

YÜKSEK DAYANIMLI BETON KULLANILAN ELEMANLARIN EĞİLME TASARIMI

Halit Cenan MERTOL*

*Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., Ankara, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, beton basınç dayanımı 124 MPa'ya kadar olan eğilme momenti altındaki yüksek dayanımlı beton elemanların, basınç bölgelerindeki gerilme dağılımının ana özelliklerini anlatılmaktadır. Beton basınç dayanımı 71.7 ile 110.3 MPa arasında değişen 21 adet donatısız beton deney elemanı, eğilme ve eksenel basınç altında kırılmıştır. Deney elemanları, deney esnasında iki adet birbirinden bağımsız kuvvete maruz bırakılmış ve bu kuvvetler, elemanın bir yüzünde basınç gerilmesi yaratırken diğer yüzünde tarafsız eksen oluşturmuştur. Ölçülen basınç gerilmesi - şekil değiştirme dağılımları ve basınç gerilmesi bloğu parametreleri, literatürdeki benzer araştırmalarda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda, basınç bloğu parametreleri için beton basınç dayanım sınırı 69 MPa olan AASHTO LRFD Köprü Tasarım Şartnamesi'ne, bu sınırı 124 MPa'ya kadar çıkarabilmek için yeni bir model önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek dayanımlı beton, basınç bloğu parametreleri, eğilme.

DESIGN OF FLEXURAL HIGH-STRENGTH CONCRETE MEMBERS

ABSTRACT

This paper describes the fundamental characteristics of the compressive stress distribution in the compression zone of flexural members with concrete compressive strengths up to 124 MPa. The proposed model is based on testing of 21 plain concrete specimens subjected to combined flexure and axial compression up to failure. The main variable considered was the strength of concrete that ranged from 71.7 to 110.3 MPa. Each specimen was subjected to two independent loads with a specific configuration to induce maximum compressive strain at one face and zero strain at the opposite. The measured stress-strain curves and stress block parameters were compiled with the data found in the literature. The results were used to develop recommended revisions for the AASHTO LRFD Bridge Design Specifications to extend its current limitation of 69 MPa for concrete compressive strength up to 124 MPa.

Keywords: High-strength concrete, stress block parameters, flexure.

1. GİRİŞ

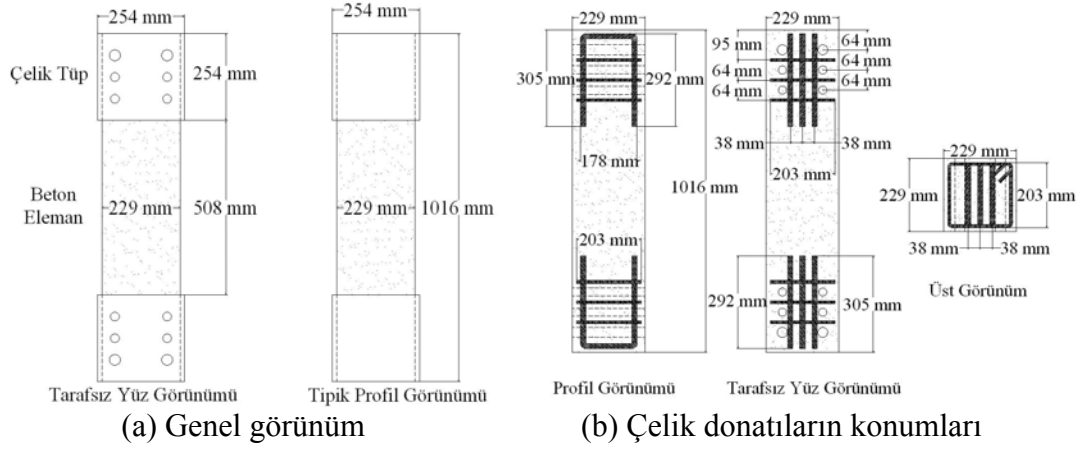
Köprülerde, yüksek dayanımlı beton (YDB) elemanların kullanılması günümüzde gittikçe yaygınlaşmaktadır. YDB ile daha uzun açıklıklar, daha az yapısal eleman kullanılarak geçilebilir ve bu da projenin karmaşıklığını, inşaat süresini ve maliyetini azaltır. YDB sadece betonun dayanımının artması demek değil, aynı zamanda yapının dayanıklılığının da artması ve buna bağlı olarak da ömrünü uzaması demektir. Günümüzde kullanılan köprü tasarım şartnamelerinin çoğu, tasarımda kullanılacak beton basınç dayanımına bir sınır getirmektedir. Bunun sebebi de, bu şartnameler yazıldığında, bu konu üstüne yeterli araştırma verileri bulunmamasıdır.

Eğilme altındaki betonarme bir eleman çökme anına ulaştığında, basınç bölgesindeki en dış lifin birim şekil değiştirmesi betonun ezilme birim kısılmasına eşittir. Bu anda basınç bölgesindeki beton, genellenmiş basınç - birim şekil değiştirme ilişkisi diye adlandırılan, betonun aksel basınç altındaki basınç - birim şekil değiştirme dağılımı etkisine maruz kalır. Bu makale, YDB elemanların eğilme altında oluşturdukları genellenmiş basınç - birim şekil değiştirme ilişkisini irdelemektedir. Bu çalışmadaki kullanılan beton basınç dayanımı 69 MPa'dan 124 MPa'a kadar değişmektedir. Hognestad ve diğerleri [1] tarafından geliştirilen deney düzeneğinin benzeri kullanılarak deney elemanı aksel yüke ve momente maruz bırakılmıştır. Bu şekilde deney elemanı kesitinde, eğilme altındaki beton bir elemanın basınç bölgesi oluşturulmaya çalışılmıştır.

İlk olarak 1994 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde yürürlüğe giren AASHTO (Amerikan Devlet Otoyolları ve Resmi Taşımacılık Birliği) LRFD (Yük ve Dayanım Faktörü Tasarımı) Köprü Tasarım Şartnamesi'nin [2] içindeki bir bölüm, tasarımda kullanılacak betonun basınç dayanımını 69 MPa ile sınırlamaktadır. Dayanımı 69 MPa'dan yüksek olan betonun tasarımı için, betonun basınç deneyleri yapılarak, basınç - birim şekil değiştirme ilişkisinin bulunmasını önşart koşmaktadır. LRFD Şartnamesi [2] oluşturulduğu sırada YDB hakkındaki bilgi ve deneyim yeterli olmadığından bu sınır oluşturulmuştu. Hatta, bu şartnamenin çoğu 41 MPa beton basınç dayanımını geçmeyen deney sonuçları ışığında oluşturulmuştur. Böyle bir sınır, ACI (Amerikan Beton Enstitüsü) 318-05'te [3] kenetlenme, aderans ve kesme dayanımı bölümleri dışında olmamasına rağmen, YDB'nin kullanımı konusunda yeterli bilgi sunmamaktadır.

2. DENEY PROGRAMI

Deney programı, 229×229×1016 mm boyutlarındaki 21 adet deney elemanından oluşmaktadır. Deney elemanlarının genel görünümü Şekil 1'de verilmiştir. Bu çalışmadaki ana parametre beton dayanımıdır. Üç değişik düzeyde, 69, 97 ve 124 MPa, beton hedef basınç dayanımı amaçlanmıştır. Elemanların beş tanesi 69 MPa, altı tanesi 97 MPa ve 10 tanesi de 124 MPa beton hedef basınç dayanımına sahip beton karışımından dökülmüştür. Deney günü beton basınç dayanımı, üç adet 100×200 mm beton silindirin kırılması ile elde edilmiştir. İlave beton silindirler, 28 günlük beton basınç dayanımını için kullanılmıştır.



Şekil 1 . Genel görünüm ve çelik donatılarının konumları

Erken oluşabilecek lokal çökmeleri engelleyebilmek için, elemanların her iki ucu da, Şekil 1(b)'de gösterildiği gibi, 3 adet U şeklindeki \square 13 boyuna donatı ve 3 adet \square 10 enine donatı ile pekiştirilmiştir. Buna ilaveten, elemanın her iki ucu 13 mm et kalınlığındaki ve 254 mm yüksekliğindeki çelik tüplerle sarılmıştır. Bu tüplerin karşılıklı yüzlerindeki delikler gerekli moment transferi yapabilmeyi olağan kılmıştır. Elemanın orta kesimindeki 406 mm uzunluğundaki deney alanı donatısız betondan oluşmaktadır.

Deney elemanları ve beton silindirler, dökümden 24 saat sonra kalıplarından çıkarılmış ve bir hafta boyunca nemli çuval ve muşamba altında örtülü olarak bekletilmiştir. Elemanlar daha sonra 22 °C sıcaklık ve % 50 bağıl neme sahip olan laboratuvar ortamında, deney gününe kadar saklanmıştır. Silindirlerin alt ve üst yüzeyleri deney yapılmadan önce düzleştirilmiştir.

Malzemeler: Üç farklı beton hedef basınç dayanımı elde etmek için kullanılan beton karışımları Logan [4] tarafında tasarlanmış ve Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1 . Hedef basınç dayanımları için kullanılan beton karışımları

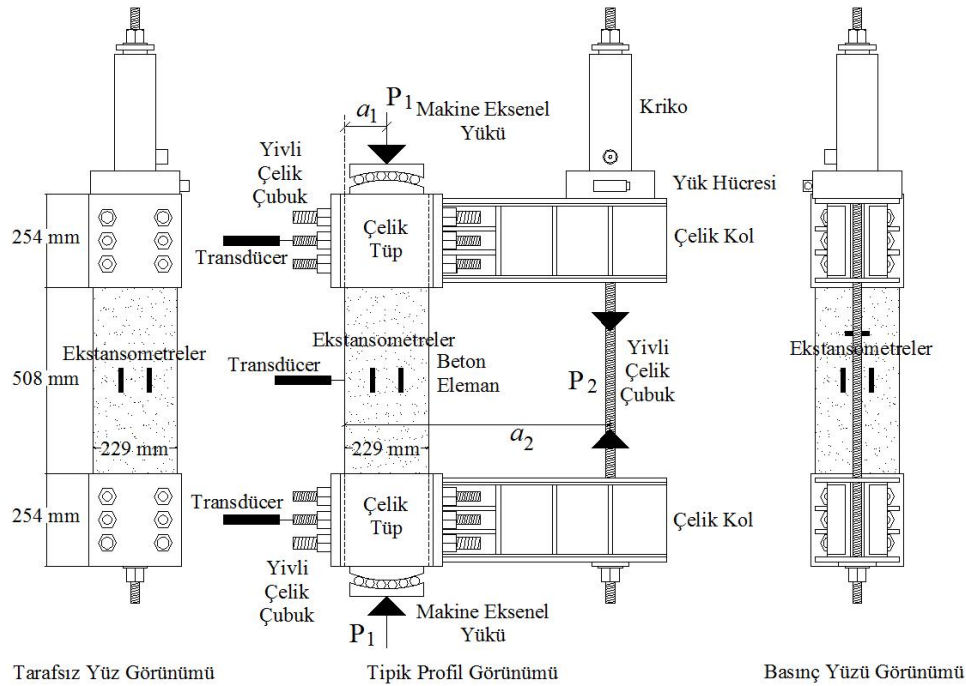
Malzemeler	Beton Hedef Basınç Dayanımı		
	69 MPa	97 MPa	124 MPa
Çimento - kg/m ³	417	417	555
Silis Dumanı - kg/m ³	44	44	44
Uçucu Kül - kg/m ³	114	114	30
Kum - kg/m ³	625**	780***	736***
Çakıl - kg/m ³	1,085	1085	1,085
Su - kg/m ³	173	148	158
Akışkanlaştırıcı - mL/100 kg*	1,110	1,565	2,345
Geciktirici - mL/100 kg*	195	195	195
Su / Birleştirici Malzemeler (Çimento + Silis Dumanı + Uçucu Kül)	0.30	0.26	0.25
28 Gün Beton Basınç Dayanımı – MPa	78.9	99.1	117.8

* Her 100 kg birleştirici malzeme için gereken mL, ** Dere kumu, *** Kırma kum

İri agrega olarak en büyük nominal boyutu 10 mm olan kırma taş seçilmiştir. Hedef basınç dayanımına göre iki farklı çeşit ince agrega (dere kumu veya kırma kum) kullanılmıştır. Bütün karışımlarda Tip I/II çimento, silis dumanı ve uçucu kül

kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı olarak Glenium 3030 ve geciktirici olarak da DELVO dengeleyici kullanılmıştır.

Deney Metodu ve Düzenegi: Şekil 2’de deney düzenegi şematik olarak gösterilmiştir. Tarafsız eksenin yerini koruyabilmek için uygulanan P_1 ve P_2 eksenel yükleri deney esnasında elemanın dış yüzeyinde birim şekil değiştirme oluşmamasını için ayarlanmış ve dengelenmiştir. Elemanın iç yüzeyindeki basınç bölgesinin en dış liftinde ise monoton bir şekilde artan basınç birim şekil değiştirmesi oluşturulmuştur. Yükleme sırasındaki her yük artışında ana eksenel yük, P_1 , daha önceden belirlenen bir seviyeye ulaşana kadar deney makinası tarafından elemana uygulanmış ve kesitte düzgün yayılı basınç birim şekil değiştirmesi elde edilmiştir. Daha sonra eleman, bir hidrolik kriko yardımıyla P_2 tali yüküne maruz bırakılmış ve oluşturduğu moment sayesinde kesitte bu sefer doğrusal değişen birim şekil değiştirme dağılımı oluşmuştur. Bu dağılım ile ana eksenel yüklemekten elde edilen birim şekil değiştirme dağılımı süperpoze edilince dış yüzeydeki birim şekil değiştirme sıfırlanmış ve iç yüzeydeki basınç birim şekil değiştirme en yüksek değerine ulaştırılmıştır.



Şekil 2 . Deney düzenegi

İki çelik moment kolu, elemana her iki uçta da çelik tüplerde bulunan deliklerden geçen altı tane yivli çelik çubukla bağlanmıştır. Her iki çelik kol da 229×25×610 mm ölçülerindeki çelik levhalara kaynaklanmış olan 600 mm uzunluğundaki C8×11.5 U profilinden oluşmuştur. Çelik kollar için 13 mm’lik rijitleştiriciler kullanılmıştır. Makina tarafından uygulanan eksenel yükün oluşturabileceği eleman ucu kısıtlanmalarını engellemek için özel olarak tasarlanmış iki kayar mesnet kullanılmıştır. Her bir kayar mesnet, iç ve dış yönlerine doğru incelen iki kavisli levhadan ve 25 mm çapındaki altı adet silindirden oluşmuştur. Çelik kollar ve kayar mesnetler, akmaya karşı güvenlik katsayılarının alt sınırı iki olacak şekilde tasarlanmıştır. Bunun amacı, kırılmanın deney bölgesinde oluşmasını sağlamaktır.

Yük Makineleri ve Ölçü Aletleri: Ana aksenal yük, P_1 , 1000 tonluk yük kontrollü hidrolik basınç makinesiyle uygulanmış olup, makinenin kendi yük hücresiyle ölçülmüştür. Tali yük olan P_2 ise, 60 tonluk Enerpac hidrolik krikosu tarafından uygulanmış ve 50 tonluk düz yük hücresi tarafından ölçülmüştür.

Elemanların yüzey birim şekil değiştirme ölçümleri için her elemanda toplam 9 adet 60 mm'lik birim şekil değiştirme ekstansometreleri kullanılmıştır. Bu ekstansometrelerden iki tanesi elemanın tarafsız aksenal yüzeyine, dört tanesi iki kenar yüzeyine ve üç tanesi de elemanın en yüksek basınca maruz kalan yüzeyine monte edilmiştir. Bütün ekstansometreler, sadece basınç yüzeyindeki bir tane haricinde (enine kullanılan), boyuna birim şekil değiştirme ölçmek için kullanılmıştır. Ayrıca üç adet 25 mm'lik transdüserle eleman boyunca oluşacak şekil değiştirme ölçülmüş ve tali moment etkisi hesaplarında kullanılmıştır. Ölçüm aletlerinin yerleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

Deney Prosedürü: İlk olarak kayar mesnetler basınç kuvveti uygulayacak deney makinesinin içine yerleştirilmiştir. Daha sonra beton eleman, kayar mesnetin üzerine yerleştirilmiş, ayarlanmış ve dengelenmiştir. Çelik moment kolları, elemanın alt ve üst tarafındaki delikler sayesinde, yivli çubuklar kullanılarak, elemana monte edilmiştir. Tali yük uygulamakta kullanılan yük hücresi ve hidrolik kriko, üst moment kollunun üzerine yerleştirilmiştir. Alt ve üst moment kollarının, çelik yivli çubuk kullanılarak yük transferi yapması sağlanmıştır. Son olarak da üst taraftaki kayar mesnet deney düzeneğine yerleştirilmiştir.

Deney esnasında, her bir ana aksenal yük derecesi artışında, elemana tali yük uygulanarak tarafsız aksenal elemanın bir yüzünde tutulması sağlanmıştır. Yükleme hızı olarak, elemanın basınç yüzeyinde saniyede 2 mikro birim şekil değiştirme kullanılmıştır. Her bir deney beton eleman çökünceye kadar devam etmiş ve yaklaşık 25 dakika sürmüştür. Deney gününde elemanla birlikte dökülen beton silindirler de, ASTM (Amerikan Malzeme ve Testleri Birliği) C 39 [5] Şartnamesine uygun olarak, deneye tabi tutulmuştur.

3. DENEY SONUÇLARI VE DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Üç ayrı hedef beton dayanımı için, 28 günlük ortalama beton basınç dayanımı 76.4, 102.5 ve 106 MPa olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada elde edilen en yüksek 28 günlük ortalama beton basınç dayanımı 110 MPa'dır. Deney elemanlarının hepsi de benzer şekilde patlayarak kırılmış ve kırılana kadar eleman üzerinde gözle görülebilen hiç bir çatlak oluşmamıştır. Deney elemanların tipik çökme modu Şekil 3'te gösterilmiştir. Her bir eleman için deney günü beton silindir basınç dayanımı, elemanın yaşı, yükleme hızı ve beton ezilme birim kısalması Çizelge 2'de gösterilmiştir.



(a) Deney öncesi

(b) Deney sonrası

Şekil 3 . Deney elemanlarının tipik çökme modu (18EB6)

Çizelge 2 . Deney sonuçları

Eleman No	f_{cdenev} (MPa)	Beton Yaşı (gün)	Yükleme Hızı ($\mu\epsilon/s$)	Ezilme Birim Kısılması ($\mu\epsilon$)	k_1	k_2	k_3	α_1	β_1
10EB1	76.2	63	12.2	3,738	0.65	0.38	1.03	0.90	0.75
10EB2	78.7	109	2.0	3,138	0.62	0.36	1.12	0.95	0.72
10EB3	80.7	111	2.4	3,407	0.65	0.36	1.14	1.02	0.73
10EB4	71.4	63	2.1	3,102	0.64	0.36	1.20	1.06	0.73
10EB5	75.2	62	2.2	3,023	0.62	0.36	1.16	1.01	0.72
14EB1	100.9	49	2.3	3,316	0.63	0.37	1.00	0.85	0.74
14EB2	98.7	51	1.8	3,162	0.60	0.36	1.08	0.85	0.72
14EB3	101.2	52	2.2	3,177	0.61	0.36	1.09	0.93	0.71
14EB4	103.7	57	2.3	3,032	0.58	0.35	1.10	0.92	0.70
14EB5	105.9	100	5.3	2,868	0.57	0.34	1.10	0.92	0.68
14EB6	104.5	101	4.1	2,954	0.60	0.35	1.06	0.91	0.69
18EB1	109.1	76	2.2	3,684	0.69	0.38	0.82	0.74	0.77
18EB2	110.2	77	2.3	3,364	0.67	0.37	0.85	0.77	0.74
18EB3	107.5	81	2.4	2,914	0.63	0.37	0.81	0.69	0.73
18EB4	108.7	82	2.6	3,306	0.65	0.36	0.88	0.78	0.73
18EB5	110.6	83	2.1	3,144	0.65	0.36	0.85	0.76	0.72
18EB6	106.8	84	2.1	3,404	0.66	0.37	0.88	0.78	0.74
18EB7	103.7	96	2.5	3,585	0.64	0.37	1.05	0.90	0.75
18EB8	99.9	97	2.7	3,507	0.65	0.37	1.03	0.91	0.74
18EB9	102.8	99	2.2	3,494	0.62	0.36	1.06	0.91	0.72
18EB10	100.7	102	2.0	3,532	0.64	0.38	0.97	0.82	0.77

Gerilme Bloğu Parametreleri: Her deney eleman için gerilme - birim şekil değiştirme ilişkisi, Hognestad ve diğerleri [1] tarafından kullanılan yöntemle elde edilmiştir. Bu yöntemde, beton gerilmeleri elemanın en dış lifindeki birim şekil değiştirmesi (ϵ_c) ve uygulanan gerilmelerin (f_o ve m_o) bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki eşitlikler, iç-dış kuvvetlerin ve momentlerin eşitliğinden elde edilmiştir. Elemanın şekil değiştirmesinden kaynaklanan dışmerkezlilik ve ikincil derecedeki momentler de toplam uygulanan moment (M) hesaplarına katılmıştır.

$$C = P_1 + P_2 = f_o bc = \frac{bc}{\varepsilon_c} \int_0^{\varepsilon_c} \sigma(\varepsilon_x) d\varepsilon_x \quad (1)$$

$$M = P_1 a_1 + P_2 a_2 = m_o bc^2 = \frac{bc^2}{\varepsilon_c} \int_0^{\varepsilon_c} \sigma(\varepsilon_x) \varepsilon_x d\varepsilon_x \quad (2)$$

Burada C uygulanan toplam kuvvet, a_1 ve a_2 kuvvetlerin elemanın tarafsız eksenine göre dışmerkezliği, b eleman kesitinin eni, c tarafsız eksenin derinliği ve

$$f_o = \frac{P_1 + P_2}{bc} \quad (3)$$

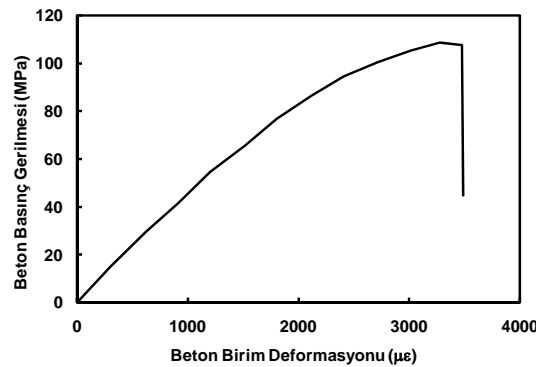
$$m_o = \frac{P_1 a_1 + P_2 a_2}{bc^2} \quad (4)$$

da uygulanan gerilmelerdir. Bu tanımlardan bazıları Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu eşitliklerin son terimlerinin elemanın en dış lifindeki birim şekil değiştirmesine (ε_c) göre türevi sonucu şu eşitlikler elde edilir.

$$\sigma_c = \varepsilon_c \frac{df_o}{d\varepsilon_c} + f_o \quad (5)$$

$$\sigma_c = \varepsilon_c \frac{dm_o}{d\varepsilon_c} + 2m_o \quad (6)$$

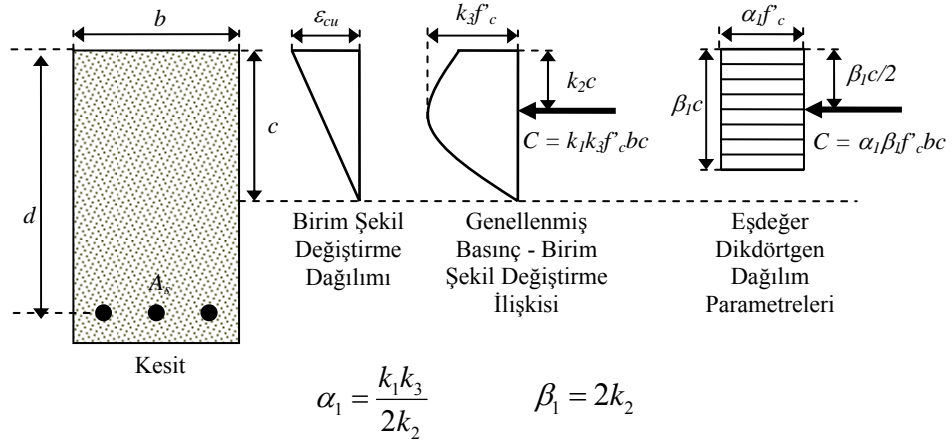
Bu eşitlikler kullanılarak her eleman için iki benzer gerilme - birim şekil değiştirme ilişkisi elde edilmiş ve bunların ortalaması da o elemanın gerilme - birim şekil değiştirme ilişkisi olarak sunulmuştur. Deney elemanları için tipik bir gerilme - birim şekil değiştirme dağılımı Şekil 4’te gösterilmiştir. Her bir deney elemanı için elde edilen basitleştirilmiş gerilme - birim şekil değiştirme ilişkileri Mertol [6]’da detaylı olarak gösterilmiştir. Bu gerilme - birim şekil değiştirme ilişkileri, gerilme bloğu parametrelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.



Şekil 4 . Elemanlar için tipik gerilme - birim şekil değiştirme dağılımı (18EB9)

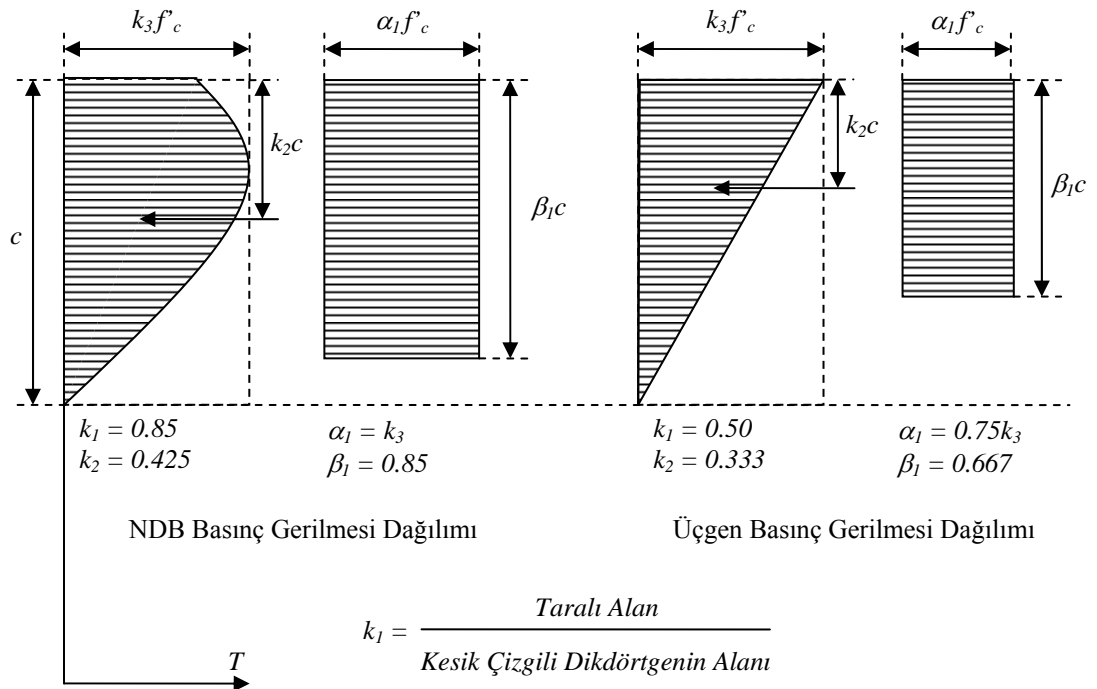
Eğilme altındaki bir elemanın basınç bölgesindeki genellenmiş gerilme bloğu, k_1 , k_2 ve k_3 parametreleri ile tanımlanır. İlk parametre, k_1 , ortalama basınç gerilmesinin en yüksek basınç gerilmesine ($k_3 f_c$) oranıdır. Bileşke kuvvetin (C), en dış basınç lifine olan uzaklığının basınç bölgesi derinliğine (c) oranı k_2 parametresi olarak tanımlanır. Son parametre olan k_3 ise elemanda elde edilen en yüksek basınç gerilmesinin, beton

silindir basınç dayanımına (f'_c) oranıdır. Bu tasarım parametreleri, betonun basınç bölgesindeki en dış lifinin ezilme birim kısalmasına (ϵ_{cu}) ulaştığında hesaplanır. Üç parametrelili genelleştirilmiş gerilme bloğu, bileşke kuvvetin konumunun aynı kalması şartıyla, iki parametre kullanılarak (α_1 ve β_1) tanımlanan eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğuna dönüştürülebilir. Bu parametreler Şekil 5'te gösterilmiştir. Anlatılan yöntemle elde edilen, her bir eleman için hesaplanmış gerilme bloğu parametreleri Çizelge 2'de gösterilmiştir.



Şekil 5 . Dikdörtgen kesitler için gerilme bloğu parametreleri

Normal dayanımlı betonun (NDB) basınç dağılımı Şekil 6'da gösterilen eğri şekil ile gösterilebilir. Bu çeşit bir dağılım için k_1 ve k_2 'nin değeri sırasıyla 0.85 ve 0.425'dir. Eşdeğer dikdörtgen basınç bloğuna çevrilince, α_1 ve β_1 'in değeri sırasıyla k_3 ve 0.85'e eşdeğerdir. Eğer YDB'nin basınç dağılımı üçgenel olarak varsayılırsa, k_1 ve k_2 'nin değeri sırasıyla 0.50 ve 0.333'dür. Bu şekilde hesaplanan α_1 ve β_1 'in değeri de sırasıyla $0.75 k_3$ ve 0.667'ye eşittir. Bu parametreler Şekil 6'da gösterilmiştir



Şekil 6 . Çeşitli basınç gerilme dağılımları için gerilme bloğu parametreleri

Bu çalışmadaki ve literatürdeki deney sonuçlarına göre, 69 ile 124 MPa arasındaki beton basınç dayanımları için deneysel olarak elde edilen k_1 parametrelerinin büyük çoğunluğu 0.58 değerinin üzerindedir. Bu yüzden 0.58 değeri k_1 parametresi için, 103 MPa beton dayanımı üstü için, alt sınır olması önerilmiştir.

LRFD Şartnamesi [2] ve ACI 318-05'te [3], β_1 parametresinin 55 MPa üstü beton basınç dayanımı için 0.65'e eşit olmasından dolayı, k_2 parametresi de 0.33 olarak belirlenmiştir. Bu hüküm, bu çalışmadaki ve literatürdeki, 55 ile 124 MPa beton basınç dayanımı arasındaki deney sonuçlarına tarafından da doğrulanmaktadır.

Ayrıca bu çalışmadaki ve literatürdeki deney sonuçlarına göre, NDB ve YDB için k_3 parametresinin benzer olduğu saptanmış ve tasarımda kullanılacak k_3 parametresinin 124 MPa beton basınç dayanımına kadar 0.85 olarak alınması uygun bulunmuştur.

Yukarıda önerilen genelleştirilmiş gerilme bloğu parametrelerini kullanarak, eşdeğer diktörtgen bloğu parametrelerin (α_1 ve β_1) alt sınırı şu şekilde hesaplanır:

$$\alpha_1 = \frac{k_1 k_3}{2k_2} = \frac{0.58 \times 0.85}{2 \times 0.33} = 0.75 \quad (7)$$

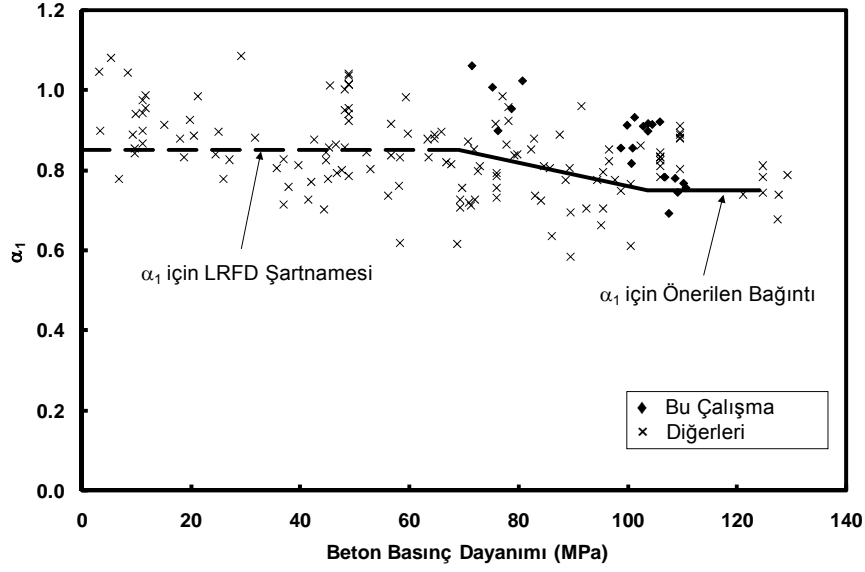
$$\beta_1 = 2k_2 = 2 \times 0.33 \approx 0.65 \quad (8)$$

Yukarıdaki veriler ışığında, 124 MPa'a kadar olan beton basınç dayanımı için eşdeğer diktörtgen bloğu parametreleri, α_1 ve β_1 , olarak şu ilişkiler önerilmiştir:

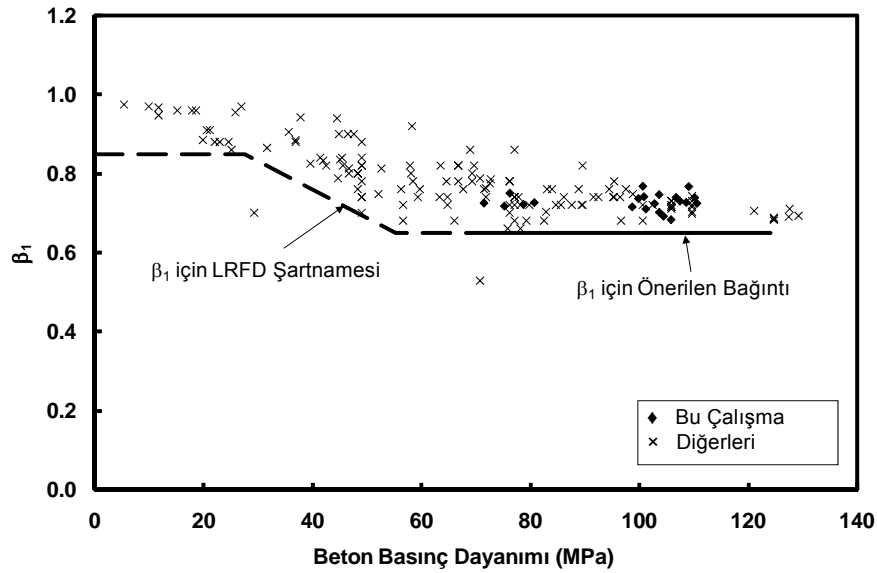
$$\alpha_1 = \begin{cases} 0.85 & \text{for } f'_c \leq 69 \text{ MPa} \\ 0.85 - 0.0029(f'_c - 69) \geq 0.75 & \text{for } f'_c > 69 \text{ MPa} \end{cases} \quad (9)$$

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 & \text{for } f'_c \leq 28 \text{ MPa} \\ 0.85 - 0.007252(f'_c - 28) \geq 0.65 & \text{for } f'_c > 28 \text{ MPa} \end{cases} \quad (10)$$

Önerilen ilişkinin derlenmiş deney verileri ile karşılaştırılmaları Şekil 7 ve 8'de gösterilmiştir. Bu gerilme bloğu parametreleri deney verileri, Hognestad ve diğerleri [1], Nedderman [7], Kaar ve diğerleri [8, 9], Swartz ve diğerleri [10], Pastor [11], Schade [12], Ibrahim [13], Tan ve Nguyen [14] ve Sargin [15] araştırmalarından derlenmiş ve detaylı olarak Mertol [6]'da verilmiştir.

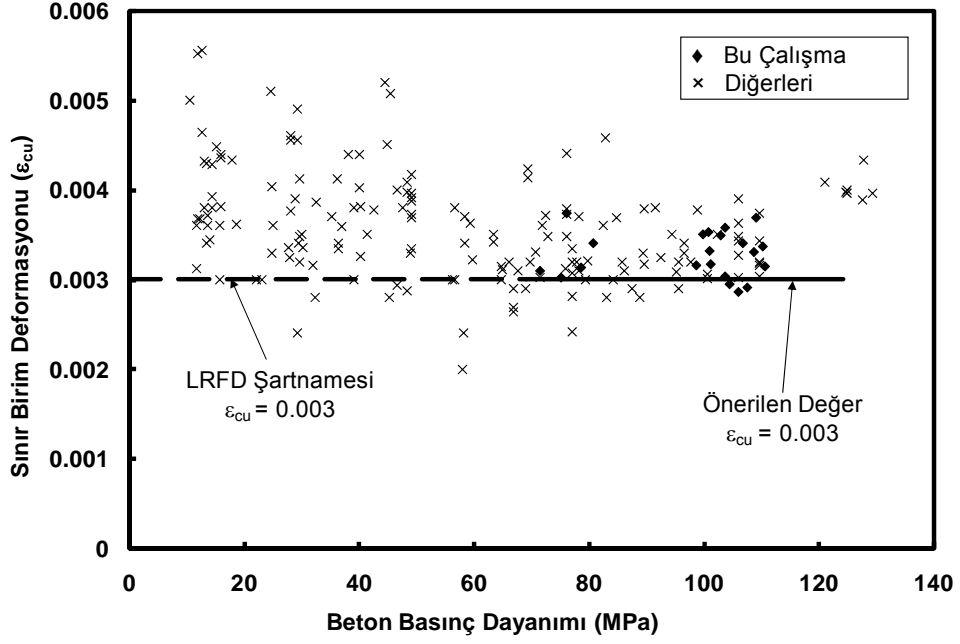


Şekil 7 . Eşdeğer gerilme bloğu parametresi, α_1 , için önerilen bağıntı



Şekil 8 . Eşdeğer gerilme bloğu parametresi, β_1 , için önerilen bağıntı

Ezilme Birim Kısalması: Deney elemanlarının kırılma anında, elemanların basınç yüzeyinde ölçülen ezilme birim kısalma değerleri Çizelge 2’de gösterilmiştir. Mertol’da [6] verilen analizler sonucunda, tasarımda kullanılan 0.003 beton ezilme birim kısalma değerinin, 124 MPa beton basınç dayanımına kadar geçerli olduğu saptanmıştır. Şekil 9’da, önerilen beton ezilme birim kısalma değerinin bu çalışmadaki ve literatürdeki deney sonuçları ile karşılaştırması gösterilmiştir. Literatürdeki deney sonuçları, Nedderman [7], Kaar ve diğerleri [8, 9], Swartz ve diğerleri [10], Pastor [11], Schade [12], Ibrahim [13], Tan ve Nguyen [14], Sargin [15] ve Hognestad [16]’dan elde edilmiştir.



Şekil 9 . Ezilme birim kısalması, ϵ_{cu} , için önerilen değer

3. BULGULAR

Eğilme momenti altındaki YDB elemanların basınç bölgelerindeki gerilme dağılımını elde etmek için toplam 21 adet donatısız deney elemanı, eksenel yükü ve momenti ayarlayarak, eksantrik basınca maruz bırakılmıştır. Deney elemanların boyutları $229 \times 229 \times 1016$ mm'dir ve beton basınç dayanımları da 71.7 ile 110.3 MPa arasında değişmektedir. Elde edilen veriler, eğilme altındaki beton elemanların basınç bölgelerindeki gerilme dağılımının ana özelliklerinin irdelenmesinde kullanılmıştır. Sonuçlar, literatürdeki verilerle birleştirilmiş ve LRFD Şartnamesi'nin [2] geçerliliğini 124 MPa'ya çıkarabilmek için gerekli öneriler yapılmasında kullanılmıştır. Aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Birim şekil değiştirme dağılımının doğrusal olma varsayımı basınç dayanımı 124 MPa'ya kadar betonlar için de geçerlidir.
2. LRFD Şartnamesi'nde [2] 69 MPa beton basınç dayanımına kadar kullanılan beton ezilme birim kısalması değeri 0.003'ün, beton basınç dayanımı 124 MPa'ya kadar olan betonlar için geçerli olduğu saptanmıştır.
3. Bu araştırmada elde edilen ve literatürdeki deney sonuçları, LRFD Şartnamesi'ndeki [2] gerilme bloğu parametresi α_1 'in 69 MPa basınç dayanımı üzerindeki beton elemanlar için azaltılması gerektiğini göstermiştir. Bu nedenle, gerilme bloğu parametresi α_1 için basınç dayanımı 124 MPa'ya kadar olan betonlar için yeni bir bağıntı önerilmiştir.
4. LRFD Şartnamesi'nde [2] kullanılan gerilme bloğu parametresi β_1 'in, 124 MPa beton basınç dayanımına kadar olan betonlar için geçerli olduğu saptanmıştır.

4. KAYNAKÇA

[1] E. Hognestad, N.W. Hanson, and D. McHenry, Dec. 1955, "Concrete Stress Distribution in Ultimate Strength Design," ACI Journal, Vol. 52, No. 4, pp. 455-479.

- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials, 2004, "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications," Third Edition including 2005 and 2006 Interim Revisions, Washington DC.
- [3] ACI Committee 318, 2005, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (318R-05)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 430 p.
- [4] A.T. Logan, Jun. 2005, "Short-Term Material Properties of High-Strength Concrete", M.S. Thesis, Department of Civil, Construction and Environmental Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC, 116 p.
- [5] ASTM C 39, "Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens".
- [6] H.C. Mertol, December 2006, "Behavior of High-Strength Concrete Members Subjected to Combined Flexure and Axial Compression Loadings," Ph.D. Dissertation, Department of Civil, Construction and Environmental Engineering, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, 320 p.
- [7] H. Nedderman, Dec. 1973, "Flexural Stress Distribution in Very-High Strength concrete", M.S. Thesis, Civil Engineering Department, University of Texas at Arlington, 182 p.
- [8] P.H. Kaar, N.W. Hanson, and H.T. Capell, Aug. 1978, "Stress-Strain Characteristics of High Strength Concrete", ACI Special Publication-55, Douglas McHenry International Symposium on Concrete and Concrete Structures, Michigan, pp. 161-185.
- [9] P.H. Kaar, A.E. Fiorato, J.E. Carpenter, and W.G. Corely, 1978, "Limiting Strains of Concrete Confined by Rectangular Hoops," Research and Development Bulletin RD053.01D, Portland Cement Association, 12p.
- [10] S.E. Swartz, A. Nikaeen, H.D. Narayan Babu, N. Periyakaruppan, and T.M.E. Refai, Sept. 1985, "Structural Bending Properties of Higher Strength Concrete", ACI Special Publication-87, High-Strength Concrete, pp. 145-178.
- [11] J.A. Pastor, Jan. 1986, "High-Strength Concrete Beams", Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Cornell University, Ithaca, New York, 277 p.
- [12] J.E. Schade, Sept. 1992, "Flexural Concrete Stress in High Strength Concrete Columns", M.S. Thesis, Civil Engineering Department, the University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, 156 p.
- [13] H.H.H. Ibrahim, 1994, "Flexural Behavior of High-Strength Concrete Columns," Ph.D. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Alberta, Edmonton, Alberta, Canada, 221 p.
- [14] T.H. Tan and N.B. Nguyen, Mar.-Apr. 2005, "Flexural Behavior of Confined High Strength Concrete Columns", ACI Structural Journal, Vol. 102, No. 2, pp. 198-205.
- [15] M. Sargin, S.K. Ghosh, and V.K. Handa, Jun.-Sep. 1971, "Effects of Lateral Reinforcement upon the Strength and Deformation Properties of Concrete," Magazine of Concrete Research, Vol. 23, No. 75-76, pp. 99-110.
- [16] E. Hognestad, Nov. 1951, "A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members," University of Illinois Bulletin Series No 399, Vol. 49, No. 22, 128 p.