



ISSN:1306-3111  
e-Journal of New World Sciences Academy  
2009, Volume: 4, Number: 3, Article Number: 1A0029

### **ENGINEERING SCIENCES**

Received: November 2008  
Accepted: June 2009  
Series : 1A  
ISSN : 1308-7231  
© 2009 [www.newwsa.com](http://www.newwsa.com)

**Barış Özkul**  
**Şerif Saylan**  
Balıkesir University  
ozkul@balikesir.edu.tr  
Balıkesir-Türkiye

### **EKSENEL YÜKLÜ KOLONLARDA DONATI ORANINA BAĞLI OLARAK ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN BELİRLENMESİ**

#### **ÖZET**

Günümüzde yürürlükte olan standartlarda Beton ve Çelik malzemeler için ayrı ayrı elastisite modülü değerleri verilmektedir. Betonarme kesitler için belirlenmiş bir elastisite modülü değeri bulunmamaktadır. Yer değiştirme hesaplarında yalnızca betonun basınç dayanımına bağlı olarak hesaplanmış elastisite modülü kullanılmaktadır. Ancak kesit içerisinde çelik donatı da bulunmaktadır. Bu çalışmada betonarme bir kesitte bulunan donatı oranına bağlı olarak, kesitin elastisite modülü belirlenmeye çalışılmıştır. BAÜ Müh-Mim Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı'nda 100 ton eksenel basınç kapasiteli bir deney düzeneği geliştirilmiş, hazırlanan kolon numuneler eksenel olarak yüklenerek kırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarında elastisite modülünün kesit içerisindeki donatı oranına bağlı olarak arttığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme Kolonlar, Elastisite Modülü, Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği, Donatı Oranı, Yer değiştirme

### **DETERMINATION OF ELASTICITY MODULUS OF AXIALLY LOADED COLUMNS DEPENDING ON REINFORCEMENT RATIO**

#### **ABSTRACT**

According to the current standards, Elasticity Modulus (Young's modulus) of concrete and steel materials is given individually. There is no established elasticity modulus exists for reinforced concrete sections. For the displacement calculations, the elasticity modulus is used which is calculated by considering only the compressive strength of concrete. However, the section contains steel reinforcements too. In this study, the elasticity modulus of a reinforced concrete section is tried to be determined depending on the reinforcement ratio. A 100 tons capacity axial compression test setup is constructed at the BAU, Engineering and Architecture Faculty, Civil Engineering Department, Structural Laboratory and the prepared column specimens are fractured by axial loading. It has been seen from experimental results that the elasticity modulus increased by increasing reinforcement ratio of section.

**Keywords:** Reinforced Concrete Columns, Elasticity Modulus, Stress-Strain Graph, Reinforcement Ratio, Displacement



## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Betonarme, 19. yüzyıl'ın ikinci yarısından itibaren, tüm dünyada en çok tercih edilen yapı malzemesi olmuştur. Bunun nedeni, betonarmenin yüksek dayanımı, güvenilirliği, diğer malzemelere göre maliyetinin düşük olması ve yapım kolaylığı olarak sıralanabilir[1]. Beton, şekil verilebilme kolaylığı, fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı, ekonomik oluşu, üretimindeki kolaylık gibi etkenlerden dolayı, kullanım alanı genişerek yaygınlaşan çok önemli bir yapı malzemesidir. Bu gelişmeler sonucu betonun, yeni teknikler ve yeni malzemeler yardımıyla, kullanıldığı ortamda karşılaştığı fiziksel ve kimyasal etkilere karşı güçlendirilerek, ondan beklenen klasik niteliklerden çok daha verimli hizmet verebilecek bir yapı malzemesi olacağı anlaşılmıştır[2].

Beton, inşaat mühendisliği alanında yüzyılımızın en önemli yapı malzemesidir ve önceden şekil verilebilen yapay bir taş olarak tanımlanabilir. Beton, agrega adı verilen kum, çakıl, mıcır gibi taneli malzemelerin, onları yapıştıran çimento ve su ile karıştırılması sonucu meydana gelen bir yapı malzemesidir[3]. Karışımda çimento, kum ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar. Kum ise iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompasitesini arttırır. Çakıl veya kırma taş taneleri betonun bir nevi iskeletini oluşturur. Böylelikle bunlar malzemenin maruz kaldığı kuvvetlere karşı koyarlar [4]. Beton yük taşıyan, diğer bir deyişle esas taşıyıcı bir malzemedir [3].

Çimentonun bulunması ile yapı dünyası, çeşitli formlara sokulabilen beton malzemesini kazanmıştır. Betonun çelik çubuklarla takviye edilerek kullanılması onu vazgeçilemeyecek bir yapı malzemesi yapmıştır [5].

Çok uzun yıllardan beri betonların elastisite modülleri araştırma konusu olmuştur. Elastisite modülleri birçok metotla belirlenmeye çalışılmıştır. Kullanılan bu farklı metotlar betonların elastisite modüllerinin farklı değerler almasına yol açmışlardır.

Yapılan bu çalışmalar sonrasında betonların elastisite modülleri ile ilgili birçok bağıntı öne sürülmüştür. Bulunan bu bağıntılar genel olarak betonun basınç dayanımını kullanarak betonun elastisite modülünün bulunmasını sağlarlar. Fakat bu bağıntılarla bulunan elastisite modülleri betonun gerçek elastisite modüllerine ancak yakın değerler verebilirler [6].

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Günümüzde yürürlükte olan standartlarda Beton ve Çelik malzemeler için ayrı ayrı elastisite modülü değerleri verilmekte ancak Betonarme bir kesit için herhangi bir değer verilememektedir. Yer değiştirme hesaplarında yalnızca betonun basınç dayanımına bağlı olarak hesaplanmış elastisite modülü kullanılmaktadır oysa kesit içerisinde çelik donatı da bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı betonarme bir kesitte mevcut donatı oranına bağlı olarak, kesitin elastisite modülünde oluşan değişimi ortaya koymaktır. Bu amaç kapsamında BAÜ Müh-Mim Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı'nda 100 ton eksenel basınç kapasiteli bir deney düzeneği geliştirilmiş, hazırlanan kolon numuneler eksenel olarak yüklenerek kesit içerisindeki donatı oranına bağlı olarak kesite ait elastisite modülü belirlenmeye çalışılmıştır. Böylelikle yer değiştirme hesaplarında kullanılan, yalnızca betona ait elastisite modülünün gerçekliği ortaya konulmaya çalışılmıştır.



### 3. EKSENEL YÜKLÜ KOLONLAR (AXIALLY LOADED COLUMNS)

Kolonlar bütün yapılarda temel ile diğer yapı elemanları arasındaki bağı sağlayan ana yapı elemanlarıdır. Taşıyıcı sistemine bağlı olarak ahşap, çelik ve betonarme gibi çeşitli şekillerde üretilirler.

Genellikle dairesel veya dikdörtgen kesitli oldukları halde yapının statik ve mimarisinden kaynaklanan sebeplerle uygulamada farklı geometrik şekil ve kesitlere de rastlanılabilir. Döşemelerden gelen yükleri çoğu durumda kirişler vasıtasıyla almakla birlikte bazı durumlarda (mantar döşemelerde olduğu gibi) doğrudan da yük alabilirler [7].

Kolonlar, yapı sistemindeki önemli taşıyıcı elemanlardır. Bu nedenle, betonarme kolonların davranışının ve taşıma gücünün bilinmesi oldukça önemlidir. Betonarme elemanların davranışlarının gerçekçi olarak belirlenebilmesi için, betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin iyi bilinmesi önem taşır. Betonun gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin, çok sayıda değişkenden etkilendiği, bu nedenle her durum için geçerli tek bir eğrinin tanımlanmasının olanaksız olduğu bilinmektedir. Betonun gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi, enine donatı ile sarılması durumunda, sarılmamış duruma göre önemli farklılıklar gösterir. Sargı donatısının davranış üzerinde iki önemli etkisi vardır; bunlar basınç dayanımını ve sünekliği artırmasıdır. Sargılı betonun basınç gerilmeleri altındaki davranışının belirlenmesi amacı ile çok sayıda deneysel ve teorik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalara rağmen, mevcut deneysel veriler ile önerilmiş olan teorik modellerin verdiği sonuçlar arasında önemli farklılıklar görülebilmektedir. Bunun en önemli nedeni, sargılı betonun davranışını çok sayıda değişkenin etkilemesidir.

Sargılı betonun davranışı, enine donatı hacimsel oranı, aralık, çap ve dayanımı, boyuna donatının kesit içinde dağılımı, beton basınç dayanımı, yükleme hızı ve biçimi gibi pek çok değişkenden etkilendiği için, bu değişkenlerin geniş aralıklarda farklı değerler almaları durumunda geçerliliğini koruyacak davranış modelleri belirlemek oldukça zordur. Önerilen modellerin ortak amacı, sarılmış betonun davranışını farklı durumlar için gerçeğe yakın şekilde yansıtmak ve kullanılan bağıntıların fazla karmaşık olmamasını sağlamaktır [8].

### 4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

"Betonda Basınç Dayanımı ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler" isimli yüksek lisans tezinde, betonlardaki elastisite modüllerinin dağılımını daha gerçekçi olarak tespit edebilmek için düşük basınç dayanımından yüksek basınç dayanımına kadar çok farklı basınç dayanımlarına sahip betonlar üretilmiştir. Bu çalışmada su/çimento oranları, çimento dozajları ve katkıları birbirinden farklı toplam 20 ayrı seri üretilmiştir. Her beton serisi beş silindir, beş de küp numune olmak üzere toplam on numuneden oluşmaktadır.

Üretilen betonlar üzerinde elastisite modülü, basınç dayanımı ve ultra ses hızı ile ilgili deneyler yapılmıştır. Bulunan sonuçlarda betonlara ait elastisite modülleri ile basınç dayanımları, su/çimento oranları ve ultra ses hızları arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Ayrıca basınç dayanımı ile su/çimento oranları, birim ağırlık, ultra ses hızı ve agrega hacimleri arasındaki ilişkiler de incelenmiştir.

Çalışmanın sonucunda basınç dayanımı ile birim ağırlık, su/çimento oranı ve ultra ses hızı arasında birbirleriyle ilgili bağıntılar elde edilmiştir. Yine aynı şekilde elastisite modülüyle basınç dayanımı, ultra ses hızı ve su/çimento oranı arasında birbirleriyle ilgili bağıntılar elde edilmiştir [6].

"Yükleme Hızının Beton Basınç Dayanımına ve Elastisite Modülüne Etkisi" isimli makale de, iki farklı dayanım sınıfındaki beton



karışımları ile hazırlanan standart silindir örneklerin iki farklı yaştaki üç farklı gerilme artış hızıyla (standartların önerdiği sınırların içinde, altında ve üstünde) yüklenmesi sonucu elde edilen basınç dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca, yüksek dayanımlı serinin gerilme-deformasyon ilişkileri ile elastisite modülleri incelenmiştir [9].

"Investigations on the Modulus of Elasticity of young RCC" isimli makalede, yaşları 6 saatten 365 güne kadar olan sıkıştırılmış silindir beton numunelerin gerilme-şekil değiştirme davranışları ve elastisite modülleri araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarında elastisite modülünün belirlenmesi için 6 saat önce dökülen numunenin uygun olmadığı, 3 gün ve 365 gün arasında dökülen numunelerin gerilme-şekil değiştirme bilgilerinin elde edilebilir olduğu belirlenmiştir [10].

"Effects of end conditions on compressive strength and static elastic modulus of very high strength concrete" isimli makalede, çok yüksek dayanımlı 192 beton silindir numune 150X300 mm boyutlarında üretilerek deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları ile düşünülen basınç dayanımı ve statik elastisite modülü değerleri karşılaştırılmıştır [11].

"The Evaluation of Elastic Modulus for Steel Fiber Reinforced Concrete" isimli makalede, fiber donatıların betona eklenmesinden sonra betonarme elemanın duktilite ve yorulma dayanımını arttırdığı görülmüştür. Eksenel basınca maruz bırakılan 15X30 cm boyutlarındaki silindirik numunelerin gerilme-şekil değiştirme davranışları ve elastisite modülleri değerlendirilmiştir [12].

"Experiments For Teaching Reinforced Concrete Behaviour" isimli yüksek lisans tezinde, eksenel yük altındaki kolonların davranışı ele alınmıştır. Dört adet değişik enine donatı oranına sahip kolon eksenel yük altında test edilmiş ve yük-deplasman ilişkisi elde edilmiştir. Eksenel yük altındaki kolonların analitik yük-deplasman ilişkisi bilgisayar programı ile elde edilerek karşılaştırılmıştır [13].

"Betonarme Narin Kolonlarda Boyut Etkisi" isimli yüksek lisans tezinde betonarme narin kolonların kırılma yüklerinde boyut etkisi deneysel olarak bulunmuştur. Çalışmanın sonucunda betonarme kolonlar için kullanılabilir boyut etkisini içeren formül önerilmeye çalışılmıştır [14].

"Effect of Nonlinear Response of Concrete on its Elastic Modulus and Strength" isimli çalışmada lineer olmayan davranış göz önüne alınarak betonun statik ve dinamik yükler altında elastisite modülü ile basınç dayanımı arasındaki ilişki belirlenmiştir. Yöndeş denklemlerden statik ve dinamik elastisite modülünün betonun basınç dayanımına, sıcaklığına ve yükleme oranına bağlı olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda dinamik elastisite modülünün statik elastisite modülünden daha büyük olduğu da doğrulanmıştır. Mevcut deneysel sonuçlar ve BS8110, bölüm 2;185 ve ACI standartlarında verilen genel denklemler ile karşılaştırmalı çalışma önemli sonuçlar ortaya koymaktadır. Betonun statik elastisite modülü ve dinamik testlerden elde edilen dayanımının hesabı için yeni metot elde edilen ilişkiye dayanılarak tanımlanmıştır [15].

"Axial Stress-Strain Relationship for FRP Confined Circular and Rectangular Concrete Columns" isimli çalışmada fret sargılı betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisini tanımlamak için genel bir matematik model geliştirilmiştir. Model, hem dairesel hem de dikdörtgen kolonlara uygulanmış ve gerilme-şekil değiştirme ilişkisine etki eden ana parametreler önerilen matematik model ile hesaplanmıştır [16].

"Behaviour of Patch Repair of Axially Loaded Reinforced Concrete Beams" isimli çalışmada eksenel yüklü onarılmış kolonların yapısal



etkinliğini belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Onarım için yüksek ve düşük elastisite modülüne sahip iki malzeme seçilmiştir. Beton kolonlar aksenal yüklü ve yüksüz durumlarda onarılmıştır. Çalışmanın sonuçlarında beton kolonlar için onarımın kolon yüksüz haldeyken yapılması durumunda yapısal olarak daha etkili olduğu, kolonlar aksenal olarak yüklü haldeyken onarımın yapılması durumunda ise onarım malzemesinin sadece kolona ek yük gelmesi durumunda etkili olduğu belirlenmiştir [17].

"A New Way of Prediction Elastic Modulus of Normal and High Strength Concrete-Fuzzy Logic" isimli çalışmada normal ve yüksek dayanımlı betonun elastisite modülünü belirlemek için bulanık mantık modeli incelenmiştir. Bulanık mantık algoritması betonun basınç dayanımından elastisite modülünü belirlemek için tasarlanmıştır. Çalışmanın sonuçlarında elastisite modülü için birçok parametrenin etkili olduğu ve önerilen bulanık mantık modelinin kullanılmasıyla elastisite modülünün belirlenebileceği belirtilmiştir [18].

## **5. MATERİYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)**

### **5.1. Materyal (Material)**

Bu bölümde, araştırmada kullanılan betonun üretimindeki normal agrega, karma suyu ve çimento ile donatıya ait teknik bilgilere yer verilmiştir.

#### **5.1.1. Agrega Özellikleri (Characteristics of Aggregate)**

Bu çalışmada kullanılan betonun üretiminde Balıkesir civarındaki Çavlan taş ocağından temin edilen normal agrega kullanılmıştır.

Kullanılan agregaların 0-4 mm elekten geçen kısmının gevşek yığın yoğunluğu  $1630 \text{ kg/m}^3$ , su emme oranı %0.57, 5.6-11.2 mm elekten geçen kısmının gevşek yığın yoğunluğu  $1340 \text{ kg/m}^3$  su emme oranı %0.24, 11.2-22.4 mm elekten geçen kısmının gevşek yığın yoğunluğu  $1340 \text{ kg/m}^3$  su emme oranı %0.20'dir.

#### **5.1.2. Beton Karma Suyunun Özellikleri (Characteristics of Concrete Mixing Water)**

Araştırma kullanılan betonun üretiminde karma suyu olarak kullanılan su, Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi su şebekesinden sağlanmıştır.

#### **5.1.3. Çimento'nun Özellikleri (Characteristics of Cement)**

Araştırmada kullanılan betonların üretiminde, Balıkesir Set Çimento tarafından üretilen CEM I PÇ 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentonun TS EN 197 standardına uygun olduğu Balıkesir Çimento Laboratuvarında onaylanmıştır.

Balıkesir Çimento Laboratuvar'ı tarafından yapılan analizin sonuçları Tablo1'de verilmiştir.



Tablo 1. Çimentonun özellikleri  
(Table 1. The properties of cement)

Kimyasal Özellikler	Elde Edilen Değerler	Standart Değerler
Kızdırma Kaybı	3.22	Max. 5.00
Çözünmeyen Kalıntı	0.43	Max. 5.00
Magnezyum Oksit	1.58	
Kükürt Trioksit	2.94	Max. 4.00
Klorür	0.0035	Max. 0.1
Fiziksel Özellikler		
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3472	
2 Günlük Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	29.6	Min. 20
7 Günlük Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	41.9	
28 Günlük Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	53.6	Min. 42.5
Priz Başlangıcı (dakika)	163	Min. 1 saat
Priz Sonu (dakika)	227	Min. 10 saat
Hacim Genleşmesi (mm)	1	Max. 10

#### 5.1.4. Beton Katkısı (Admixture for Concrete)

Çalışmada kullanılan betonun üretiminde Sikament FFN süper akışkanlaştırıcı beton katkıları kullanılmıştır. Katkıya ait teknik bilgiler Tablo2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Süper akışkanlaştırıcı katkıya ait teknik bilgiler  
(Table 2. The properties of super plasticizer admixture for concrete)

Kimyasal Yapı	Melamin sülfonat polimeri esaslı sıvı
Yoğunluk	1.20 - 1.24 kg/l, 20°C'de
pH Değeri	7-11
Donma Noktası	-10°C
Toplam Klorür iyon içeriği	En fazla % 0.1, (TS EN 934-2)
Alkali Miktarı (%Na <sub>2</sub> O Eşdeğeri Olarak)	En fazla % 7

#### 5.2. Metot (Method)

Bu bölümde, çalışmada kullanılan betonun üretimindeki agrega oranları, çimento miktarı, su miktarı seçimi, beton karışım hesaplarına yer verilmiştir.

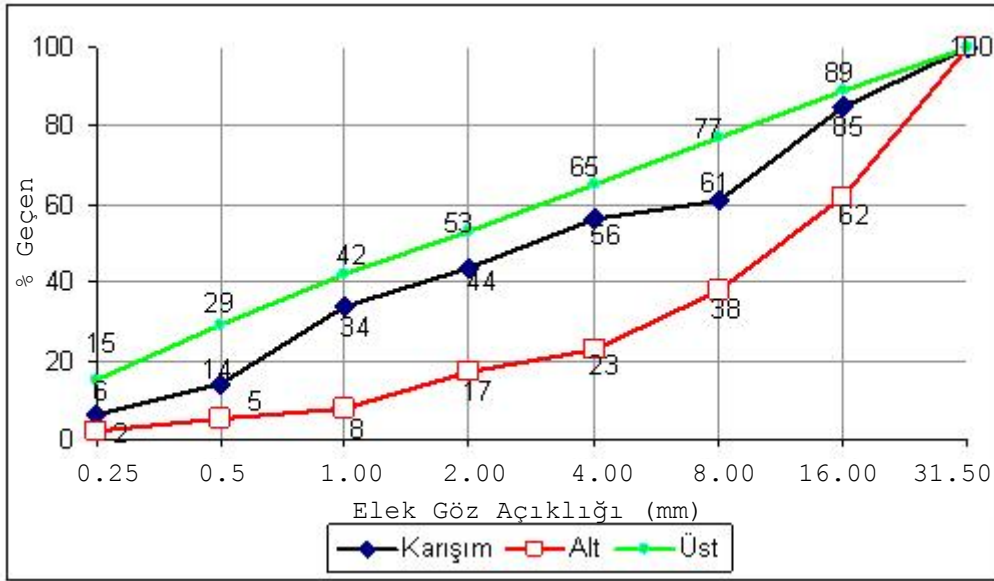
##### 5.2.1. Deneylede Kullanılacak Betonların Hazırlanması (Preparation of Concrete for Experiments)

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Laboratuvarında TS 802'de verilen elverişli granülometrik bölgelerle karşılaştırmalar yapılmıştır.

Agregaların ve karışımın elekten geçen malzeme yüzdeleri Tablo3'de, karışımların granülometrisi ile elverişli granülometrik bölgeler ise Şekill'de verilmiştir. Oluşturulan karışımda, 1 m<sup>3</sup> karışıma giren malzeme miktarları Tablo4'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Karışık agreganın elverişli granülometri değerleri  
(Table 3. Grading of aggregate)

Elek Göz Açıklığı (mm)	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00	8.00	16.00	31.50
Alt Sınır (% Geçen)	2	5	8	17	23	38	62	100
İdeal Sınır (% Geçen)	8	18	28	37	47	62	80	100
Üst Sınır (% Geçen)	15	29	42	53	65	77	89	100
Karışım (% Geçen)	6	14	34	44	56	61	85	100



Şekil 1. Beton karışımında kullanılan agreganın granülometri eğrisi  
(Figure 1. Grading of aggregate for concrete mixture)

Tablo 4. 1m<sup>3</sup> beton için karışıma giren malzeme miktarları  
(Table 4. The amount of material for 1 m<sup>3</sup> concrete mixture)

Karışım	Çimento (kg)	Su (kg)	Mıncır I (kg)	Mıncır II (kg)	Doğal Kum (kg)	Taş Tozu (kg)	Katkı (kg)
K1	300	150	200	680	480	480	2.40

#### 5.2.2. Deneyde Kullanılacak Numunelerin Hazırlanması ve Kür Koşulları (Preparation and Curing Conditions of Specimens for Experiments)

Deneylerde kullanılan numuneler için her birinden 3'er adet numune elde edilecek şekilde 5 adet kalıp hazırlanmıştır. Beton karışımı Balıkesir Üniversitesi Kampüsü, Müh-Mim. Fakültesi'nde Şekil2'de görüldüğü gibi üretilmiş ve vibrasyon uygulanarak kalıplara yerleştirilmiştir.



Şekil 2. Beton karışımının hazırlanması  
(Figure 2. Preparation of concrete mixture)

Böylelikle Şekil3'de görülen 15 adet numune elde edilmiştir. Ayrıca 7 adet 15X30 cm silindir numune ve 6 adet 15X15X15 cm küp numune hazırlanmıştır.



Şekil 3. Deney numuneleri  
(Figure 3. Test specimens)

Hazırlanmış numuneler 1 hafta boyunca kür havuzunda muhafaza edilmiştir.

### 5.3. Küp ve Silindir Numuneler ile Aksenal Basınç Dayanımları'nın Belirlenmesi (Determination of Axial Pressure Resistance with Cubic and Cylindric Specimens)

Hazırlanan Küp numuneler 7. ve 28. günlerde kırılarak aksenal basınç dayanımları belirlenmiştir. Silindir numuneler ise 28. gün kırılmış ve tüm değerler Tablo5'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Basınç dayanımı belirlenen küp numuneler  
(Figure 4. Cube specimens of determined compressive strength)

Tablo 5. Küp ve silindir numunelerin aksenal basınç dayanım değerleri  
(Table 5. Compressive strength values of cube and cylindrical specimens)

Karışım	Numune No	7 Günlük Küp Dayanımları		28 Günlük Küp Dayanımları		28 Günlük Silindir Dayanımları	
		Yük (kN)	Gerilme (MPa)	Yük (kN)	Gerilme (MPa)	Yük (kN)	Gerilme (MPa)
K1	1	6168	27,41	9787	43,50	5193	29,39
	2	5083	22,59	10680	47,46	5493	31,08
	3	6617	29,41	7561	33,60	5091	28,81
	4	5846,2	25,98	8026,5	35,67	5347,6	30,27
	5	5704,3	25,35	8155,3	36,24	5228,9	29,60
	6	6036	26,82	7940	35,28	5424,1	30,71



#### 5.4. Silindir Numuneler ile Elastisite Modülü'nün Belirlenmesi (Determination of Elasticity Module with Cylindric Specimens)

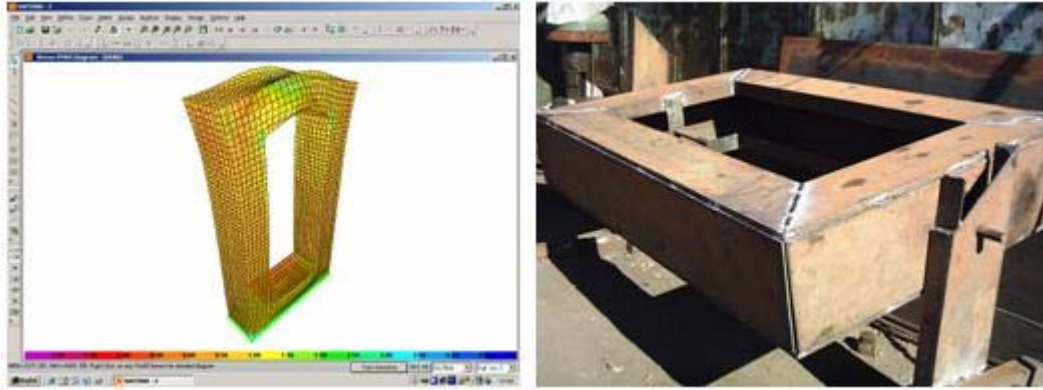
Hazırlanan silindir numunelere kükürt-grafit karışımından oluşan başlık oluşturulmuştur. Daha sonra TS3502'ye uygun olarak 4 adet silindir numune basınç dayanımlarının %40'ına kadar dörder kez yüklenip boşaltılarak Şekil5'de görülen düzenek yardımı ile Elastisite Modülleri belirlenmiştir.



Şekil 5. Elastisite modülünün belirlenmesi  
(Figure 5. Determination of elasticity modulus)

#### 5.5. Deneş Düzeneęinin Hazırlanması (Preparation of Testing Apparatus)

15x15x100cm boyutlarındaki kolon numunelerin eksenel basınç altında kırılabilmesi için Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Laboratuarında 100 ton eksenel basınç kapasiteli bir yükleme çerçevesi hazırlanmıştır. Yükleme çerçevesi için statik analizler Sap2000 programı ile yapılmış ve taşıyıcı sistemi boyutlandırılmıştır.



Şekil 6. Yükleme çerçevesinin oluşturulması  
(Figure 6. Construction of loading frame)

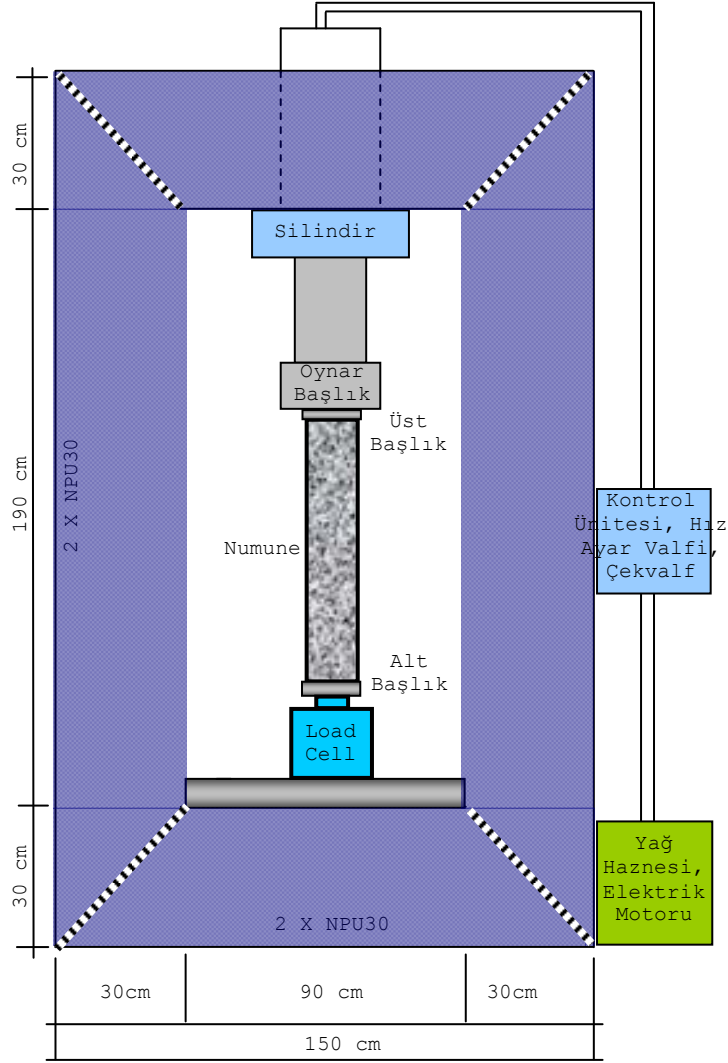
100 ton eksenel basınç kapasitesine sahip yükleme çerçevesinin hidrolik aksamı 24 cm çapında silindir, elemanlı pompa, yağ haznesi, elektrik motoru, yükleme hızını düzenleyen üç yollu hız ayar valfi ve yükün istenilen noktada sabitlenmesini sağlayan pilot uyarılı çek valfden oluşmaktadır. Deneyin uygulanışı sırasında yükün eksenel olarak yüklenmesini sağlamak amacı ile deney düzeneğine oynar başlık monte edilmiştir.

Deneyin uygulanışı sırasında yük ve yer değiştirme verileri için 16 kanallı veri aktarıcı ve TDG CODA veri toplama yazılım paketi kullanılmıştır. Yük değerleri 200 ton kapasiteli Loadcell ve yer değiştirme değerleri ise 250 mm kapasiteli LVDT'ler yardımı ile üç farklı noktadan alınmıştır. Her bir noktadan ve Loadcell'den saniyede sekiz kez okuma alınmıştır. LVDT'lerin kolon numunelere sabitlenmesini sağlayan kelepçelerin ara mesafesi 145mm'dir.



Şekil 7. LVDT'lerin yerleştirilmesi  
(Figure 7. Placement of LVDT's)

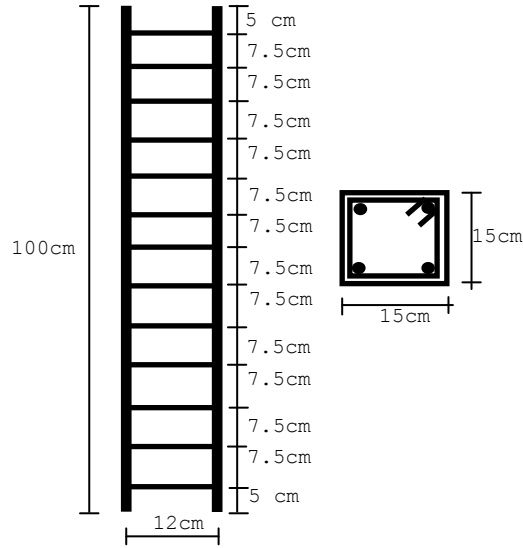
Yüklemenin yapıldığı kolonun alt ve üst yüzeyine yükün düzgün yayılı olarak aktarılabilmesi için çelik başlıklar yerleştirilmiştir. Deney düzeneği Şekil8'de gösterilmiştir.



### 5.6. Kolon Numunelerin Elastisite Modüllerinin Belirlenmesi (Determination of Elasticity Module of Column Specimens)

Hazırlanan numunelerin donatı yerleşim planı Şekil9'da görüldüğü gibidir.

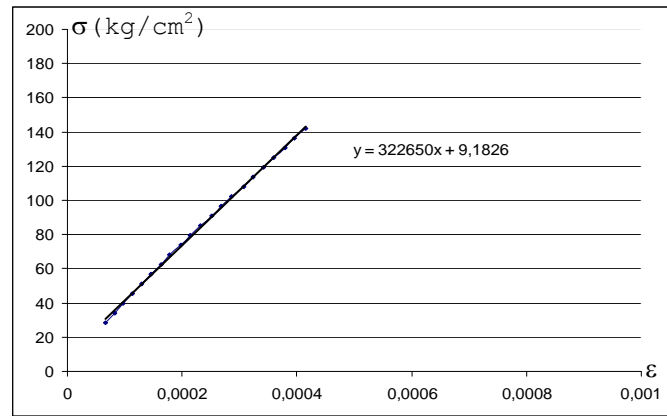
Hazırlanan 15 adet numune eksenel basınç altında yüklenerek kırılmıştır. Her bir numuneye ait yük-deplasman eğrileri çizilmiştir. Daha sonra normalize edilmiş Gerilme-Şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir. Kesitin elastisite modülünü belirleyecek olan eğrilerin lineer kısımlarına ait doğru denklemleri her bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Son olarak numunenin deney sonundaki kırılma biçimine yer verilerek bir sonraki numune için aynı işlemler tekrarlanmıştır.



Şekil 9. Donatı yerleşim planı  
(Figure 9. Settlement plan of reinforcements)

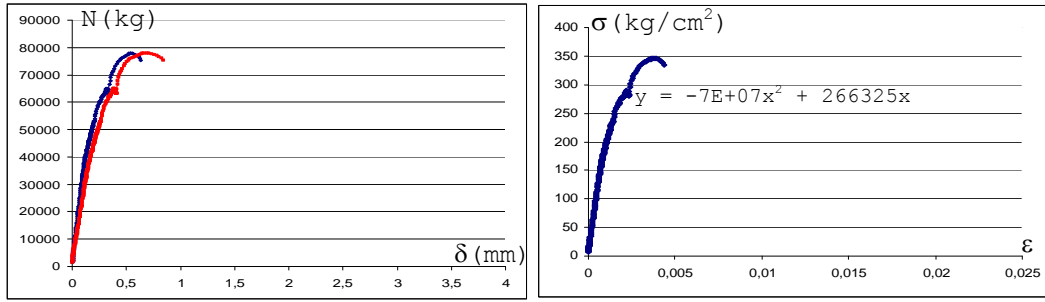
Deneyler sonucunda elde edilen grafikler sunulurken, öncelikle silindirik numuneler ve donatısız olarak dökülen referans kolon numunelerinden elde edilen ortalama gerilme-şekil değiştirme grafiği gösterilmiştir. Daha sonra numune içindeki donatı oranının artışına bağlı olarak numune sonuçları sunulmuştur.

#### 5.7. Kolon Deneylerine ait Grafikler (Graphics of Column Tests)



Şekil 10. K1 karışımının ortalama gerilme-şekil değiştirme grafiği  
(Figure 10. Average stress-strain graph of K1 mixture)

### 5.7.1. K1D111 Kolon Deneyi (K1D111 Column Test)

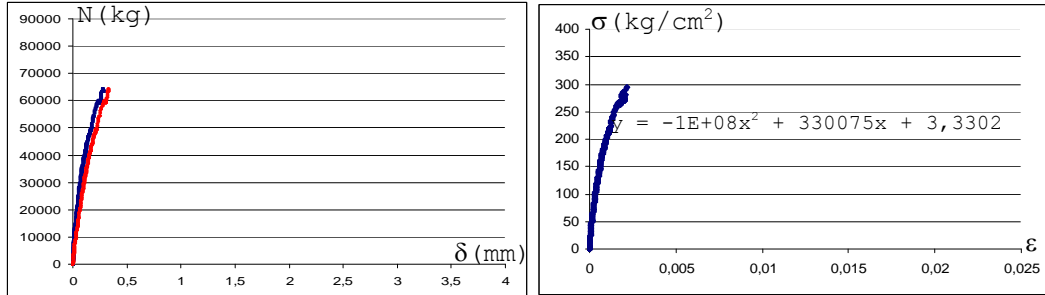


Şekil 11. K1D111 numunesinin yük-deplasman ve gerilme-şekil değiştirme grafiği  
(Figure 11. Load-displacement and stress-strain graph of K1D111 specimen)



Şekil 12. K1D111 numunesinin deney sonundaki görünüşü  
(Figure 12. Appearance of K1D111 specimen end of test)

### 5.7.2. K1D112 Kolon Deneyi (K1D112 Column Test)

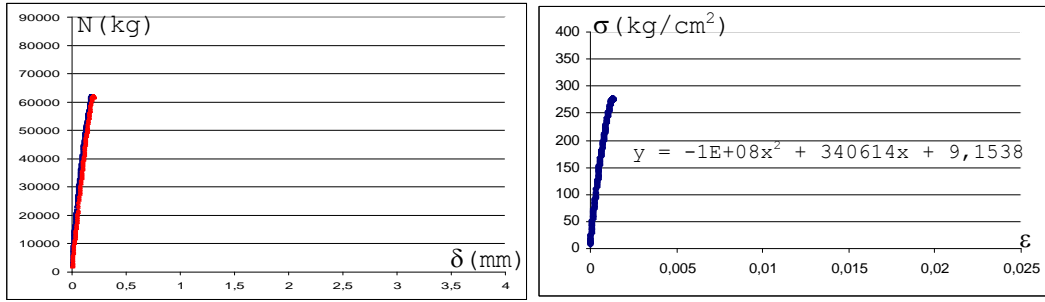


Şekil 13. K1D112 numunesinin yük-deplasman ve gerilme-şekil değiştirme grafiği  
(Figure 13. Load-displacement and stress-strain graph of K1D112 specimen)



Şekil 14. K1D112 numunesinin deney sonundaki görünüşü  
(Figure 14. Appearance of K1D112 specimen end of test)

### 5.7.3. K1D113 Kolon Deneyi (K1D113 Column Test)



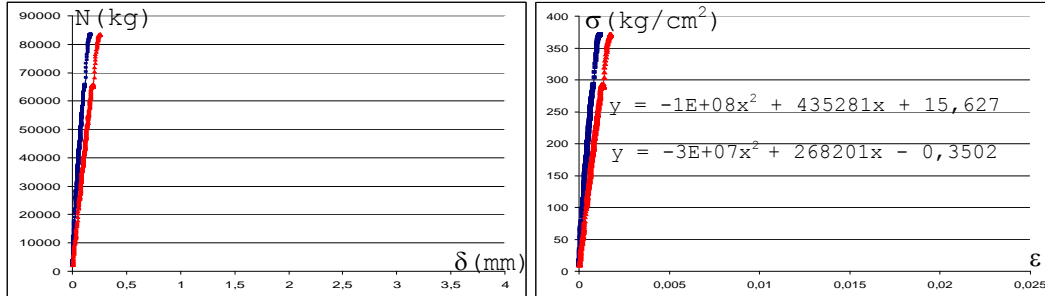
Şekil 15. K1D113 numunesinin yük-deplasman ve gerilme-şekil değiştirme grafiği

(Figure 15. Load-displacement and stress-strain graph of K1D113 specimen)



Şekil 16. K1D113 numunesinin deney sonundaki görünüşü  
(Figure 16. Appearance of K1D113 specimen end of test)

### 5.7.4. K1D211 Kolon Deneyi (K1D211 Column Test)



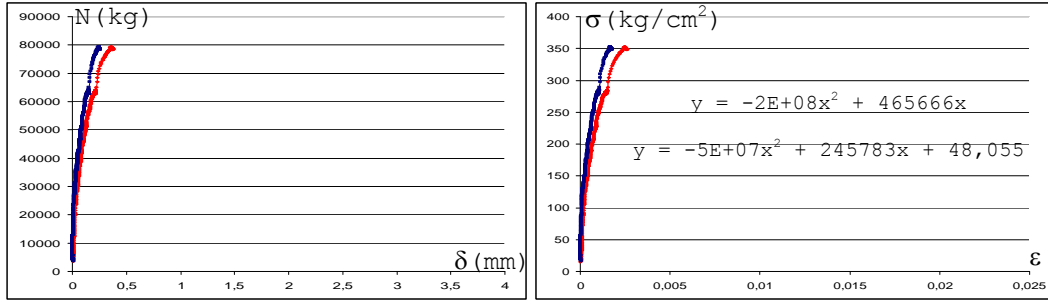
Şekil 17. K1D211 numunesinin yük - deplasman ve gerilme - şekil değiştirme grafiği

(Figure 17. Load-displacement and stress-strain graph of K1D211 specimen)



Şekil 18. K1D211 numunesinin deney sonundaki görünüşü  
(Figure 18. Appearance of K1D211 specimen end of test)

### 5.7.5. K1D212 Kolon Deneyi (K1D212 Column Test)



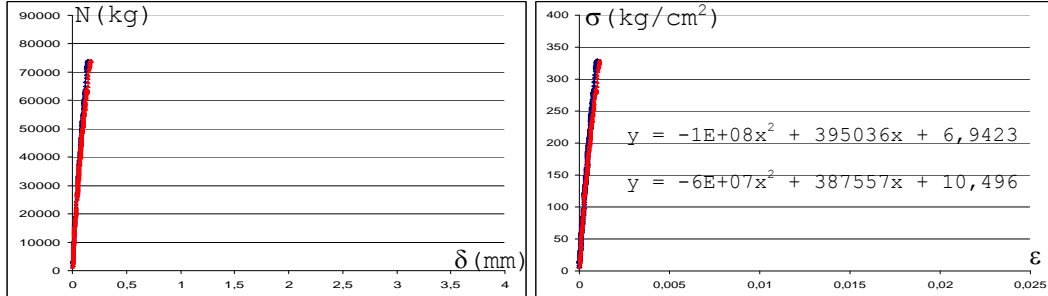
Şekil 19. K1D212 numunesinin yük-deplasman ve gerilme-şekil değiştirme grafiği

(Figure 19. Load-displacement and stress-strain graph of K1D212 specimen)



Şekil 20. K1D212 numunesinin deney sonundaki görünüşü  
(Figure 20. Appearance of K1D212 specimen end of test)

### 5.7.6 K1D213 Kolon Deneyi (K1D213 Column Test)



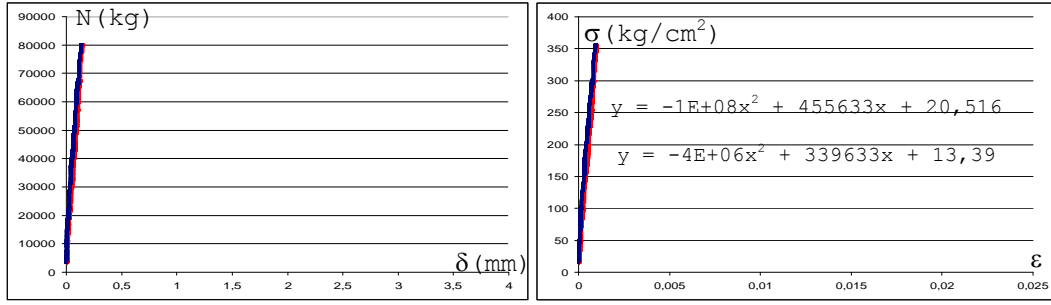
Şekil 21. K1D213 numunesinin yük - deplasman ve gerilme - şekil değiştirme grafiği

(Figure 21. Load-displacement and stress-strain graph of K1D213 specimen)



Şekil 22. K1D213 numunesinin deney sonundaki görünüşü  
(Figure 22. Appearance of K1D213 specimen end of test)

### 5.7.7. K1D311 Kolon Deneyi (K1D311 Column Test)



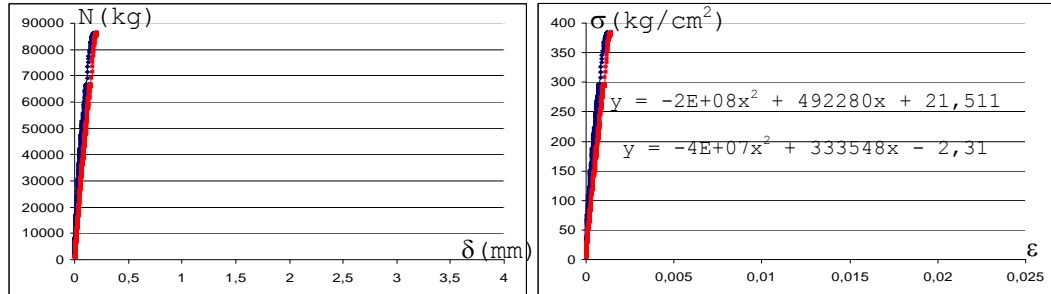
Şekil 23. K1D311 numunesinin yük-deplasman ve gerilme-şekil değiştirme grafiği

(Figure 23. Load-displacement and stress-strain graph of K1D311 specimen)



Şekil 24. K1D311 numunesinin deney sonundaki görünüşü  
(Figure 24. Appearance of K1D311 specimen end of test)

### 5.7.8. K1D312 Kolon Deneyi (K1D312 Column Test)



Şekil 25. K1D312 numunesinin yük-deplasman ve gerilme-şekil değiştirme grafiği

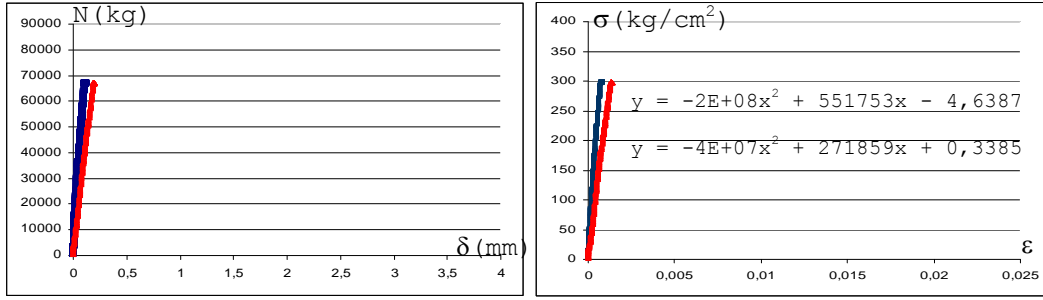
(Figure 25. Load-displacement and stress-strain graph of K1D312 specimen)



Şekil 26. K1D312 numunesinin deney sonundaki görünüşü  
(Figure 26. Appearance of K1D312 specimen end of test)



### 5.7.9. K1D313 Kolon Deneyi (K1D313 Column Test)

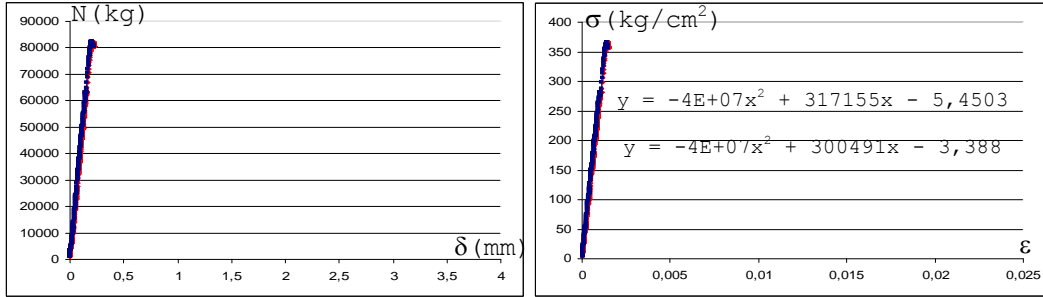


Şekil 27. K1D313 numunesinin yük-deplasman ve gerilme-şekil değiştirme grafiği  
(Figure 27. Load-displacement and stress-strain graph of K1D313 specimen)



Şekil 28. K1D313 numunesinin deney sonundaki görünüşü  
(Figure 28. Appearance of K1D313 specimen end of test)

### 5.7.10. K1D411 Kolon Deneyi (K1D411 Column Test)

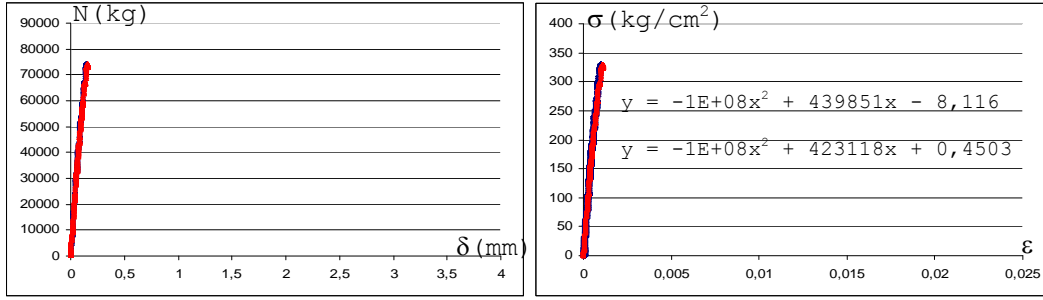


Şekil 29. K1D411 numunesinin yük-deplasman ve gerilme-şekil değiştirme grafiği  
(Figure 29. Load-displacement and stress-strain graph of K1D411 specimen)



Şekil 30. K1D411 numunesinin deney sonundaki görünüşü  
(Figure 30. Appearance of K1D411 specimen end of test)

### 5.7.11. K1D412 Kolon Deneyi (K1D412 Column Test)



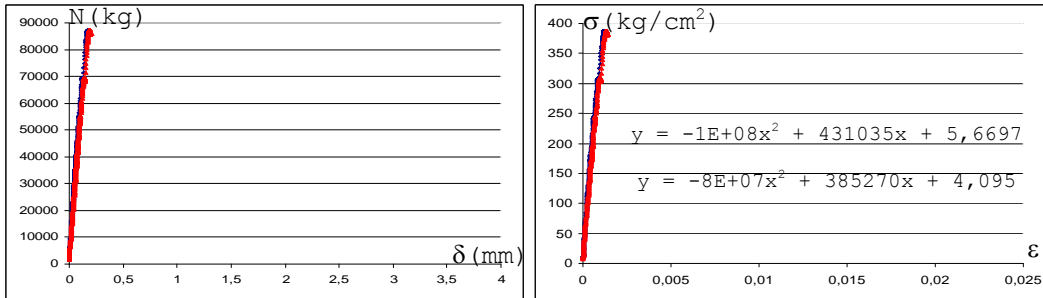
Şekil 31. K1D412 numunesinin yük-deplasman ve gerilme-şekil değiştirme grafiği

(Figure 31. Load-displacement and stress-strain graph of K1D412 specimen)



Şekil 32. K1D412 numunesinin deney sonundaki görünüşü  
(Figure 32. Appearance of K1D412 specimen end of test)

### 5.7.12. K1D413 Kolon Deneyi (K1D413 Column Test)



Şekil 33. K1D413 numunesinin yük - deplasman ve gerilme - şekil değiştirme grafiği

(Figure 33. Load-displacement and stress-strain graph of K1D413 specimen)



Şekil 34. K1D413 numunesinin deney sonundaki görünüşü  
(Figure 34. Appearance of K1D413 specimen end of test)



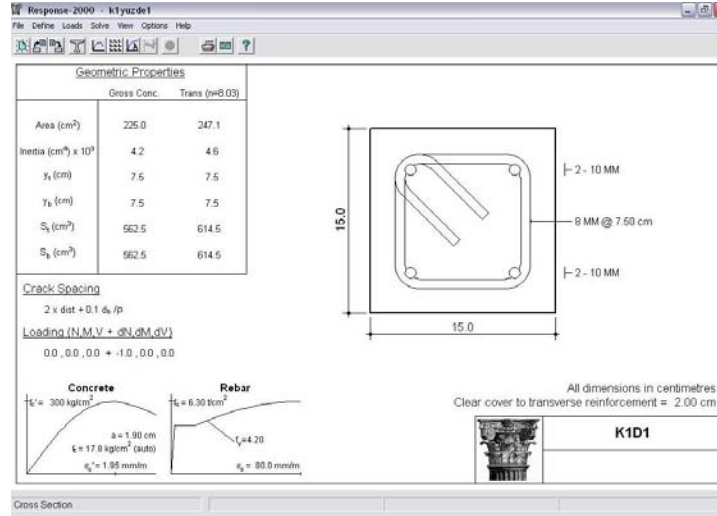
Tablo 6. Numunelerin donatı oranlarına göre elastisite modülleri  
(Table 6.Elasticity module of specimens according to reinforcement ratio)

K11				
Numune	1. (MPa)	2. (MPa)	3. (MPa)	Ortalama (MPa)
%1	<del>26632,5</del>	33007,5	34061,4	33534,4
%2	35174,1	35572,4	39129,6	36625,3
%3	39763,3	41291,4	41180,6	40745,1
%4	<del>30882,3</del>	43148,4	40815,2	41981,8

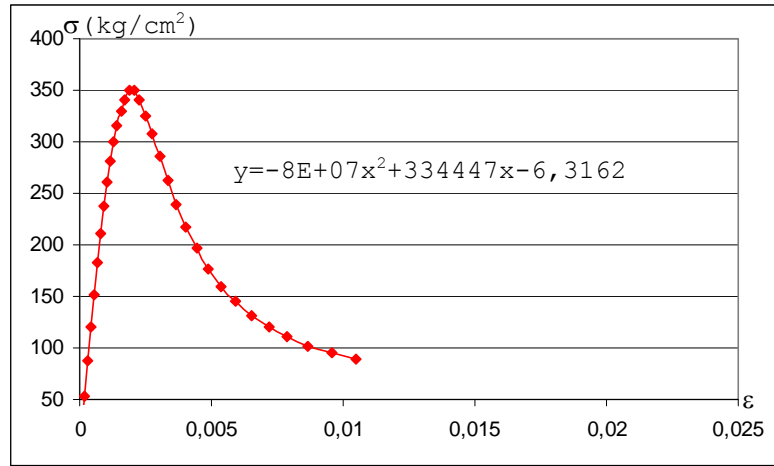
#### 6. BETONARME KESİTİN ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ (ANALYTICAL ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE SECTION)

Deneye tabi tutulan numuneler, RESPONSE-2000 Betonarme Kesit Analizi programı kullanılarak analitik olarak incelenmiştir. Programda Beton modeli olarak Popovics/Thorenfeldt/Collins modeli[19], donatı modeli olarak ise ASTM A615 modeli[20] kullanılmıştır. Analitik değerlendirme sonuçları sunulurken ilk olarak analizi yapılan her bir kesitin özellikleri gösterilmiştir. Daha sonra her bir kesite ait analitik olarak elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri gösterilerek, şekil üzerinde eğrinin lineer kısmına ait denklemi sunulmuştur. Son olarak her bir kesit için analitik olarak hesaplanan gerilme-şekil değiştirme eğrileri ile ilgili kesitlere ait deneysel olarak bulunan gerilme-şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde sunulmuştur. Grafiklerden de görüleceği gibi deneysel ve analitik olarak elde edilen eğriler örtüşmekte, lineer kısımlara ait eğri denklemleri oldukça yakın değerler almaktadır.

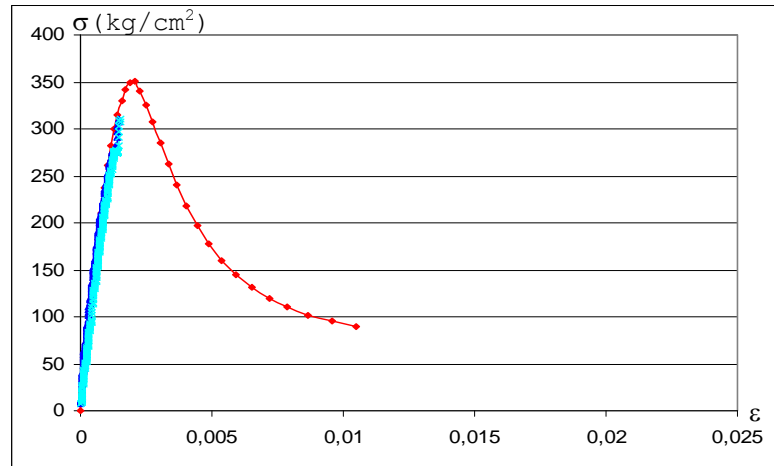
### 6.1. K1D1 Kolonları (K1D1 Columns)



Şekil 35. K1D1 kolonlarının response-2000 programı kullanılarak çözümü  
(Figure 35. Analyzing K1D1 columns with Response-2000 programme)

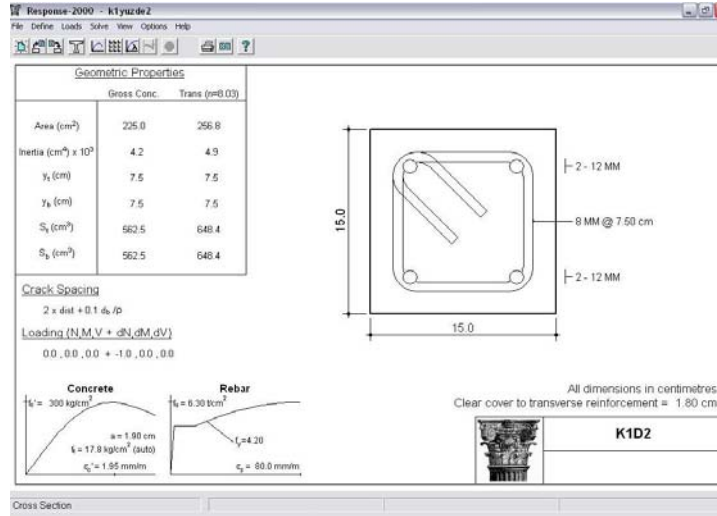


Şekil 36. K1D1 kolonlarının  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisi  
(Figure 36.  $\sigma$ - $\epsilon$  graph of K1D1 columns)

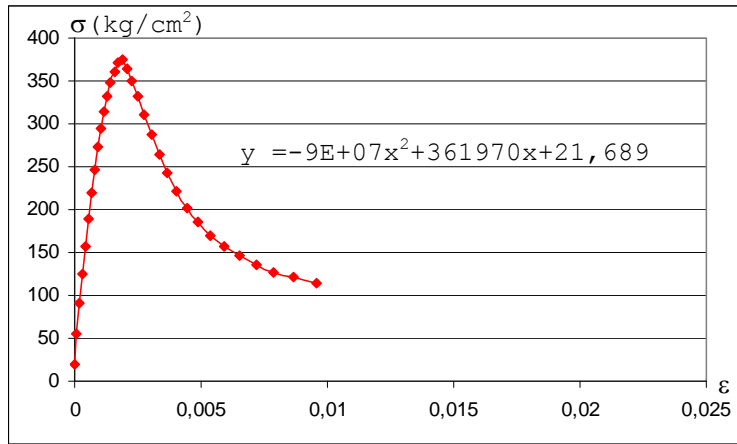


Şekil 37. K1D1 kolonlarının analitik ve deneysel  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrileri  
(Figure 37. Analytical and Experimental  $\sigma$ - $\epsilon$  graphs of K1D1 columns)

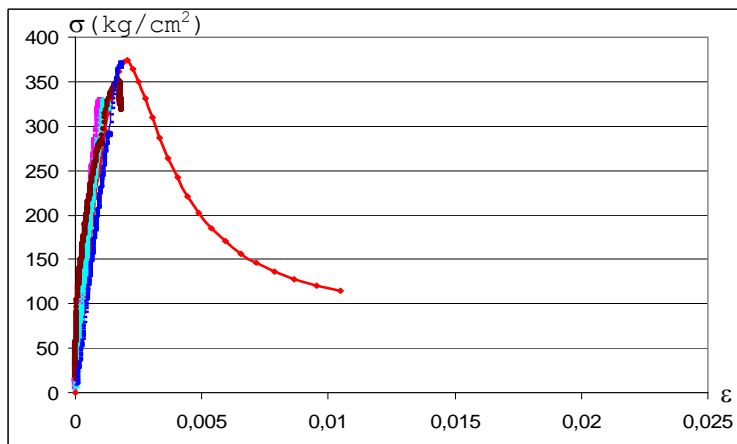
## 6.2. K1D2 Kolonları (K1D2 Columns)



Şekil 38. K1D2 kolonlarının response-2000 programı kullanılarak çözümü  
(Figure 38. Analyzing K1D2 columns with Response-2000 programme)

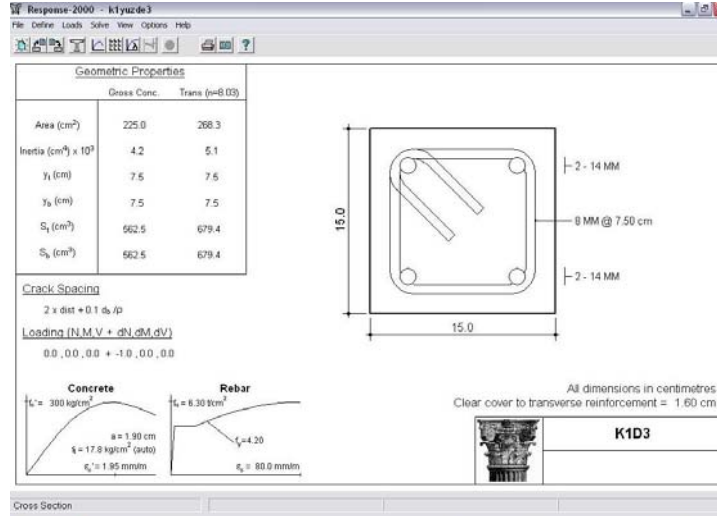


Şekil 39. K1D2 kolonlarının  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisi  
(Figure 39.  $\sigma$ - $\epsilon$  graph of K1D2 columns)

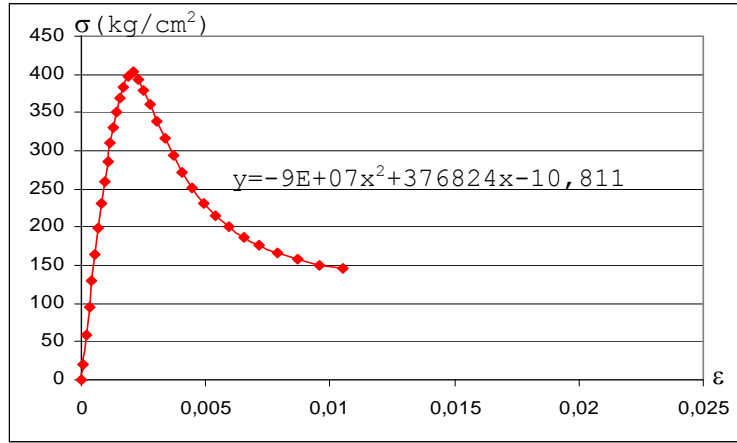


Şekil 40. K1D2 Kolonlarının analitik ve deneysel  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrileri  
(Figure 40. Analytical and Experimental  $\sigma$ - $\epsilon$  graphs of K1D1 columns)

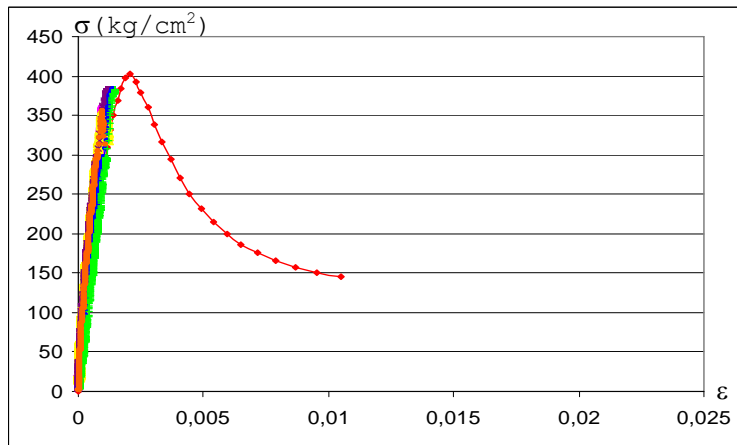
### 6.3. K1D3 Kolonları (K1D3 Columns)



Şekil 41. K1D3 kolonlarının response-2000 programı kullanılarak çözümü  
(Figure 41. Analyzing K1D3 columns with Response-2000 programme)

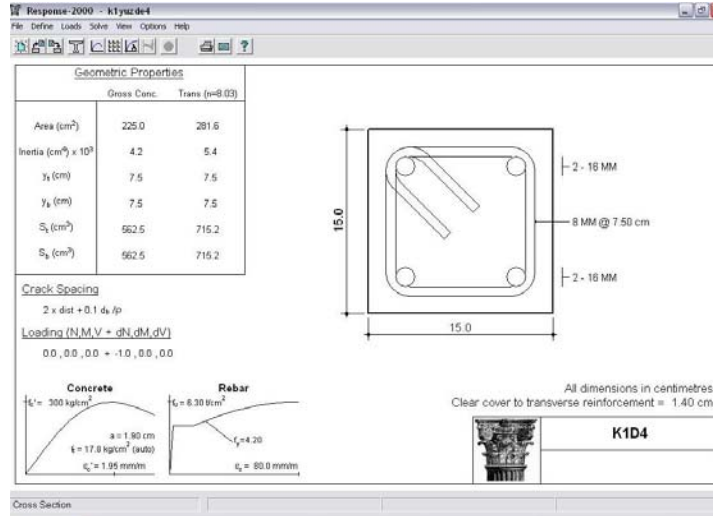


Şekil 42. K1D3 kolonlarının  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisi  
(Figure 42.  $\sigma$ - $\epsilon$  graph of K1D3 columns)

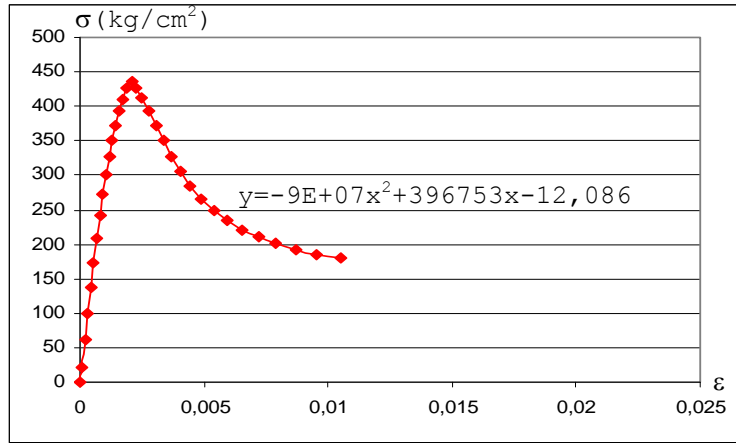


Şekil 43. K1D3 kolonlarının analitik ve deneysel  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrileri  
(Figure 43. Analytical and Experimental  $\sigma$ - $\epsilon$  graphs of K1D3 columns)

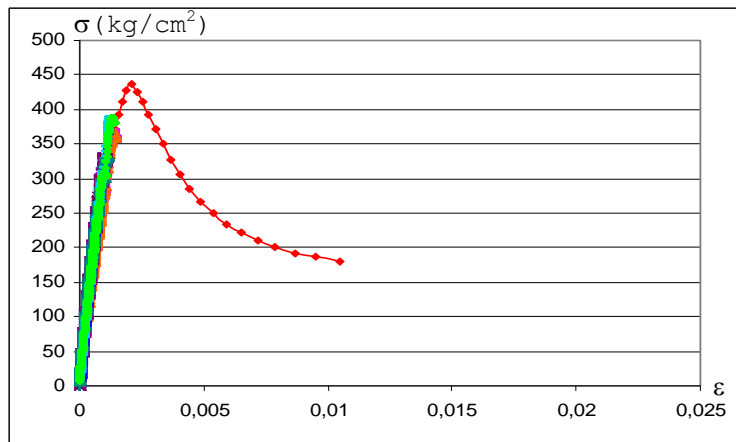
#### 6.4. K1D4 Kolonları (K1D4 Columns)



Şekil 44. K1D4 kolonlarının response-2000 programı kullanılarak çözümü  
(Figure 44. Analyzing K1D1 columns with Response-2000 programme)



Şekil 45. K1D4 kolonlarının  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisi  
(Figure 45.  $\sigma$ - $\epsilon$  graph of K1D4 columns)



Şekil 46. K1D4 kolonlarının analitik ve deneysel  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrileri  
(Figure 46. Analytical and Experimental  $\sigma$ - $\epsilon$  graphs of K1D4 columns)



## 7. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Toplam 15 adet betonarme kolon numunenin eksenel yük altındaki davranışı Deneysel ve Analitik olarak incelenerek  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrileri elde edilmiştir. Deneysel olarak elde edilen  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrileri ile analitik olarak elde edilen eğrilerin dikkate değer biçimde yakın olduğu görülmektedir.

Deneylerdeki 15x15x100cm kesitli betonarme kolonlarda oluşan kırılmalar genellikle çelik başlığın hemen dibinde meydana gelmiştir. Çelik başlık dibinde meydana gelen kırılmaların nedeni basınç gerilmelerinden önce kayma gerilmelerinin aşılması olarak yorumlanmaktadır.

Özellikle K1D111 ve K1D212 numunelerinde kabuk betonunun kırılmasından sonra etriyeler dolayısıyla oluşan eksenel kuvvetteki artış görülmektedir.

Deney sonuçlarında elastisite modülünün kesit içerisindeki donatı oranına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bu artış, ortalama eksenel basınç dayanımı 300 kg/cm<sup>2</sup> olan K1 numunelerinde;

- %1 donatı oranı için %3.93,
- %2 donatı oranı için %13.51,
- %3 donatı oranı için %26.28,
- %4 donatı oranı için %30.11;

olarak belirlenmiştir.

Bu sonuçlara göre, betona ait elastisite modülüne kıyasla donatı oranına bağlı olarak, donatılı betona ait elastisite modülünün önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Bu bağlamda, ortaya konulan sonuçların deplasman hesaplarında etkili olacağı düşünülmektedir.

Eksenel yüklü numuneler üzerinde yapılan bu çalışmanın devamında, numunelere eğilme momenti etkisi uygulanarak elde edilen elastisite modülünün deplasman hesaplarında kullanılmasıyla gerçeğe daha yakın değerlerin elde edilebileceği düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmaya katkılarından dolayı Yrd.Doç.Dr. Altuğ YAVAŞ ve Yrd.Doç.Dr. Kaan TÜRKER'e teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Anıl, Ö. ve Belgin M.Ç., (2007). "Monotonik Yükleme Etkisi Altındaki Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Doğrusal Olmayan Analizi", Gazi Üniversitesi. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 22, No 1, 191-197.
2. Arslan, A. ve Ulucan, Z.Ç., (1997). "Çelik Liflerin Erken Yaş Beton Davranışına Etkisi", TMMOB, İnşaat Müh. Odası, Teknik Dergi, Cilt 8, Sayı-4.
3. Akman, M.S., (1990). "Yapı Malzemeleri", İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
4. Postacıoğlu, B., (1987). "Beton Cilt 2", Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
5. Uğurlu, A., (1994). "Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton", TC. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Ankara.
6. Türkel, E.B., (2002). "Betonda Basınç Dayanımı ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. Anabilim Dalı, İstanbul.
7. Cıstık, M., (1998). "Fretli Manto ile Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların (Spiralli ve Dairesel Etriyeli) Eksenel Yük





- Altında Davranışı", Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
8. Kaltakçı, M.Y., Köken A. ve Yılmaz, Ü.S., (2006). "Eksenel yük altındaki çelik lifli ve lifsiz etriyeli betonarme kolonların davranışının deneysel ve analitik olarak incelenmesi" Deü Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi. Cilt: 8 Sayı:1 s. 65-85.
  9. Felekoğlu, B. ve Türkel S., (2004) "Yükleme Hızının Beton Basınç Dayanımına ve Elastisite Modülüne Etkisi", DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:6, Sayı:1.
  10. Conrad, M., Aufleger, M., and Husein Malkawi, A.I., (2004). "Investigations on the Modulus of Elasticity of young RCC", Institute of Hydraulic & Water Resources Engineering, Technische Universitaet Muenchen, Germany.
  11. Gesoğlu, M., Güneyisi, E., and Özturan, T., (2002). "Effects of end conditions on compressive strength and static elastic modulus of very high strength concrete", Cement and Concrete Research, Elsevier Science.
  12. Jo, B.W., Shon, Y.H., and Kim, Y.J., (2001). "The Evaluation of Elastic Modulus for Steel Fiber Reinforced Concrete", Russian Journal of Nondestructive Testing, Vol. 37, No.2.
  13. Köken, A., (1997) "Experiments For Teaching Reinforced Concrete Behaviour", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.
  14. Akyıldız, A., (1997) "Betonarme Narin Kolonlarda Boyut Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
  15. Shkolnik, I.E., (2005). "Effect of Nonlinear Response of Concrete on its Elastic Modulus and Strength", Cement&Concrete Composites, No:27, pp: 747-757.
  16. Harajli, M.H., (2006). "Axial Stress-Strain Relationship for FRP Confined Circular and Rectangular Concrete Columns", Cement&Concrete Composites, No:28, pp: 938-948.
  17. Sharif, A., Rahman, M.K., Al-Gahtani, A.S., and Hameeduddin, M., (2006). "Behaviour of Patch Repair of Axially Loaded Reinforced Concrete Beams" Cement&Concrete Composites, No:28, pp: 734-741.
  18. Demir, F., (2005). "A New Way of Prediction Elastic Modulus of Normal and High Strength Concrete-Fuzzy Logic", Cement and Concrete Research, Article in Press.
  19. Collins, M.P. and Mitchell, D., (1991). "Prestressed Concrete Structures", Prentice-Hall, 760 pp.
  20. ASTM A615/A615M-03A, (2003). Standard Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania.