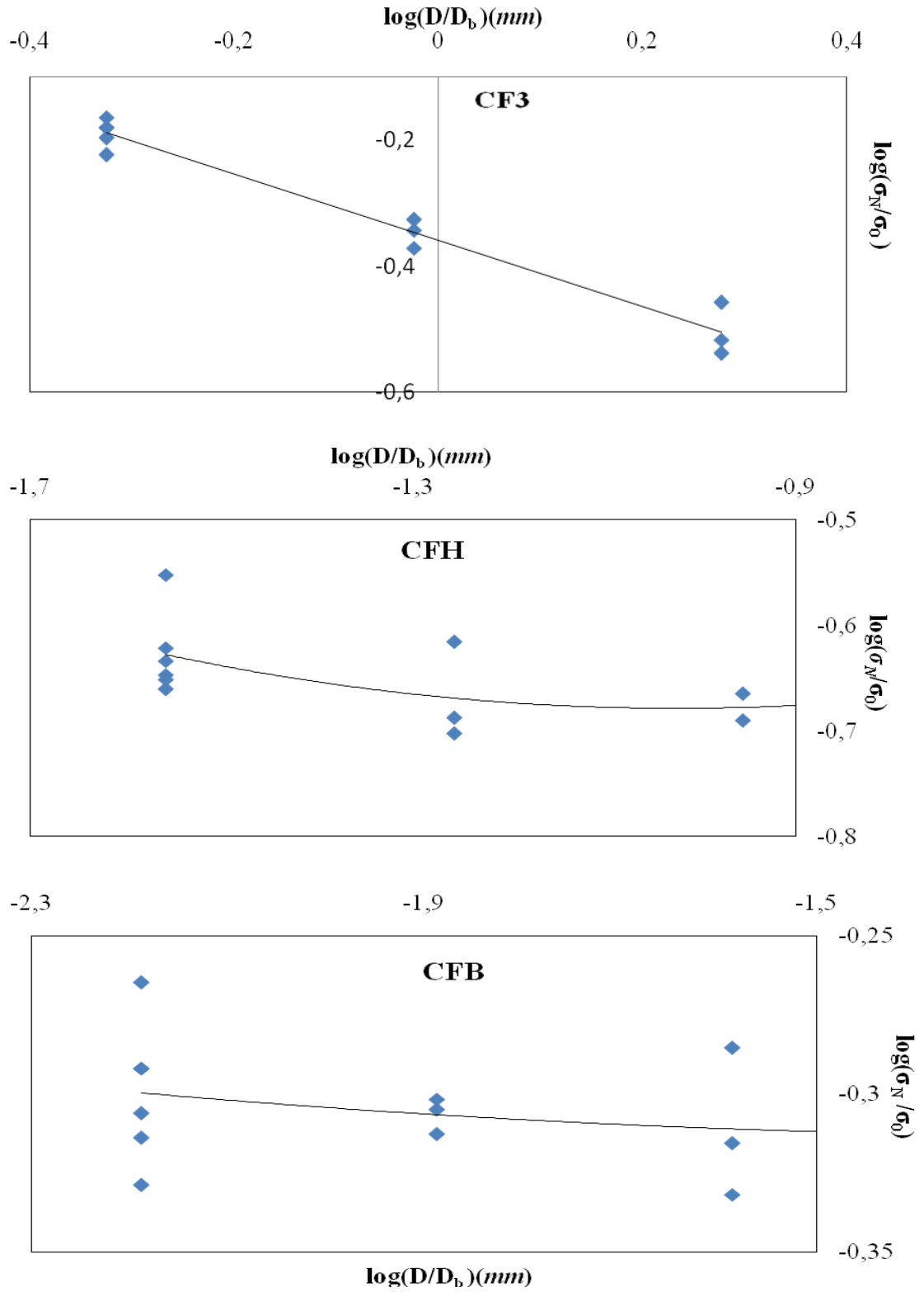
Type1 denklemleri ile hesapladığımız değerler sonucunda boyut etkisi görülmüştür. Bundan sonraki aşama Type 1 grafikleri ile analizler yapmaktır. Bu analizlerde X -ekseni için $\log(D/D_b)$ (mm) Y -ekseni için $\log(\sigma_N/\sigma_0)$ denklemleridir. D_b değerini Type1 analizinde lineer regresyon sonucunda bulduğumuz $Y=AX+C$ doğru denkleminde yararlanarak $D_b=C/A$ eşitliğidir. σ_0 değerini de aynı doğru denkleminde yararlanarak $\sigma_0=1/C$ şeklinde hesaplarız.

5.1. Type 1 Lineer Regrasyonları



Şekil 5.1 Type 1 lineer regrasyonları

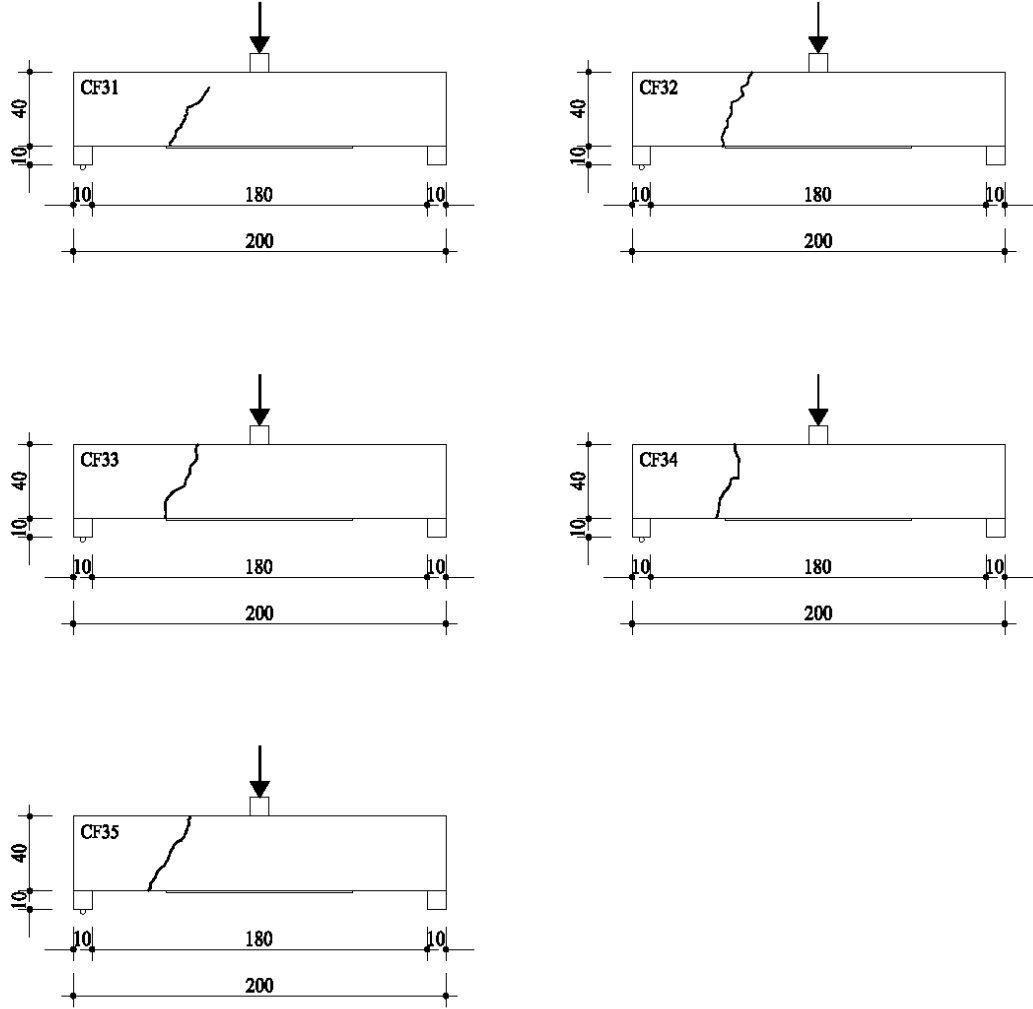
5.2. Type 1 Nonlinear Analizleri



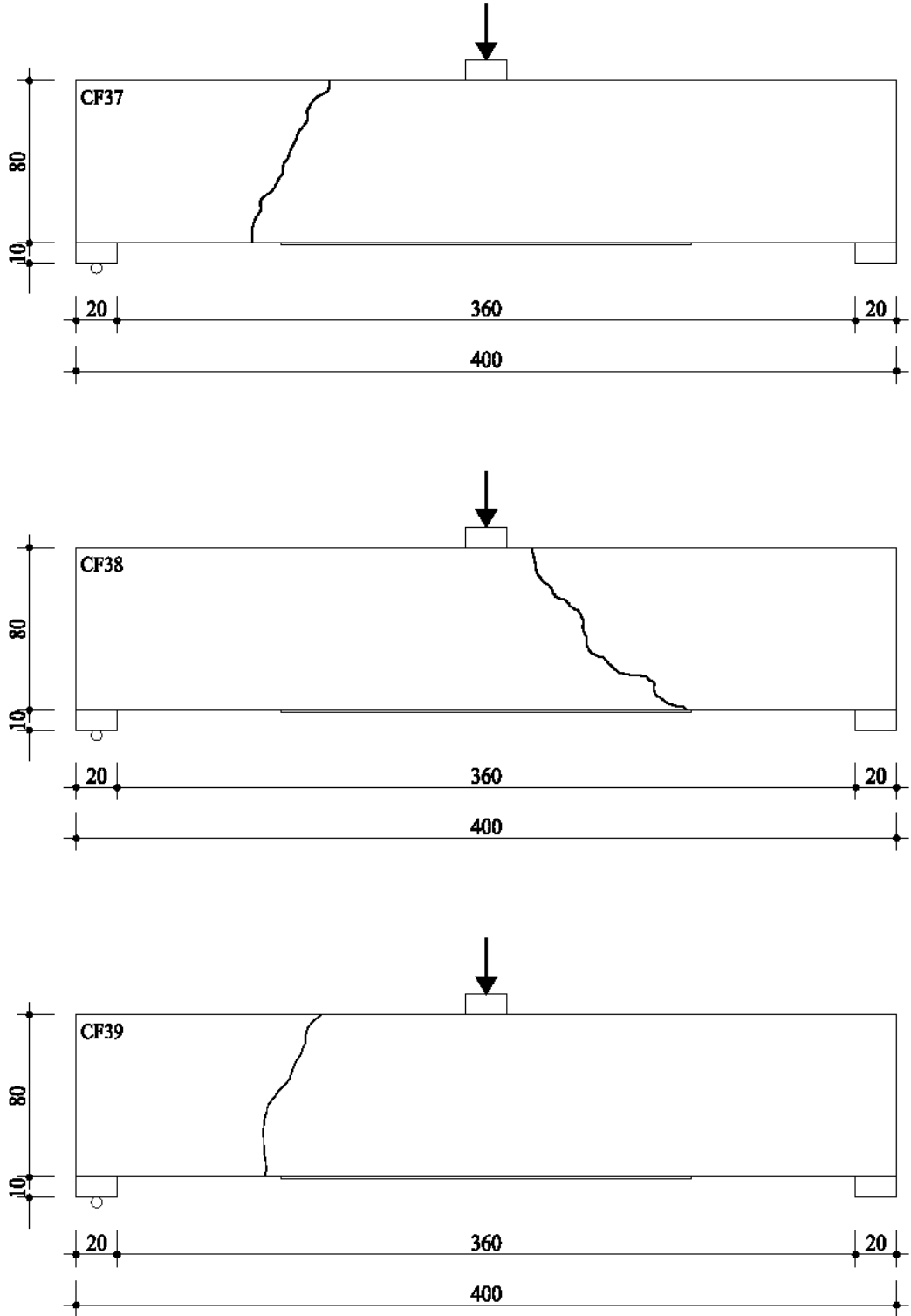
Şekil 5.2 Type 1 Nonlinear regrasyonları

6. ÇATLAK HARİTALARI

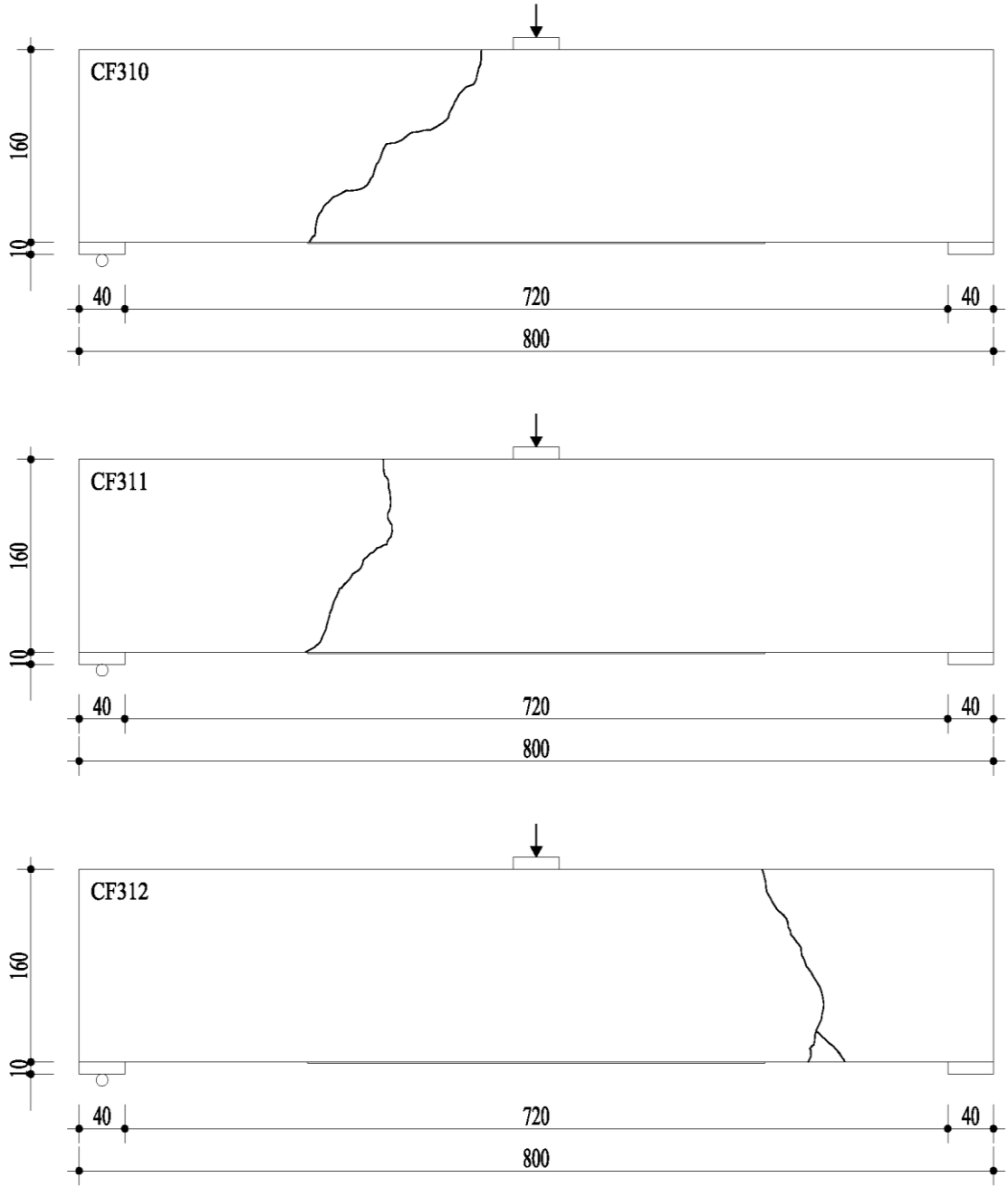
6.1. Üç Boyutlu Kiriş Göçmesinde Çatlak Haritaları



Şekil 6.1. CF31-5 kirişleri çatlak haritaları



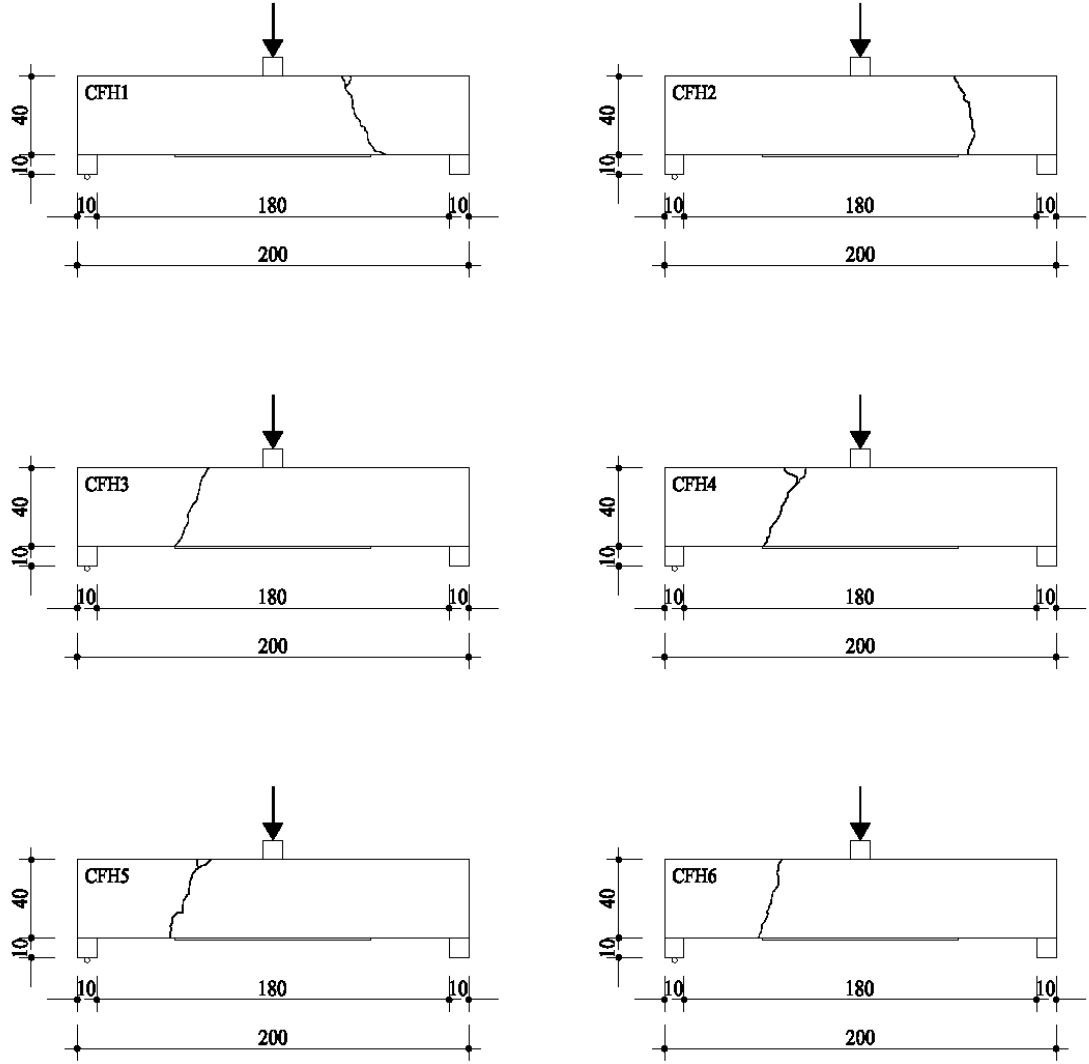
Şekil 6.2. CF37-9 kirişleri çatlak haritaları



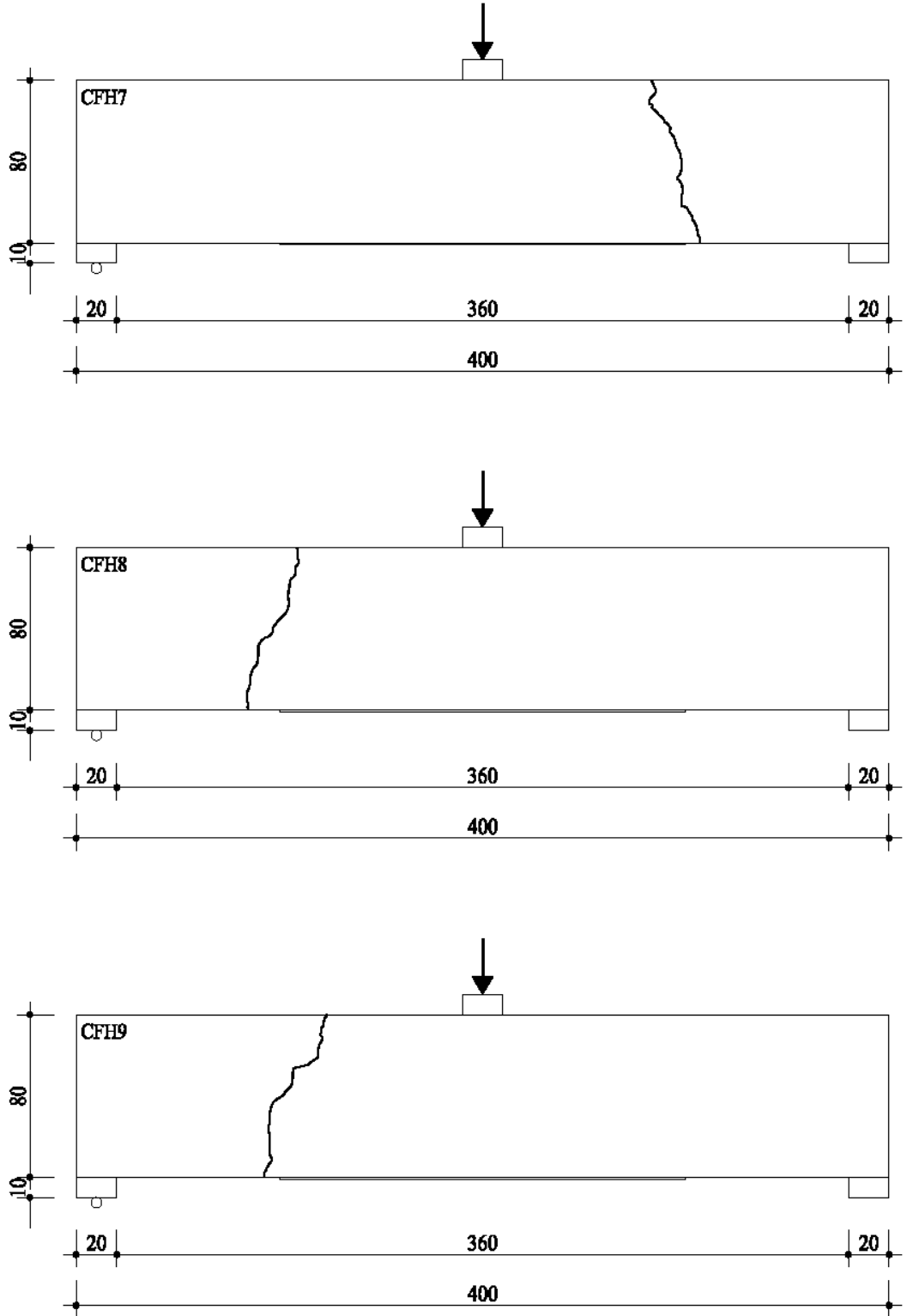
Şekil 6.3. CF310-12 kirişleri çatlak haritaları

6.2. İki Boyutlu Kirişlerde Çatlak Haritaları

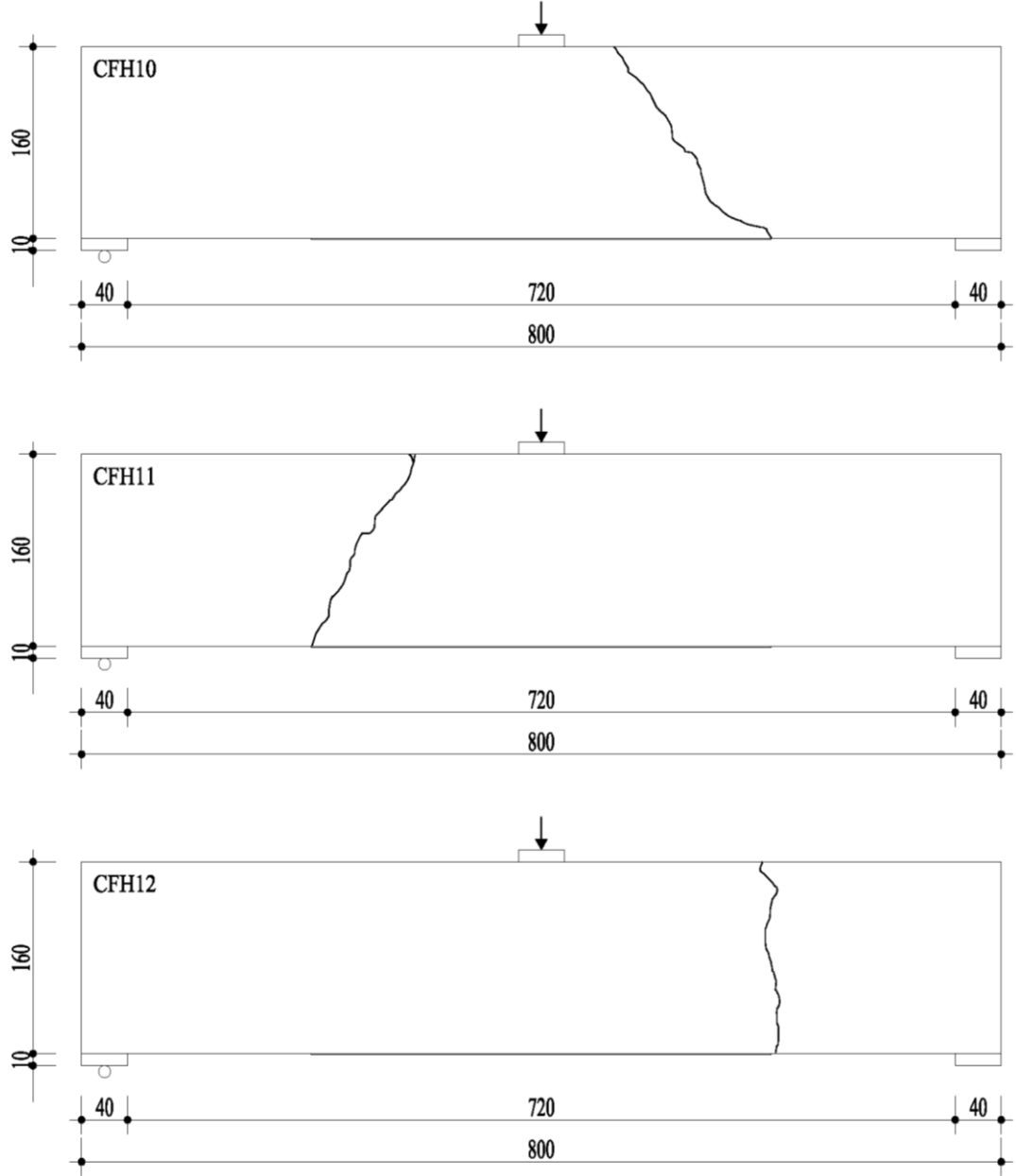
6.2.1. Kalınlık Değişken Kiriş Göçmesinde Çatlak Haritaları



Şekil 6.4. CFH1-6 kirişleri çatlak haritaları

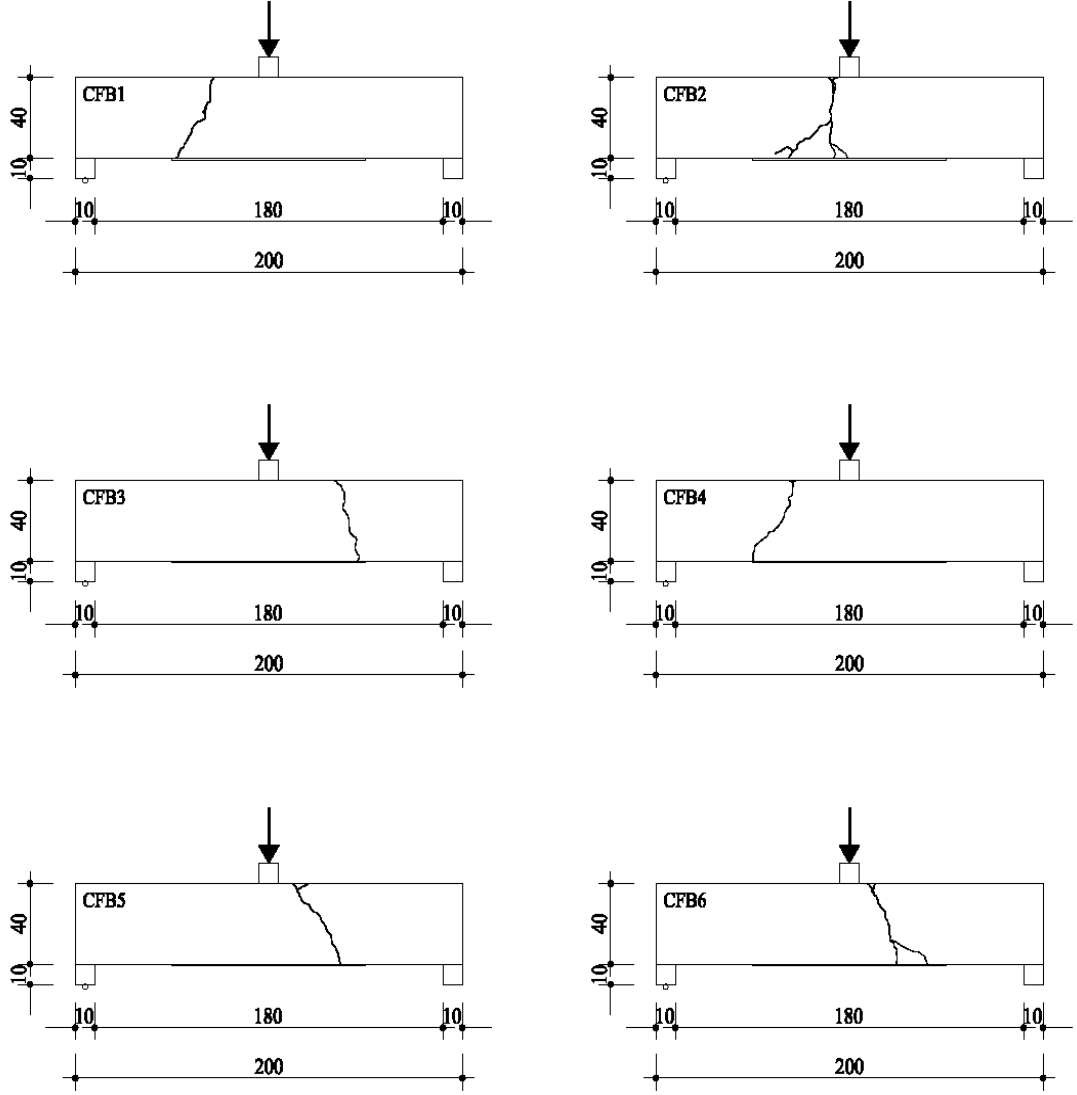


Şekil 6.5. CFH7-9 kirişleri çatlak haritaları

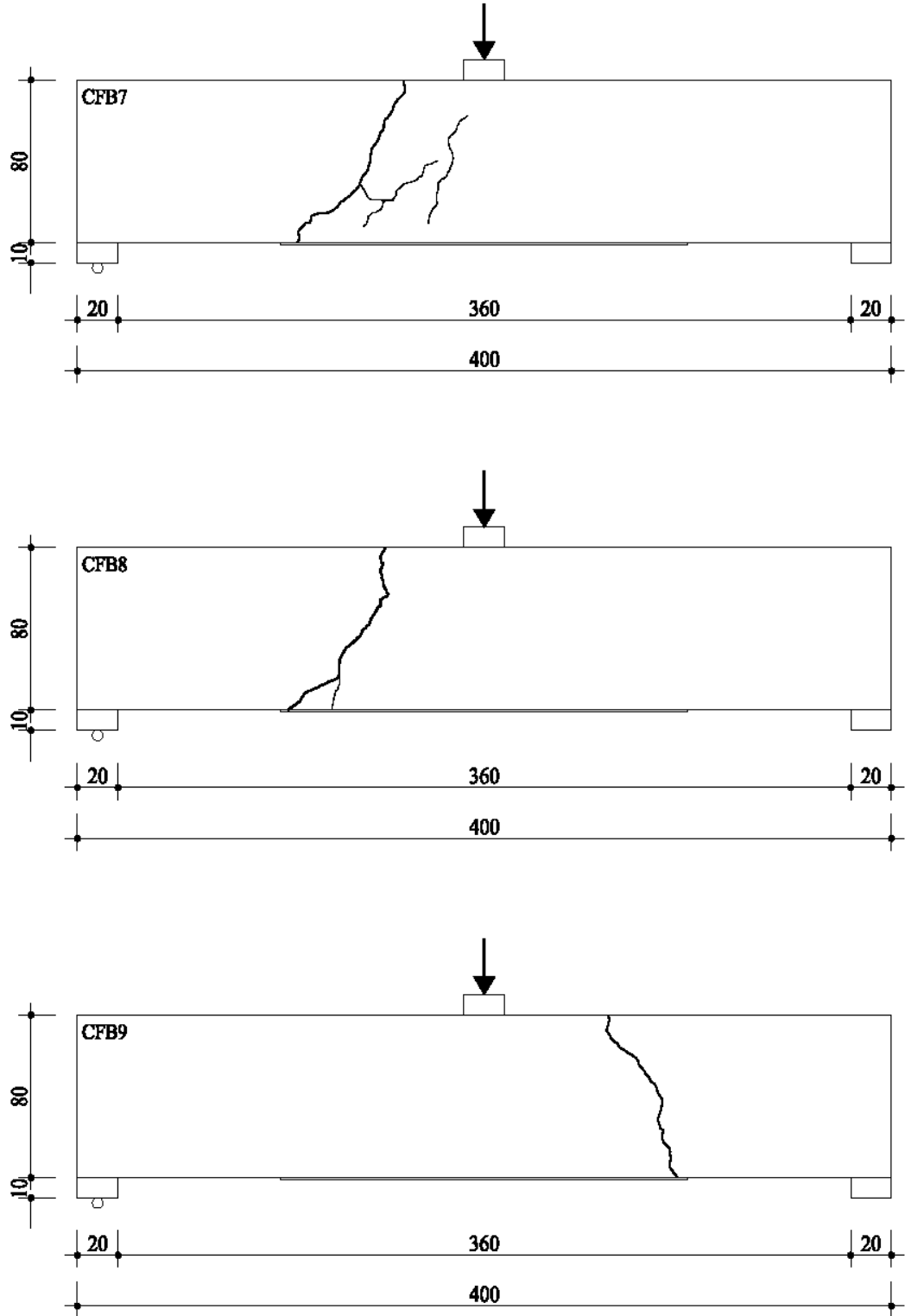


Şekil 6.6. CFH10-12 kirişleri çatlak haritaları

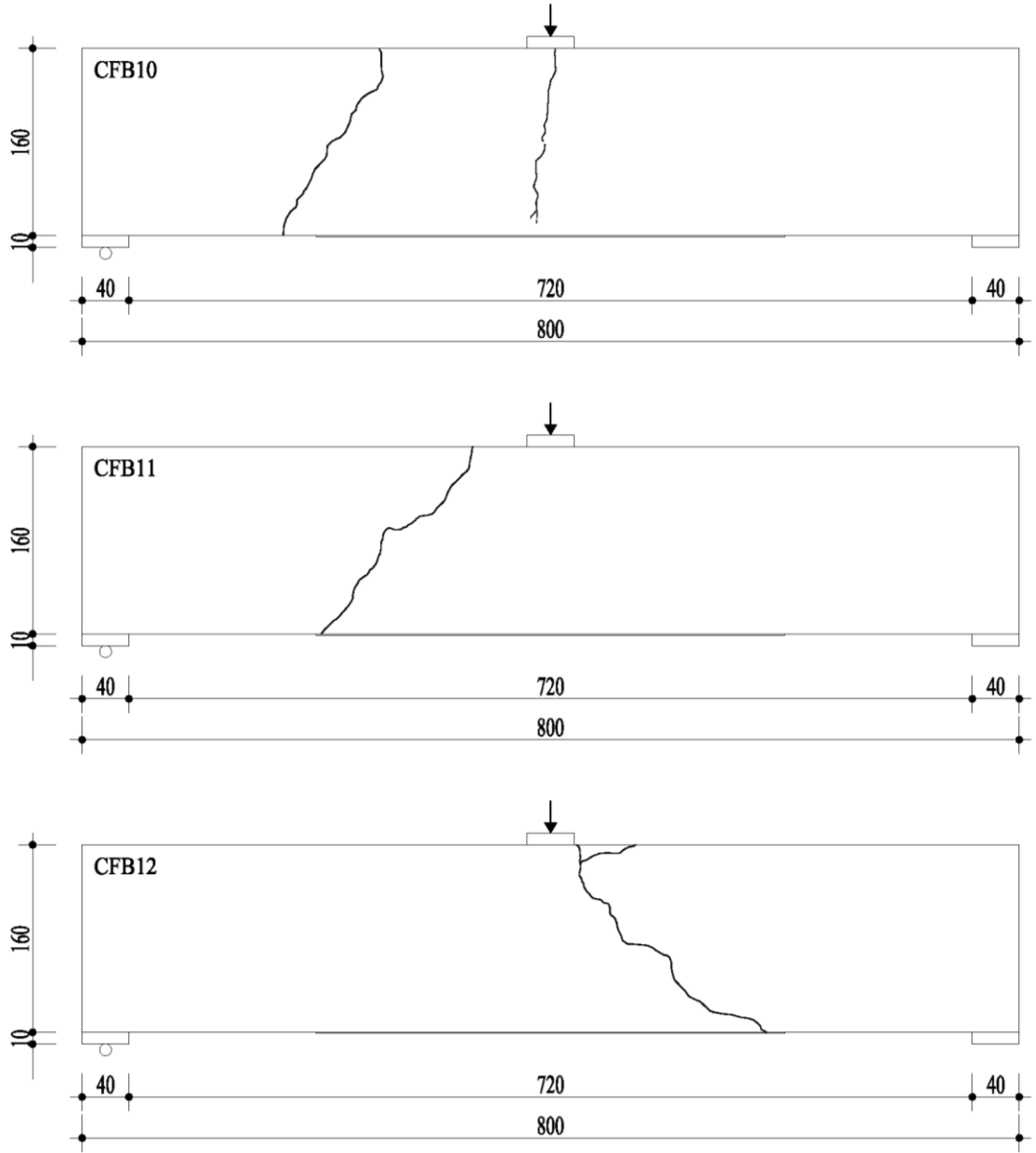
6.2.2. Genişlik Değişken Kiriş Göçmesinde Çatlak Haritaları



Şekil 6.7. CFB1-6 kirişleri çatlak haritaları



Şekil 6.8. CFB7-9 kirişleri çatlak haritaları



Şekil 6.9. CFB10-12 kirişleri çatlak haritaları

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Toplam 35 adet üç değişik kesitte kirişlerin yük altındaki göçme yükleri ile yer değiştirme sonuçlarından aşağıdakiler çıkarılabilir.

1. Deney sonuçlarından kirişlerde lineer regresyon sonuçlarında boyut etkisi görülmüştür.
2. En kuvvetli boyut etkisi 3 boyutlu CFRP'li kirişlerde görülmüştür.
3. En zayıf boyut etkisi 2 boyutlu genişlik değişken CFRP'li kirişlerde görülmüştür.
4. Göçme yükleri büyük olan kirişlerde boyut etkisinde kuvvetli görülmüştür.
5. Bazant'ın Type I boyut etkisi deney sonuçları göstermede yeterli yaklaşım olarak kullanılmalıdır.
6. Kirişlerin hemen hemen tamamında CFRP'li kirişlerin bitiminde ilk çatlak başlayıp elemanı göçmeye götürmüştür.
7. Üç boyutlu CF3-5, CF3-7, CF3-12 kirişlerinde çatlak CFRP'nin bitim noktasının sırasıyla 10 mm , 14 mm , 37 mm uzağında başlamıştır.
8. İki boyutlu kalınlık değişken CFH-7, CFH-8 ve CFH-9 kirişlerinde çatlak CFRP'nin bitim noktasının sırasıyla 7mm ,15 mm, 7 mm uzağından başlamıştır.
9. İki boyutlu genişlik değişken CFB-2, CFB-5 ve CFB-6 kirişlerinde çatlak CFRP'nin olduğu yerde başlamıştır.
10. CFB-10 kirişinde çatlak önce orta bölgede oluşmuş ancak, çatlağın CFRP'ye yaklaştığı kısımda son bularak asıl göçmenin olduğu çatlak CFRP'nin bitim noktasına yakın yerde oluşmuştur.

KAYNAKLAR

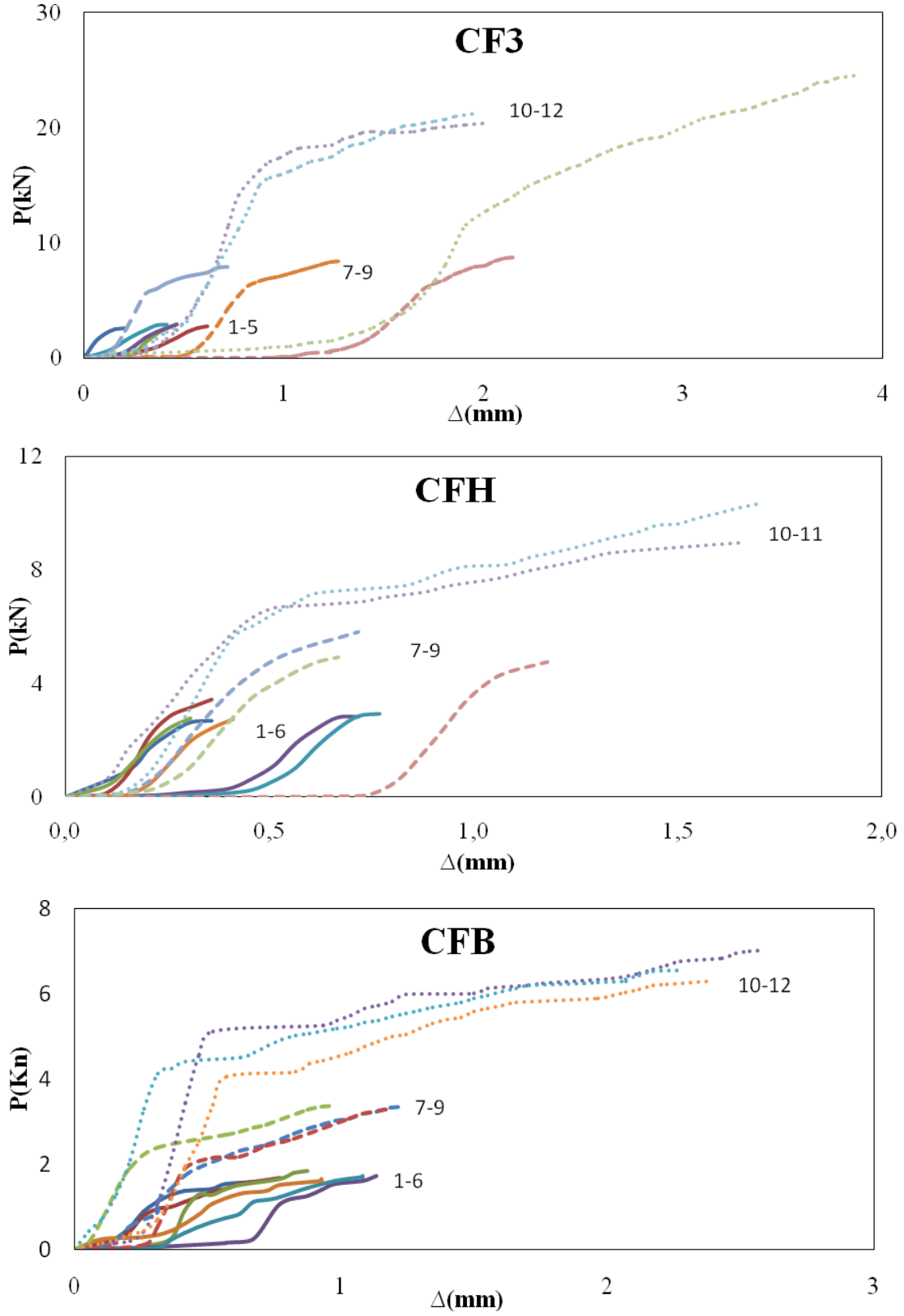
1. TS500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (1984).
2. Belgin, Ç., Şener, S., “Size Effect on Failure of Overreinforced Concrete Beams” *Engineering Fracture Mechanics*, 75: 2308-2319 (2008).
3. Nilson A.H., Winter G., “Design of Concrete Structures”, 10 Edn. *McGraw-Hill*, New York, (1986).
4. Barenblatt G.I., “Dimensional Analysis”, *Gordon&Brech*, NY, (1987).
5. Bazant Z.P., “Size Effect in Blunt Fracture: Concrete, Rock, Metal”, *J. Engng. Mech. ASCE*, 110: 518-535 (1984).
6. Bazant Z.P., and Cao Z., “Size Effect in Shear Failure of Prestressed Concrete Beams”, *ACI Journal, Proceedings*, 83 (2): 260-268 (1986).
7. Bazant Z.P., and Kim J.K., “Size Effect in Shear Failure of Reinforced Concrete Beams”, *ACI Journal, Priceedings*, 81 (5): 456-468 (1984), and Discussion, 82 (4): 579-583 (1985).
8. Bazant Z.P., and Kim J.K., Sener S., Discussion of paper 12, *ACI Journal*, 82 (4): 579-583 (1985).
9. Bazant Z.P., and Sun H.H., “Size Effect Shear Failure; Effect of aggregate Size and Strirrups.” *ACI Materials Journal*, 84 (4): 259-272 (1987).
10. Bazant Z.P., Cao Z., “Size Effect in Brittle Failure of Unreinforced Pipes”, *ACI Journal, Proceedings*, 83 (3): 369-373 (1986).
11. Bazant Z.P., and Şener S. “Size Effect in Torsional Failure of Concrete beams”, *J. Stuct. Eng. Proc. ASCE*, 113: 2125-2136 (1987).
12. Bazant Z.P., and Cao Z., “Size Effect in Punching Shear Failure of Slabs”, *ACI Structural Journal*, 84 (1): 44-53 (1987).
13. Bazant Z.P., Şener S.,and Prat P., “Size Effect Tests of Torsional Failure of Plain and Reinforced Concrete Beams”, *Rilem and Materials and Structures*, 21: 425-430 (1988).
14. Bazant Z.P., and Şener S., “Size Effect in Pull-out Tests”, *ACI Materials Journal*, 85 (5): 347-351 (1988).

15. Bazant Z.P., and Kazemi M.T., “Size Effect on Diagonal Shear Failure of Concrete Beams Without Strippus”, **ACI Structural Journal**, 88 (3): 268-276 (1991).
16. Bazant Z.P.,Kazemi M.T., Hasegawa T., and Mazars J., “Size Effect in Brazilian Split-Cylinder Tests; Measurements and Fracture Analysis”, **ACI Materials Journal**, 88 (3): 325-332 (1991).
17. Bazant Z.P.,and Scheil W.F., “Fatigue Fracture og High-Strength Concrete and Size Effect”, **ACI Materials Journal**, 90(5): 472-478 (1992).
18. Marti P., “Size Effect in Double-Punch Tests on Concrete Cylinders”, **ACI Materials Journal**, 86: 597-601 (1989).
19. Hawkins N.M., “The Role for Fracture Mechanics in Coventional Reinforced Concrete Design”, **NATO workshop of Fract. Mech.**, Sept. Northwestern Univ., Evanston, III. (1989)
20. Şener S., “Betonarme Donatıların Aderans Ekinde Boyut Etkisi”, **İMO XI Teknik Kongre**, İstanbul, 117-128 (1991).
21. Şener S., “Size Effect in Bond Splices Tests”, **FIP’92 Symposium**. Budapesht, Hungary, 357-362 (1992).
22. Şener S., “Sargılı Donatıların Aderans Ekinde Boyut Etkisi”, **İMO XII.Teknik Kongresi**, Ankara, 481-494 (1993).
23. Şener S.,Timur İ., “Size Effect in Bond Splices Tests Under the Indirect Loading”, **Advances in Civil Engineering First Technical Congress**, Gazimagusa, North Cyprus, 728-735 (1993).
24. Şener S., “Concrete Structures Design based on Fracture Mechanics”, **The Third Inter Kerensky Conference on Global Trends in Structural Engineering**, Singapore, 563-567 (1994).
25. Şener S., Aydın İ., “Beton Kirişlerin Tasarımında Kırılma Mekaniğinin Kullanılması”, **IX Ulusal Mekanik Kongresi** Ürgüp, 878-879 (1995).
26. Şener S., “Yüksek Dayanımlı Betonda Kırılma Mekaniği” İTÜ Prof. Turgan **Sabis Sempozyumu**, İstanbul, 209-219 (1995).
27. Şener S., Belgin Ç., Akyıldız A., Okkalı S., “Size Effect in Axially Loaded Reinforced Concrete Columns,” Concrete Technology for Developing Countreis **Fourth International Conference**, Eastern Mediterranean University, North Cyprus, 640-646 (1996).

28. Şener S., Belgin Ç., “Narin Beton Kolonlarda Boyut Etkisi Deneyleri”, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, **III. Teknik Kongre**, 147-155 (1997).
29. Şener S., Belgin Ç., Öztürk A., “Betonarme Kolonlarda Yapım Kusurlarının DeneySEL Bulunması”, **10. Ulusal Mekanik Kongresi**, 85-86 (1997).
30. Hadi A., Şener S., Barr B., “Size Effect Tests for Plain and Reinforced Concrete Columns”, **Report**, University of Wales, Cardiff, (1996).
31. Kaplan M.F., “Crack Propagation and the Fracture of Concrete”, **A.C.I. J.**, 58:11 (1961).

EKLER

Ek-1. Deney Kirişleri Düzeltme Yapılmamış Yük-Yer Değiştirme Grafikleri



Ek-2. CF31-3 Kirişlerin Deney Sonrası Durumu



Ek-3. CF34-5 Kirişlerin Deney Sonrası Durumu



Ek-4. CF37-9 Kirişlerin Deney Sonrası Durumu



Ek-5. CF310-12 Kirişlerin Deney Sonrası Durumu



Ek-6. CFH2-5 Kirişlerin Deney Sonrası Durumu



Ek-7. CFH6-8 Kirişlerin Deney Sonrası Durumu



Ek-8. CFH9-12 Kirişlerin Deney Sonrası Durumu



Ek-9. CFB1-3 Kirişlerin Deney Sonrası Durumu



Ek-10. CFB4-6 Kirişlerin Deney Sonrası Durumu



Ek-11. CFB7-9 Kirişlerin Deney Sonrası Durumu



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KAYA, Eyub Mustafa
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 08.04.1981, Ankara
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 555 46 70
e-mail : ekaya_81@hotmail.com.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/İnşaat Bölümü	2010
Lisans	Sakarya Üniversitesi/İnşaat Bölümü	2004
Lise	Ankara Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2008	Ankara Büyükşehir Belediyesi	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

MasaTenis, Bilgisayar teknolojileri, Yüzme, Seyahat