



## Düşük dayanımlı betonun elastisite modülünün belirlenmesi ve RYTEİE ile yapılan risk değerlendirmesine etkisi

Burak Duran, Onur Tunaboyu, Özgür Avşar\*

Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2 Eylül Kampüsü, Eskişehir, 26555, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Düşük dayanımlı betonun elastisite modülünün belirlenmesi
- Elastisite modülünün RYTEİE ile yapılan risk değerlendirmesine etkisi
- Düşük dayanımlı betonarme sistemlerin yetersiz sismik performansları

### Makale Bilgileri

Geliş: 23.01.2016

Kabul: 09.03.2016

### DOI:

10.17341/gazimmfd.300617

### Anahtar Kelimeler:

Elastisite modülü,  
risk değerlendirmesi,  
betonarme,  
basınç dayanımı

### ÖZET

Türkiye sıklıkla yıkıcı depremlere maruz kalmakta ve bu depremler, can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Mevcut yapıların deprem nedeniyle hasar görebilirliğini etkileyen birçok faktör olmakla beraber, Türkiye’de yapı stokunun önemli bir kısmını oluşturan beton malzemesinin düşük dayanımlı olması en yaygın problemlerden biridir. Kentsel Dönüşüm Yasası kapsamında uygulanan yönetmelikle beraber yapı stokunda bulunan riskli yapıların tespit edilmesi için yapılan çalışmaların sayısında önemli artış olmuştur. Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar (RYTEİE)’de tanımlanan doğrusal elastik hesap yönteminde, beton elastisite modülü önemli bir parametreyi oluşturmaktadır. Mevcut malzeme ve deprem yönetmeliklerinde normal dayanımlı beton için tanımlanan elastisite modülü formüllerinin düşük dayanımlı beton için geçerli olup olmadığı tartışma konusudur. Bu çalışma kapsamında, hazırlanan 36 adet düşük dayanımlı beton numunesinin elastisite modülünü belirlemek için eksenel basınç testleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarında yapılan testler sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri, ulusal ve uluslararası yönetmeliklerle kıyaslanarak yeni bir formül önerilmiştir. Ayrıca, RYTEİE kapsamında ele alınan mevcut bir binanın farklı yönetmeliklerdeki elastisite modülü değerleri kullanılması durumunda yapılan risk tespitinin sonuçlarını nasıl etkilediği araştırılmıştır.

## Determination of elasticity modulus of low strength concrete and its effect on the risk assessment results by DSVB

### H I G H L I G H T S

- Determination of elasticity modulus of low strength concrete
- Effect of modulus of elasticity on the risk assessment results by DSVB
- Poor seismic performance of RC systems with low strength concrete

### Article Info

Received: 23.01.2016

Accepted: 09.03.2016

### DOI:

10.17341/gazimmfd.300617

### Keywords:

Modulus of elasticity,  
risk assessment,  
reinforced concrete,  
compressive strength

### ABSTRACT

Turkey is frequently exposed to destructive earthquakes causing loss of lives and property. There are many factors that affect the seismic vulnerability of existing buildings. Poor concrete quality is a major and widespread problem for existing buildings in Turkey. The number of applications on the risk assessment of deficient buildings has been increased significantly after the enforcement of a recent code namely “Determination of Seismically Vulnerable Buildings (DSVB)” in the context of “Urban Transformation Law”. Modulus of elasticity is an important parameter used for the linear elastic analysis procedure in the corresponding code. Hence, the assumptions in the calculation of elasticity modulus of concrete are vitally important. It is known that the existing code equations for elasticity modulus are based on experimental results, which are obtained for normal strength concrete and it may not be valid for low strength concrete. In this study, an experimental study was conducted to investigate the elasticity modulus of low strength concrete by performing uniaxial compression tests with 36 samples prepared in the laboratory conditions. A new elasticity modulus formulation is proposed for low strength concrete and compared with the ones suggested by the existing codes. Moreover, the risk assessment of an existing RC building is performed by considering various elasticity modulus formulations. Then, the risk assessment results were compared and the differences between them were investigated in detail.

\* Sorumlu Yazar/Corresponding author: ozguravsar@anadolu.edu.tr / Tel: +90 222 321 3550-6618

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

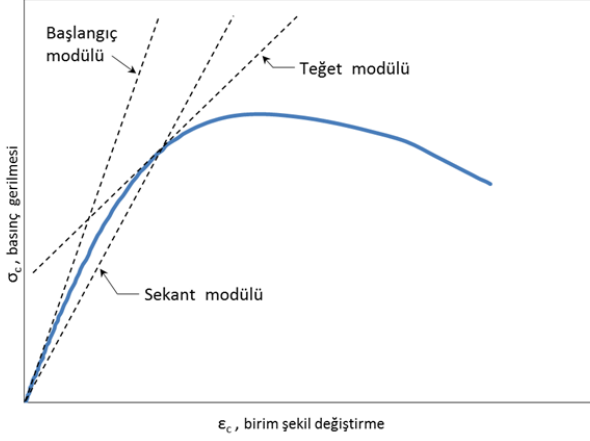
Türkiye'deki sismik aktivitesi yüksek aktif faylarda meydana gelen yıkıcı depremler can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Hasar yapıcı depremler sonrası gerçekleştirilen saha incelemelerinde meydana gelen yapısal hasarın birçok nedeninin olduğu vurgulanmıştır [1]. Meydana gelen hasarın nedenleri, yetersiz malzeme ve işçilik kalitesi, yönetmeliklere uygun olmayan betonarme elemanların tasarımları, yapım teknikleri ve sünek olmayan detaylar olarak sıralanabilir [2]. En önemli hasar yapıcı nedenlerden biri ise yapı stokumuzda mevcut betonarme binaların beton kalitesinin düşük olmasıdır. "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" (DBYBHY, 2007)'de deprem bölgelerinde yeni yapılacak tüm binalarda C20'den daha düşük dayanımlı beton kullanılmaz şartı ile minimum beton basınç dayanımı 20 MPa ile sınırlandırılmıştır [3]. Diğer taraftan Türk Standartlarından TS500 (2000)'e [4] göre ise minimum beton sınıfı C16 (16 MPa) olarak tanımlanmıştır. Fakat mevcut yapı stokumuzda bulunan mevcut betonarme binaların önemli bir kısmının beton kalitesi, yönetmelik ve standartlarımızda tanımlanan sınır değerlere dahi yaklaşmamaktadır [5]. Ülkemizde riskli yapı olarak değerlendirilebilecek betonarme binaların beton dayanımları 5-15 MPa arasında değişmektedir [6]. Hasar meydana getiren depremler sonrası yapılan saha çalışmaları, gözlemler ve testler bu bilgiyi teyit etmektedir [7]. Özellikle düşük beton dayanımı nedeniyle ortaya çıkan yapısal yetersizliklerin giderilebilmesi için çeşitli güçlendirme yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir [8]. Mevcut yapı stokumuzdaki düşük dayanımlı betonarme binaların gerek deprem performans değerlendirmesinin yapılabilmesi gerekse de riskli olan yapıların tespit edilebilmesi için gerçekleştirilecek yapısal çözümlerlerde elastisite modülüne ihtiyaç duyulmaktadır. TS500 (2000)'de tanımlanan elastisite modülü formülü, 16 MPa ve daha yüksek dayanıma sahip normal dayanımlı beton malzemesi için geçerlidir. Diğer taraftan gerek DBYBHY (2007) EK 7B'de kullanılması önerilen gerekse de RYTEİE'de [9] önerilen (ACI 318M-08 ile uyumlu [10] elastisite modülü formülünün düşük dayanımlı beton için uygun olup olmadığı tam olarak bilinmemektedir. Dolayısıyla düşük dayanımlı mevcut betonarme binalar için yapılacak yapısal çözümlerlerin ve riskli yapı tespitinin güvenilirliğini doğrudan etkileyecek en önemli parametrelerden biri olan elastisite modülünün, mevcut yönetmelik formülleri ile doğru bir şekilde hesaplanabilmesi bir takım belirsizlikler barındırmaktadır. Düşük dayanımlı beton grubuna sahip yapılar için gerçekleştirilecek hesaplamalarda kullanılmak üzere yapılan çalışmada [11] yeni bir elastisite modülü formülü önerilmiş ve farklı yönetmeliklerde önerilen denklemler ile kıyaslama yapılmıştır. Düşük ve normal beton dayanımına sahip numunelerin kullanıldığı farklı beton karışım oranlarını içeren çalışmada ise [12], elastisite modülündeki değişimler ortaya konulmuş ve farklı yönetmeliklerle karşılaştırılmıştır. Elastisite modülü değerinin basınç

dayanımı ile olan ilişkisi ve farklı gerilme-birim şekil değiştirme modellerinin önerilmesi [13] ile beraber, yapısal davranışa etkisi de araştırılmıştır. Beton malzemesinin elastisite modülünün, betonarme taşıyıcı sistemli yapıların güçlendirme çalışmalarına olan etkisi [14] ve yapısal eleman bazındaki davranışı da incelenmiştir [15]. [11], [12] ve [13] referans numaralı çalışmalar, genel olarak malzeme ağırlıklı çalışmalar olup düşük dayanımlı betonun elastisite modülünün belirlenmesine yönelik önemli çalışmalardandır. [14] ve [15] referans numaralı çalışmalarda ise düşük dayanımlı betonun elastisite modülünün ele alınan yapının ya da yapı bileşeninin davranışına ya da gerçekleştirilen analiz sonuçlarına etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmanın amacı düşük dayanımlı beton elastisite modülünün, RYTEİE ile yapılan risk değerlendirme sonuçlarını hangi mertebede etkilediğinin araştırılmasıdır. Düşük beton dayanımına sahip mevcut binaların, yapısal özelliklerinin doğru bir şekilde tespit edilebilmesi ve riskli yapı tespiti sonucunun güvenilirliği için, düşük dayanımlı beton için elde edilmiş elastisite modülü formülünün kullanılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde, toplamda 4 farklı düşük dayanım grubuna ait 36 adet beton numunesi test edilmiş ve düşük dayanımlı betonlar için elastisite modülleri hesaplanarak mevcut formüllerle kıyaslanmıştır. Diğer taraftan farklı elastisite modülü değeri kullanılması durumunda, yapısal analiz sonuçlarında oluşan farklılıklar irdelenmiştir. Özellikle 2013 yılında yürürlüğe giren RYTEİE kapsamında risk değerlendirmesi yapılan düşük beton dayanımına sahip betonarme bir binanın, farklı elastisite modülü değerleri kullanılması durumunda risk değerlendirme sonuçlarında oluşan farklar araştırılmıştır. Bunun için hem mevcut yönetmeliklerdeki formüller kullanılarak, hem de çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler sonucunda hesaplanan elastisite modülü değerleri kullanılarak, RYTEİE kapsamında yapının risk değerlendirmesi yapılmıştır.

## 2. ELASTİSİTE MODÜLÜ (MODULUS OF ELASTICITY)

Elastisite modülü, betonun basınç dayanımı ile doğrudan ilişkilidir. Betonun basınç yükü altındaki şekil değiştirmesinin bir ölçütü olup, malzemenin birim uzama başına karşılık gelen gerilmesi olarak tanımlanabilir. Betonun aksel basınç yüklemesi altında elde edilen  $\sigma-\epsilon$  ilişkisi doğrusal bir davranış sergilemez (Şekil 1). Bu durumda doğrusal olmayan  $\sigma-\epsilon$  ilişkisinden elastisite modülünü tanımlamak için bir takım kabuller yapılmaktadır. Başlangıç, sekant ve teğet modülü olmak üzere 3 farklı yöntemle tanımlanabilen elastisite modülü ilgili şartnamelerde çoğunlukla %40-%50 dayanıma karşılık gelen sekant modülü cinsinden tanımlanmıştır. Ersoy ve Özcebe [16]  $\sigma-\epsilon$  ilişkisini etkileyen bütün değişkenlerin elastisite modülünü de etkilediğini vurgulayarak, doğrusal elastik olmayan ve zamana bağlı deformasyon gösteren beton malzemesinin davranışının kesin olarak tanımlanmasının zorluğuna dikkat çekmişlerdir. Çeşitli şartnamelerde, beton elastisite modülü beton basınç

dayanımının bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Karakteristik basınç dayanımı ise, TS500 (2000)'de istatistiksel verilere dayanarak belirlenen değerden daha küçük dayanım değeri elde edilmesi olasılığı %10 olan dayanım değeri olarak tanımlanmıştır.



**Şekil 1.** Gerilme–birim şekil değiştirme grafiği (Stress-strain diagram)

$$f_{cc} = f_{cm} - (1,28 \times StSap. f_c) \quad (1)$$

$$E_{cj} = 3250\sqrt{f_{ckj}} + 14000 \text{ (TS500, 2000)} \quad (2)$$

$$E_c = 22000(f_{cm}/10)^{0,3} \text{ (Eurocode 2, 2004)} \quad (3)$$

$$E_c = 4700\sqrt{f_{cc}} \text{ (ACI 318-08, 2008)} \quad (4)$$

Eş. 2-Eş. 4'te kullanılan elastisite modülü eşitlikleri, ait olduğu yönetmeliklerde verilen beton dayanımları için, mevcut ve yeni yapılacak bina hesaplarında kullanılmaktadır. RYTEİE'de ise mevcut yapıların risk değerlendirme hesaplarında Eş. 5'in kullanılması gerekmektedir. Eş. 1-Eş. 5'deki tüm parametreler için MPa birimi kullanılmıştır. TS500 (2000) ve ACI 318M-08 elastisite modülü formülü Eş. 1 ile hesaplanan karakteristik

beton basınç dayanımıyla tanımlanmışken, Eurocode 2 (2004) [17]'de ortalama beton basınç dayanımı kullanılmıştır. Diğer taraftan elastisite modülü tanımında da bu 3 şartnamede farklılıklar bulunmaktadır. Eurocode 2 (2004) elastisite modülünü, betonun basınç dayanımının %40'ına karşılık gelen sekant modülü olarak tanımlarken, ACI 318M-08 ise %45'e karşılık gelen sekant modülünü esas almaktadır. RYTEİE'deki elastisite modülü ise ACI 318M-08 ile uyumlu olup Eş. 5 ile tanımlanmıştır.

$$E_{cm} = 5000\sqrt{f_{cm}} \quad (5)$$

### 3. BASINÇ TESTİ (COMPRESSION TEST)

Bu çalışma kapsamında, 150 mm x 300 mm boyutlarına sahip toplam 40 adet silindirik beton numunesi laboratuvar ortamında belirli karışım oranları ile hazırlanmıştır. Bu karışımlar belirlenirken, numunelerin beton basınç dayanımlarının yapı stokundaki riskli betonarme binalardaki betonu temsil etmesi için dayanımlarının 6-16 MPa arasında olmasına dikkat edilmiştir. Düzgün bir dağılım elde edebilmek için her bir grupta 10 numune olmak üzere 4 farklı dayanım grubu oluşturulmuştur. Bazı gruplarda hedeflenen basınç dayanımına ulaşamaması veya bazı gruplarda basınç dayanımının hedeflenen değerine çıkması sebebiyle 4 adet testin verileri kullanılmamıştır. Toplamda 36 adet testin sonuçları kullanılmıştır. Deney numunelerinin hazırlanması, kurlenmesi ve test edilmesi aşamalarında TS EN 12390-2 [18] ve TS EN 12390-3 [19] standartları göz önünde bulundurulmuştur (Şekil 2). Hazırlanan numuneler uzunluklarının tam orta bölgesinden 200 mm uzunluğa sahip elastisite modülü çerçevesine bağlanarak, 2 adet 25 mm kapasiteye sahip deplasman ölçen sensörler (LVDT) yardımı ile numunelerin boyundaki deformasyonlar ölçülmüştür. Uygulanan eksenel yük 50 ton kapasiteli yük hücresiyle ölçülmüştür. 50 ton kapasiteli basınç makinesinde deneye tabii tutulan numunelerin deformasyonları ve eksenel yük değeri, veri toplama sistemi ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Şekil 3).



**Şekil 2.** Test edilecek beton numuneleri (Concrete specimens for testing)



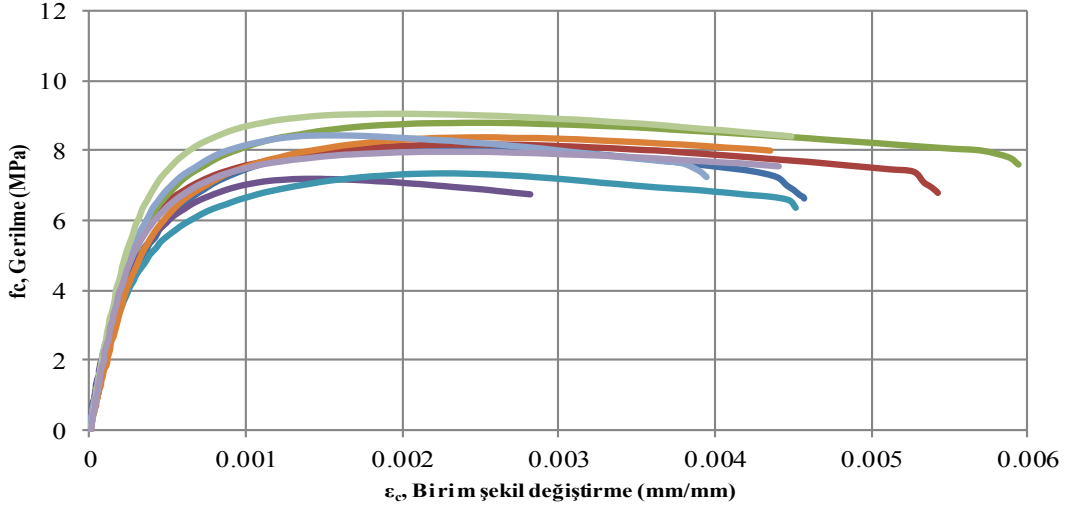
**Şekil 3.** Basınç test düzeneği ve ölçüm sistemi  
(Compression test setup and measurement system)

### 3.1. Basınç Test Sonuçları (Compression Test Results)

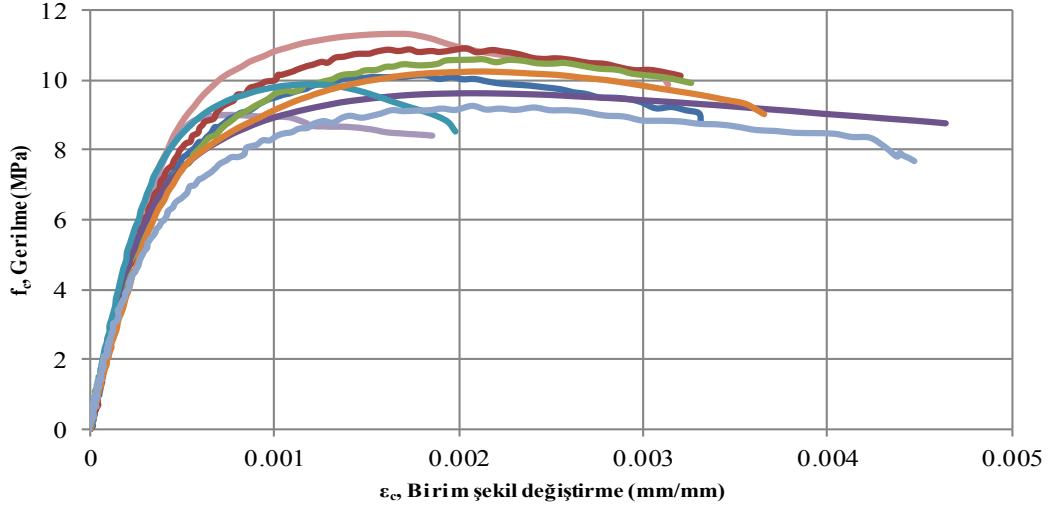
Hazırlanan beton numuneleri test edildikten sonra, bilgisayar ortamına aktarılan deplasman ve yük değerleri üzerinde gerekli hesaplamalar yapılarak gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında, elastisite modülünün belirlenmesi için TS500 (2000)'de yer alan sekant elastisite modülü metodu kullanılmıştır. Buna göre,  $\sigma$ - $\epsilon$  grafiğinde betonun basınç dayanımının %40'ına karşılık gelen nokta ile sıfır noktası birleştirilerek elde edilen doğrusal parçanın eğiminden test edilen numunelerin elastisite modülü değerleri elde edilmiştir. Yapılan basınç testleri sonucu elde edilen beton basınç dayanımı ( $f_c$ ), elastisite modülü ( $E_c$ ), istatistiksel değerler (ortalama beton basınç dayanımı  $f_{cm}$ ) ve standart sapma (St.Sap.) ve karakteristik beton basınç dayanımı ( $f_{cc}$ ) Tablo 1'de gösterilmiştir. Test sonucu elde edilen 36 adet beton numunesinin beton basınç dayanımları belirlenen gruplar için öngörülen dayanım değerleri dağılımını tam olarak sağlamasa da, numunelerin beton basınç dayanımları geneli itibariyle 8-12 MPa aralığında çıkmıştır. Elde edilen bu dağılımın Türkiye yapı stokunda bulunan önemli sayıda binanın beton dayanımına karşılık geldiği literatür çalışmalarında belirtilmiştir. Test sonucu elde edilen, her 4 numune grubuna ait gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri Şekil 4, 5, 6 ve 7'de gösterilmiştir. Ayrıca, gerilme-birim şekil değiştirme grafiklerinden elde edilen elastisite modülü değerleri, diğer ulusal ve uluslararası şartnamelerdeki formüller sonucu elde edilen elastisite modülü değerleri ile Şekil 8'de karşılaştırılmıştır.

**Tablo 1.** Basınç testi sonuçları ve istatistiksel değerler (Compression test results and statistical values)

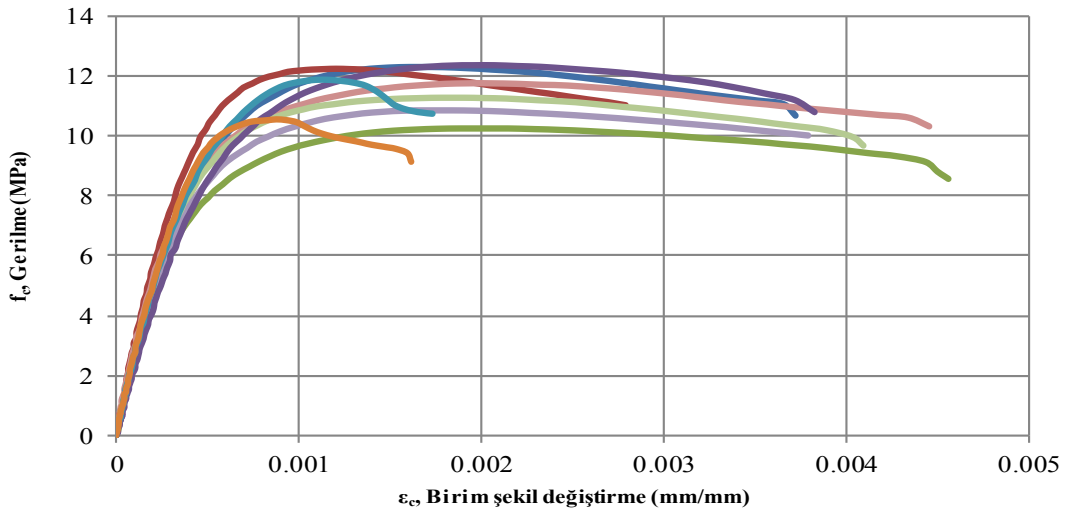
Grup 1	$f_c$ (MPa)	$E_c$ (MPa)	Grup 2	$f_c$ (MPa)	$E_c$ (MPa)
1	7,2	22503	1	9,2	20091
2	7,3	17923	2	9,6	24533
3	7,9	21711	3	9,8	26042
4	8,1	17785	4	9,0	22213
5	8,1	21072	5	10,2	19070
6	8,3	17755	6	10,1	23046
7	8,4	21517	7	10,9	21732
8	8,7	19094	8	10,6	21857
9	9,0	23636	9	11,3	22949
Ortalama	8,1	20333	Ortalama	9,9	22323
StSap.	0,6	2234	StSap.	0,6	2248
$f_{cc}$	7,4		$f_{cc}$	9,1	
Grup 3	$f_c$ (MPa)	$E_c$ (MPa)	Grup 4	$f_c$ (MPa)	$E_c$ (MPa)
1	11,7	26428	1	11,0	22307
2	11,2	23331	2	12,0	23984
3	10,6	26578	3	12,3	24813
4	12,3	29086	4	13,4	27937
5	10,8	23246	5	14,7	24410
6	10,2	24729	6	14,6	26084
7	11,9	24812	7	10,6	19953
8	12,3	23468	8	16,5	27020
9	12,4	24759	9	15,1	26448
Ortalama	11,5	25180	Ortalama	13,3	24564
StSap.	0,8	1897	StSap.	2,0	2577
$f_{cc}$	10,4		$f_{cc}$	10,8	



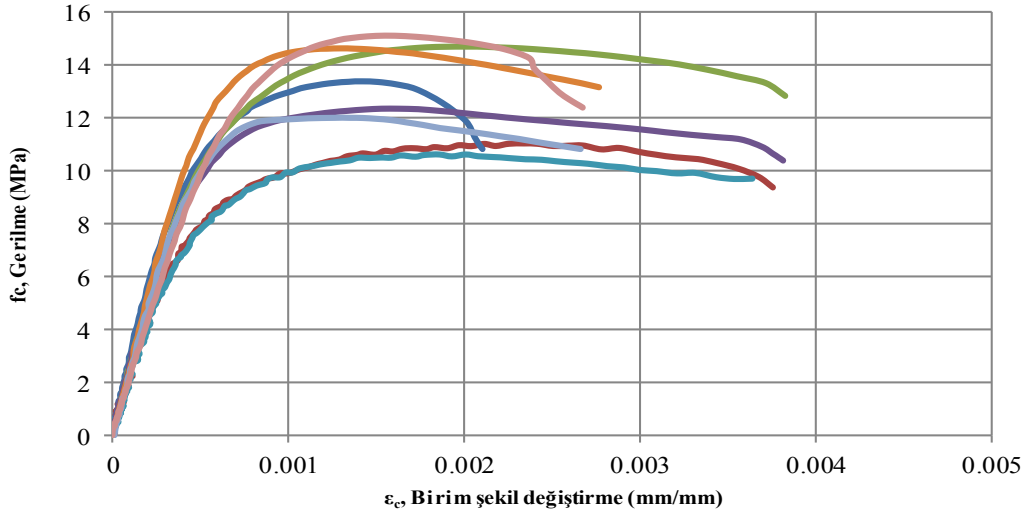
Şekil 4. Gerilme–Birim şekil değıştirme grafiği (Grup 1) (Stress-strain diagram for Group 1)



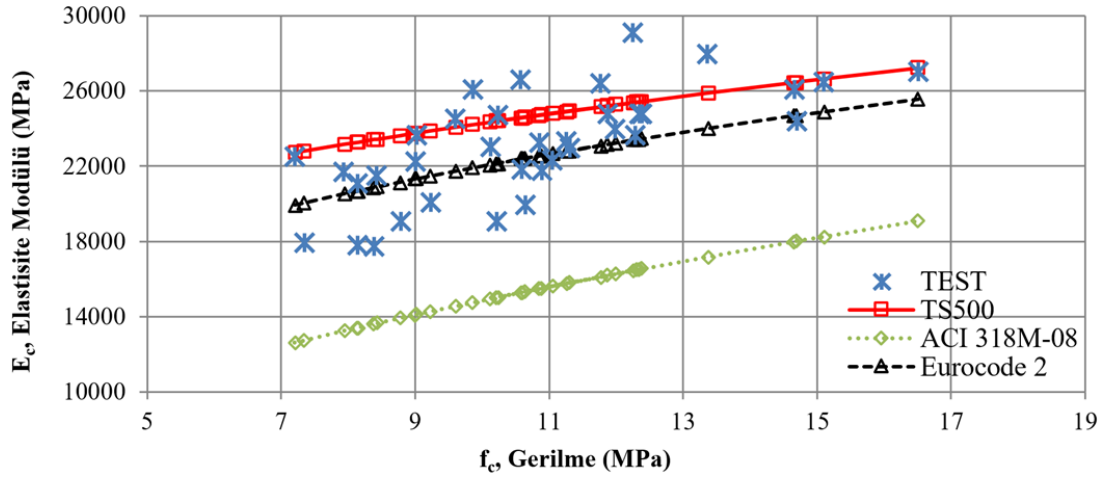
Şekil 5. Gerilme–Birim şekil değıştirme grafiği (Grup 2) (Stress-strain diagram for Group 2)



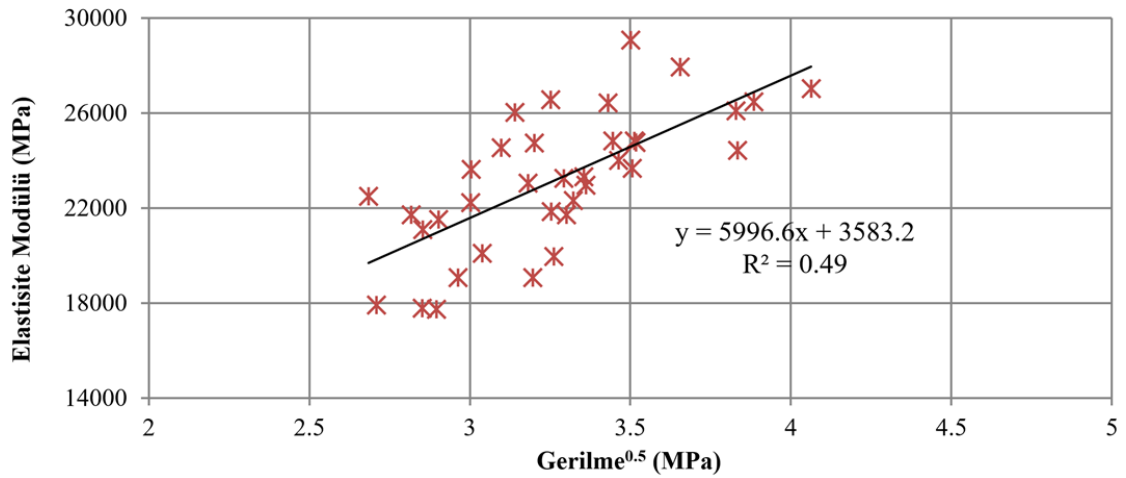
Şekil 6. Gerilme – Birim şekil değıştirme grafiği (Grup 3) (Stress-strain diagram for Group 3)



Şekil 7. Gerilme – Birim şekil değiştirme grafiği (Grup 4) (Stress-strain diagram for Group 4)



Şekil 8. Test sonuçları ve diğer standartların önerdiği elastisite modülü değerleri (The comparison between the test results and the code values)



Şekil 9. Deney sonuçlarına göre önerilen elastisite modülü formülü (The proposed modulus of elasticity equation based on test results)

Hazırlanan karışım gruplarında, hedeflenen beton basınç dayanımı, TS500 (2000)'deki minimum beton dayanımı olan 16 MPa değerinin altındadır. Elde edilen elastisite modülü değerleri, hem yerel standartlar (TS500 2000) hem de uluslararası standartlar ile kıyaslanmıştır (ACI 318M-08 ve Eurocode 2 (2004)). Şekil 8'de görüleceği üzere, TS500 (2000) diğer uluslararası kodlara göre elastisite modülü değerini bir miktar yüksek hesaplamaktadır. ACI 318M-08 değerleri, test sonucu elde edilen değerlerin altında kalmıştır. RYTEİE'de tanımlanan elastisite modülü formülü ACI 318M-08 ile uyumlu olduğundan, RYTEİE'de de tanımlanan elastisite modülü değerlerinin yapılan testler sonucu hesaplanan değerlerden daha küçük olacağı ortadadır. TS500 (2000) standardına göre elde edilen elastisite modülü değerleri, test sonucu elde edilen elastisite modülü değerlerinden, grup 1 ve 2 için ortalama %16 ve %21, grup 3 ve 4 için ortalama %6 ve %7 farklılık göstermektedir. Basınç dayanımı arttıkça, TS500 (2000) ve Eurocode 2 (2004) standartlarının ortaya koyduğu elastisite modülü değerleri test sonucunda elde edilen elastisite modülü değerlerine yaklaşmaktadır. Basınç testleri sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri ile beton basınç değerleri arasında bir ilişki ortaya koyabilmek için  $f_c^{0.5}$  ile  $E_c$  dağılımı için basit doğrusal regresyon analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 9). Böylelikle yapılan testlerin sonucunda Eş. 6'daki elastisite modülü formülü %40 sekant modülüne göre elde edilmiştir.

$$E_c = 6000(\sqrt{f_c}) + 3580 \quad (f_c \text{ ve } E_c \text{ MPa}) \quad (6)$$

Mevcut şartnamelerde elastisite modülü, beton basınç dayanımının karekökü ile ilişkilendirildiğinden, bu çalışmada da benzer bir yol izlenmiştir. Diğer taraftan mevcut şartnamelerde tanımlanan elastisite modülü formülleri bir gruba temsil etmek üzere ortalama ya da karakteristik beton dayanımları cinsinden tanımlanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada çok dar bir banttaki beton dayanımları (çoğunlukla 8-12 MPa aralığı) ele alındığından, gruplama yerine her bir numune sonucu regresyon analizinde dikkate alınmıştır. Gruplama iki ana sebepten ötürü yapılmamıştır. Birincisi, gruplama yapılması

durumunda istenilen seviyede beton basınç dağılımı elde edilemediğinden sonuçlar yanlı olacaktır. Diğer taraftan gruplandırma neticesinde dar bir bantta dağılan, karakteristik beton dayanımı kullanılması durumunda yeterli sayıda analiz verisi elde edilememektedir.

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Düşük dayanımlı betonarme binalar için önerilen elastisite modülü değerleri ile şartnamelerde tanımlanan değerlerin kullanılması durumunda yapının risk değerlendirme sonucunu nasıl etkileyeceği araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda Kentsel Dönüşüm Yasası kapsamında uygulanan RYTEİE'ye göre risk değerlendirmesi yapılan, olabildiğince düzenli bir taşıyıcı sistemi olan 6 katlı betonarme bir bina seçilmiştir. RYTEİE'ye göre binanın kritik katı olan zemin kattaki kolonlardan alınan numunelerden elde edilen mevcut beton dayanımı ( $f_{cm}$ ) 10 MPa olarak belirlenmiştir. RYTEİE'de tanımlanan Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi sonucunda binanın risk durumu tespit edilecektir. Bu hesap yönteminde doğrusal elastik hesap yapılacağından, beton malzemesi için kullanılacak elastisite modülü değeri, yapının rijitliğini doğrudan etkilediğinden risk tespit sonucunu değiştirebilmektedir. Dolayısıyla yapılacak hesaplamalarda önemli bir parametreyi oluşturan elastisite modülü değerinin gerçeği temsil edebilmesi, risk tespit sonuçlarının güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Mevcut beton dayanımı 10 MPa olan bina için, çalışma kapsamında önerilen ve diğer şartnameler tarafından önerilen elastisite modülü değerleri ve aralarındaki yüzdelik farklar Tablo 2'de karşılaştırılmıştır. Ele alınan beton dayanımı için önerilen elastisite modülü ile Eurocode 2 değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Eurocode 2 kadar olmasa da TS500 değeri de önerilen değere yakın bir değer ortaya koymuştur. RYTEİE'de verilen değer, deneysel çalışma sonucunda önerilen değerden yaklaşık %30 daha düşüktür. Bu durum, RYTEİE kapsamında risk değerlendirmesi yapılan binaların, olduğundan daha az rijit modellenmesine neden olacak ve gerek yapıya etkiyen deprem yükünde

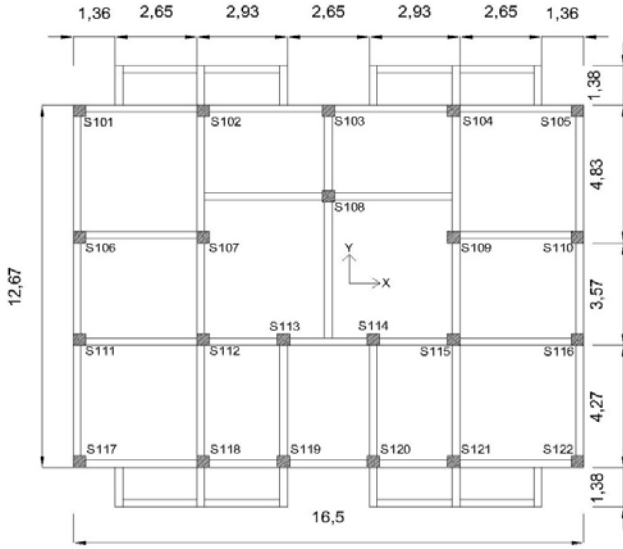
**Tablo 2.** 10 MPa beton dayanımı için elastisite modülündeki farklılaşma  
(The difference between the  $E_c$  values of various codes and the proposed equation)

$E_c$ -Önerilen (MPa)	$E_c$ -TS500 (MPa)	$E_c$ -RYTEİE (MPa)	$E_c$ -Eurocode (MPa)
22546	24277	15811	22000
Fark (%)	7,7	29,9	2,4

**Tablo 3.** Kritik kattaki kolon sonuçları (Results of 22 columns at the critical storey)

Elastisite Modülü	$M_{G+nQ+E} / M_K$ moment kapasite sınırını aşan kolon sayısı		( $\delta/h$ ) Relatif kat öteleme sınırını aşan kolon sayısı		Sınır değerlerden en az birini aşan kolon sayısı	
	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü	X yönü	Y yönü
Test	17	22	17	19	20	22
RYTEİE	10	17	20	22	20	22
TS500	19	22	17	17	20	22
Eurocode 2	18	22	17	19	20	22

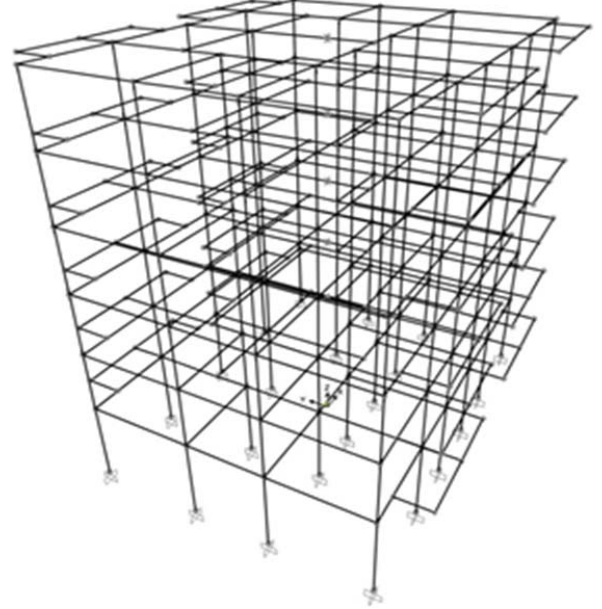
gerekse de hesaplanan yer değiştirmeler ve kritik kat kolonlarının i kuvvetlerinde önemli farklılıklar oluşturacaktır. RYTEİE'ye göre, DBYBHY (2007)'de tanımlanan tasarım depremi altında yıkılma veya ağır hasar görme riski bulunan bina riskli bina olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla risk değerlendirmesinde DBYBHY (2007)'deki tasarım spektrumu kullanılmıştır. Binanın bulunduğu zemin, Z3 zemin grubuna karşılık gelmektedir. Yapının taşıyıcı sistem özellikleri bilinmekle beraber, statik projesi mevcut olup, RYTEİE'de belirtilen bilgi düzeylerinden "Kapsamlı Bilgi Düzeyi"ne sahiptir. Riskli yapı analizi için incelenen mevcut binaya ait zemin kat kalıp planı Şekil 10'da gösterilmiştir.



**Şekil 10.** Kritik kat kalıp planı (birimler [m]'dir)  
(Plan view of the critical story, units are in [m])

Binadaki tüm kirişler 25x50 cm, kolonlar ise 40x40 cm olup taşıyıcı sistemde perde elemanı bulunmamaktadır. SAP2000 programı [20] ile analitik modeli oluşturulan binanın taşıyıcı elemanlarının RYTEİE'ye göre etkin eğilme rijitlikleri; kirişlerde eğilme rijitliğinin %30'u, kolonlarda ise %50'si olarak tanımlanmıştır. Şekil 11'de SAP2000 modeli gösterilen yapının kat seviyesindeki düğüm noktalarına döşeme nedeniyle rijit diyafram tanımlanmıştır. Yapılan modal analiz sonucunda, binanın iki asal ekseninde de hakim mod periyodu yaklaşık 1 saniye olarak hesaplanmıştır. RYTEİE'ye göre binanın risk durumu, binaya etkiyen düşey yüklerin ve deprem etkileri altında, planda her iki doğrultu ve bu doğrultuların her iki yönü dikkate alınarak belirlenmiştir. Risk değerlendirmesi sadece kritik kat için yapılmıştır. Kolon sınıflandırması yapılırken, kesme etki/kapasite oranı, etriye kanca detayı, etriye aralığı ve miktarı dikkate alınarak, tüm kolonların B grubu kolon sınıfına girdiği belirlenmiştir. Kritik kattaki kolonların hasar düzeylerinin belirlenmesinde, kolon kesitlerinin deprem etkisi altında hesaplanan kesit moment talebinin moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilen etki/kapasite oranı ( $m = M_{G+nQ+E} / M_k$ ) ve kat etkin görelilik kat ötelemesi oranı ( $\delta/h$ ) esas alınmıştır. Bu iki parametre

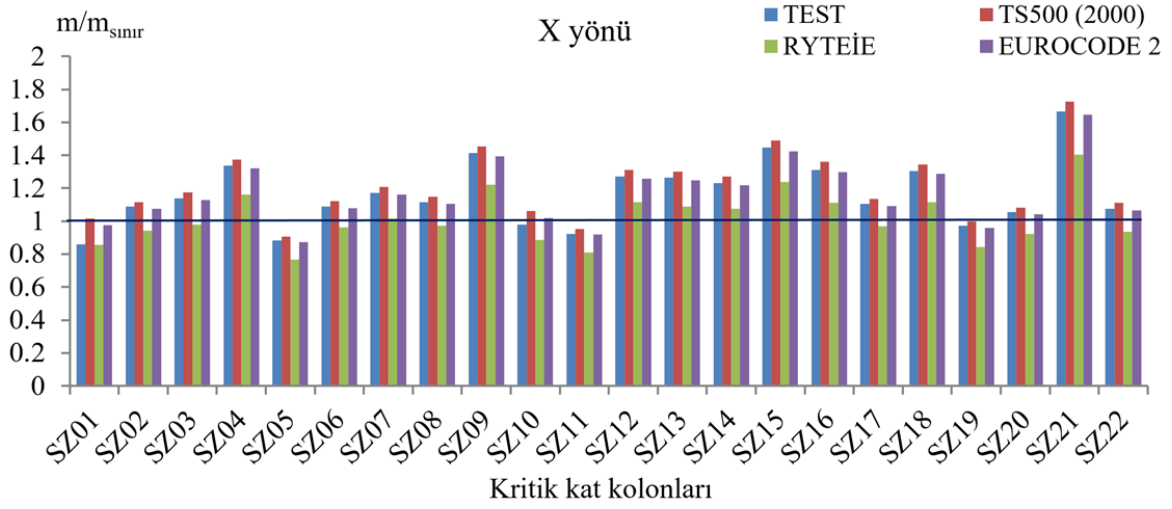
( $m$  ve  $\delta/h$ ) için RYTEİE'de tanımlanan B grubu kolonların aksenal yük seviyesine ve etriye miktarına bağlı olan sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. Herhangi bir sınır değerin aşılması durumunda ele alınan kolonun risk sınırını aştığı kabul edilmiştir. Bu işlemler, TS500, RYTEİE, Eurocode 2 ve çalışma sonucu önerilen elastisite modülü değerleri kullanılarak dört kere tekrarlanmıştır.



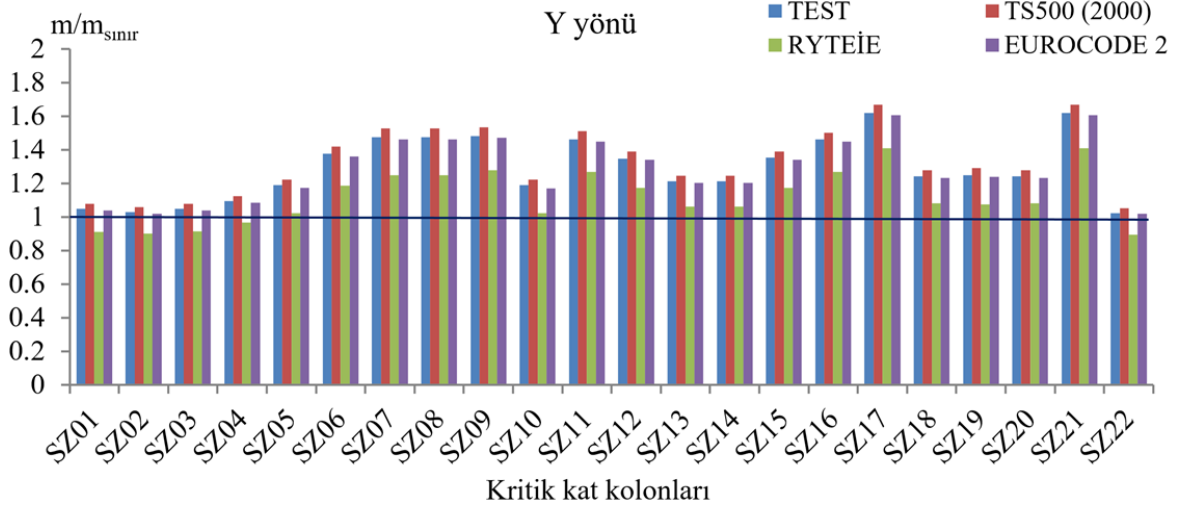
**Şekil 11.** İncelenen binanın SAP2000 modeli  
(SAP2000 model of the structural system)

Buna göre Tablo 3'te her dört durum için 22 kolondan kaç tanesinin  $m_{sınır}$  ve  $(\delta/h)_{sınır}$  değerlerini aştığı gösterilmektedir. Kullanılan tasarım spektrumunun köşe periyodu, binanın hakim mod periyodundan kısa olduğu için, rijitliği daha az olan RYTEİE'ye göre modellenen binaya etkiyen deprem kuvveti ve neticesinde kolon moment talepleri daha azdır. Dolayısıyla incelenen bina özelinde, RYTEİE ile yapılan kuvvet bazlı değerlendirmede  $m_{sınır}$  değerini aşan kolon sayısının diğer yöntemlerle belirlenen riskli kolon sayısından daha az olduğu görülmektedir. Şekil 12 ve Şekil 13'te, sırasıyla binanın X ve Y doğrultuları için RYTEİE ile hesaplanan  $m/m_{sınır}$  oranlarının diğer elastisite modülü değerleri ile hesaplanan oranlardan daha kk olduğu görülmektedir. İncelenen binanın iki asal ekseninde de neredeyse simetrik olduğundan artı ve eksi yönlerde elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Bu sebeple her iki ekseninde de sadece artı yöndeki sonuçlar verilmiştir. Benzer karşılaştırma ( $\delta/h$ ) için de yapılmıştır. Tablo 3, Şekil 14 ve Şekil 15 incelendiğinde, rijitliği daha az olan RYTEİE'ye göre modellenen binada beklendiği üzere daha büyük yer değiştirmeler oluşmuş ve daha fazla kolonun riskli olduğu sonucuna varılmıştır. Her ne kadar diğer yöntemlerle kıyaslandığında RYTEİE ile  $m_{sınır}$ 'ı aşan kolon sayısı daha az,  $(\delta/h)_{sınır}$ 'ı aşan kolon sayısı ise daha çok belirlenmiş olsa da, her iki sınır değerden herhangi birini aşan kolon sayısı yapılan tüm hesaplamalarda benzerlik göstermiştir.

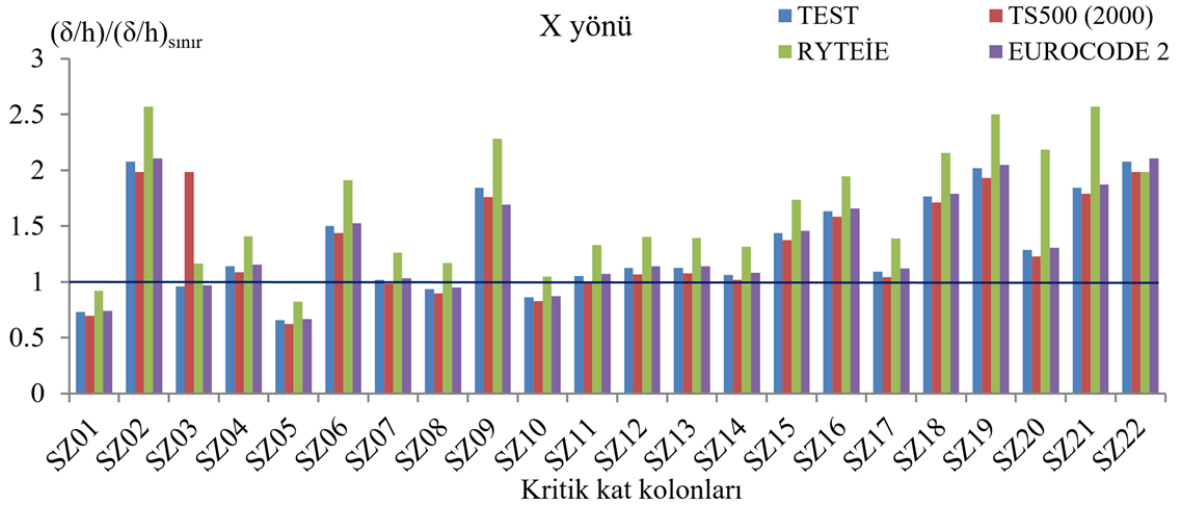




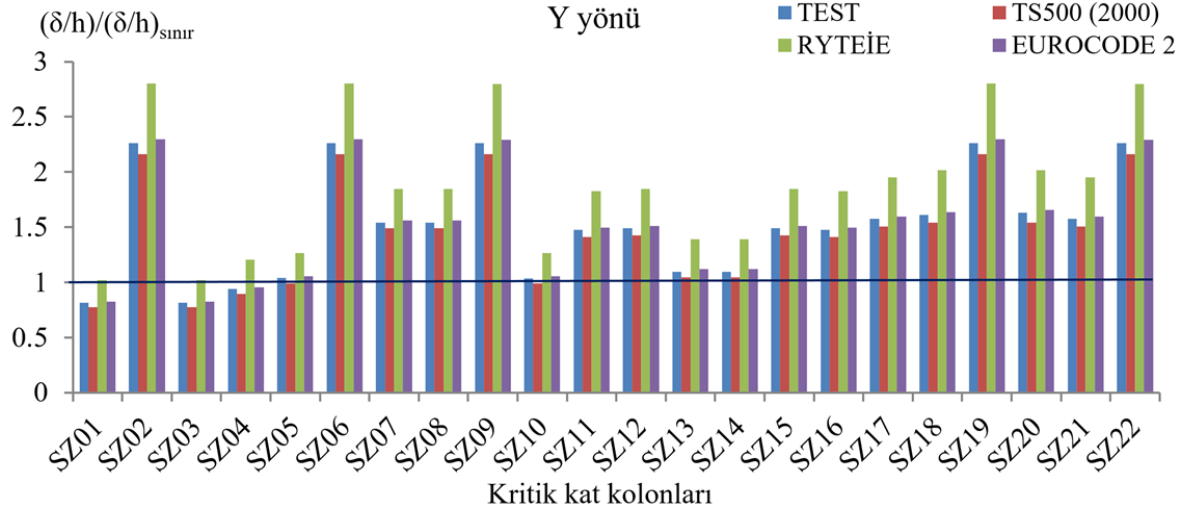
Şekil 12. Kritik kat kolonları için  $m/m_{sınır}$  değerleri (X yönü) ( $m/m_{limit}$  values for the cols of critical storey in X direction)



Şekil 13. Kritik kat kolonları için  $m/m_{sınır}$  değerleri (Y yönü) ( $m/m_{limit}$  values for the cols of critical storey in Y direction)



Şekil 14. Kritik kat kolonları için  $(\delta/h)/(\delta/h)_{sınır}$  değerleri (X yönü) ( $(\delta/h)/(\delta/h)_{limit}$  values for the cols of critical storey in X direction)



**Şekil 15.** Kritik kat kolonları için  $(\delta/h)/(\delta/h)_{sınır}$  değerleri (Y yönü)  
( $(\delta/h)/(\delta/h)_{limit}$  values for the columns of critical storey in Y direction)

**Tablo 4.** Kolon eksenel gerilme ortalamasına bağlı kat kesme kuvveti oranı sınır değeri  
(Limiting value of shear force ratio based on average column axial stress)

Kolon eksenel gerilme ortalaması (=kolon gerilmelerinin toplamı / kolon sayısı)	Kat kesme kuvveti oranı sınır değerleri
$\geq 0,65 f_{cm}$	0
$0,1 f_{cm} \geq$	0,35

**Tablo 5.** Kritik katta sınır değerleri aşan kolonların kesme kuvvetleri oranı  
(Shear force ratio of the risky columns at the critical storey)

Deprem Yönü	$E_c$ (Önerilen)		$E_c$ (RYTEİE)	
	Toplam kesme kuvveti (KN)	Riskli kolon kesme kuvveti oranı	Toplam kesme kuvveti (KN)	Riskli kolon kesme kuvveti oranı
X	1560,54	%87,9 > %9,4	1322,99	%93 > 9,4
Y	1473,97	%100 > %9,4	1247,1	%100 > 9,4

Binanın genel risk değerlendirmesini yapabilmek için kolonların eksenel gerilme ortalaması dikkate alınarak, riskli kolonların kesme kuvvetinin kritik kattaki toplam kesme kuvvetine oranı belirlenmiştir. RYTEİE’de tanımlanan, Tablo 4’teki kolon eksenel gerilme ortalama değerlerine karşılık gelen riskli kolonların kesme kuvveti oranını aşması durumunda bina riskli kabul edilmektedir. Kolon eksenel gerilme ortalama ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılmıştır. İncelenen binadaki kolonların eksenel gerilme ortalaması  $0,5f_{cm}$  olduğundan, bu değere karşılık gelen sınır kesme kuvveti oranı 0,094 olarak belirlenmiştir. Buna göre incelenen binanın kritik kattaki riskli kolonlarının kesme kuvveti toplamının kritik kat toplam kesme kuvvetine oranı %9,4’ü geçmesi durumunda bina riskli olarak değerlendirilecektir. Ele alınan 4 farklı elastisite modülü ile yapılan değerlendirmelerin hepsinde de incelenen binanın riskli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. RYTEİE ve yapılan çalışma ile önerilen elastisite modülü kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar Tablo 5’te özetlenmiştir. Her iki durumda da Y-yönünde tüm kolonlar riskli çıkmıştır. X-yönü için yapılan değerlendirmede riskli

kolonların kesme kuvveti oranları hemen hemen benzer bir şekilde %85’in üzerinde çıkmıştır. İncelenen bina özelinde, farklı elastisite modülü kullanılması durumunda binanın genel risk değerlendirmesinde aynı sonuca ulaşılmıştır. Fakat eleman bazlı yapılan değerlendirmelerde elastisite modülünün sonuçlara etkisinin olduğu görülmüştür.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Gerek mevcut binaların sismik performans değerlendirmesi ve güçlendirilmesi çalışmalarında gerekse de risk değerlendirmesinde kullanılan elastisite modülü, yapılan hesaplamalardaki en önemli parametrelerden birini oluşturmaktadır. Özellikle mevcut şartnamelerdeki elastisite modülü formülasyonu çoğunlukla normal dayanımlı beton için tanımlandığından, yapı stokumuzu oluşturan mevcut betonarme binalardaki ortalama beton dayanımının düşük olması nedeniyle mevcut elastisite modülü formüllerinin bu yapılar için yapılacak çalışmalarda kullanılması bir takım soru işaretleri barındırmaktadır. Bu çalışma kapsamında, düşük dayanımlı beton grubuna sahip yapıların risk

değerlendirmelerinin daha gerçekçi bir şekilde yapılabilmesi için yeni bir elastisite modülü formül önerisi getirilmiştir. Deneysel çalışma sonucu elde edilen elastisite modülü değerleri ile mevcut şartnamelerin tanımladığı değerler kıyaslanmıştır. Düşük dayanımlı beton için önerilen elastisite modülü önerisi ile Eurocode 2 değerleri önemli benzerlik göstermiştir. Ayrıca TS500'e göre hesaplanan değerler ile önerilen elastisite modülü değerleri de düşük dayanımlı beton için uyumludur. Diğer taraftan mevcut binaların risk değerlendirmesinde uygulanan RYTEİE'de tanımlanan (ACI 318M-08 ile uyumlu) elastisite modülü değerleri ile deneysel çalışma ile elde edilen değerler arasında %35 seviyesinde farklılıklar bulunmaktadır. Bu durum ise RYTEİE'nin tanımladığı elastisite modülü kullanılarak modellenen binalar olduğundan daha esnek davranarak daha büyük yer değiştirmelerin hesaplanmasına neden olacaktır. Fakat, hesaplamalarda kullanılan ivme spektrumunun köşe periyotları ile yapının hakim mod periyoduna bağlı olarak, yapıya etkiyecek deprem kuvvetlerinde de farklılıklar olacaktır. Çalışma kapsamında incelenen yapının hakim mod periyodu, ivme spektrumunun köşe periyodundan daha büyük olduğundan, RYTEİE ile yapılan hesaplamada olması gerekenden daha düşük deprem kuvvetleri hesaplanmış ve olması gerekenden daha küçük etki/kapasite oranları hesaplanmıştır.

İncelenen düşük dayanımlı binanın genel risk değerlendirmesi uygulanan tüm yöntemlerle riskli çıkmış olsa da, eleman bazlı yapılan risk değerlendirmelerinde farklılıklar olduğu görülmüştür. Özellikle RYTEİE ile yapılan hesaplamada daha düşük deprem kuvveti hesaplanarak, kritik kat kolonlarının etki/kapasite oranları daha küçük hesaplanmıştır. Diğer taraftan RYTEİE ile daha düşük rijitlik hesaplandığından, oluşan yer değiştirmelerin daha büyük olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Her ne kadar incelenen binanın RYTEİE ile genel risk değerlendirme sonuçları ile diğer yöntem sonuçları oldukça benzer sonuçlar ortaya koymuş olsa da, düşük dayanımlı binaların risk değerlendirmesi neticesinde daha güvenilir sonuçlar elde etmek için, RYTEİE'de önerilen elastisite modülü formülünün geliştirilmesi önerilmektedir.

## 6. SİMGELER (SYMBOLS)

$\sigma$	Gerilme
E	Elastisite modülü
$\varepsilon$	Birim şekil değiştirme
$f_{cc}$	Betonun karakteristik basınç dayanımı
$f_{cm}$	Ortalama basınç dayanımı
$f_{ckj}$	j günlük betonun karakteristik basınç dayanımı
StSap.	Standart sapma
$E_{cj}$	j günlük betonun elastisite modülü
$E_c$	Betonun elastisite modülü
$E_{cm}$	Mevcut beton elastisite modülü
m	Etki / Kapasite oranı
H	Kat yüksekliği
$\Delta$	Kat etkin görelî kat ötelemesi

$(\delta/h)$	Kat etkin görelî kat ötelemesi oranı
$M_K$	Mevcut malzeme dayanımları ile hesaplanan eğilme moment kapasitesi
$M_{G+nQ+E}$	Sabit yükler, katılım katsayısı ile çarpılmış hareketli yükler ve deprem yüklerinin etkisi altında hesaplanan eğilme momenti

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK 2209/B programı kapsamında 1139B411403108 başvuru numarası ile desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Tapan M., Cömert M., Demir C., Sayan Y., Orakcal K., İlki A., Failures of Structures during the October 23, 2011 Tabanlı (Van) and November 9, 2011 Edremit (Van) Earthquakes in Turkey, Engineering Failure Analysis, 34, 606-628, 2013.
2. Yılmaz N. ve Avşar Ö., Structural Damages of the May 19, 2011 Kütahya-Simav Earthquake in Turkey, Natural Hazards, 69 (1), 981-1001, 2013.
3. DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 2007.
4. TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
5. Akcay B., Variation of In-Place Concrete Core Strength in Structures from Istanbul Area: Statistical Analysis of Concrete Core Data, Journal of Materials in Civil Engineering, 16, (5), 507-510, 2004.
6. Er Ş.B., Aykaç S., Can H., Behaviour of Reinforced Concrete Weak Column-Beam Connections, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 29 (3), 537-547, 2014.
7. Avşar Ö., Tunaboyu O., Influence of Structural Wall on the Seismic Performance of RC Buildings during the May 19, 2011 Simav, Turkey Earthquake, ASCE Journal of Performance of Constructed Facilities, 28 (4), 1-9, 2014.
8. Yurdakul O., Avşar Ö., Strengthening of substandard reinforced concrete beam-column joints by external post-tension rods, Engineering Structures, 107, 9-22, 2016.
9. RYTEİE, Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar, Ankara, 2012.
10. ACI 318M-08, Building code requirements for structural concrete and commentary, American Concrete Institute, USA, 2008.
11. Ispir M., Dalgic K.D., Sengul C., Kuran F., İlki A., Tasdemir M.A., Modulus of Elasticity of Low Strength Concrete, 9<sup>th</sup> International Congress on Advances in Civil Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, 27-30 September 2010.
12. Yıldırım H., Sengul O., Modulus of elasticity of substandard and normal concretes, Construction and Building Materials, 25, (4), 1645-1652, 2011.
13. Ahmad S., Pilakoutas K., Khan Q.U.Z., Neocleous K. Stress-Strain Model for Low-Strength Concrete in

- Uni-Axial Compression, Arabian Journal for Science and Engineering, 40 (2), 313-328, 2014.
14. Ergin E., Betonarme Taşıyıcı Sistemli Yapıların Güçlendirilmesinde Beton Elastisite Modülü Değişiminin Yapısal Çözümlemedeki Etkisi, Yüksek Lisans, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2001.
  15. Özkul B., Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altındaki Davranışı ve Elastisite Modülü Önerisi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2009.
  16. Ersoy U., Özcebe G., Betonarme, Evrim Yayınevi, İstanbul, 2001.
  17. Eurocode 2, Design of concrete structures-Part 1: General rules and rules for buildings, European Committee Standardization, Brussels, 2004.
  18. TS EN 12390-2, Sertleşmiş Beton Deneyleleri, Bölüm-2, Dayanım Deneylelerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Nisan 2002.
  19. TS EN 12390-3, Sertleşmiş Beton Deneyleleri, Bölüm-3 Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Nisan 2003.
  20. Computers and Structures, Inc. SAP2000, Sürüm 15.1.0., Yapı Analizi ve Tasarım Programı. Berkeley, CA, 2000.