



Araştırma Makalesi / Research Article

**THE EFFECTS OF ELASTIC MODULUS ON THE RELATIVE STORY
DISPLACEMENT LIMITATIONS**

Fuat DEMİR*, Hamide TEKELİ, K. Armağan KORKMAZ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ISPARTA

Geliş/Received: 26.12.2006 Kabul/Accepted: 18.06.2007

ABSTRACT

In practice, concrete compression strength is used to compute the elastic modulus of concrete. For this calculation, various formulations are given in different codes. For a given concrete compressive strength, elastic modulus values calculated using different equations given in the codes could vary. In the present study, upper and lower boundaries of elasticity modulus are calculated using fuzzy logic algorithm. These values are compared with the values calculated from the different codes. This comparison is realized using a sample frame and a frame-shear wall structure designed according to Turkish Earthquake Code-1997. Based on the comparative results, the effects of determining the elasticity moduli boundary on relative story displacement limitations given by Turkish Earthquake Code-1997 are investigated. Results are given in comparative figures.

Keywords: Fuzzy logic, elasticity modulus, relative story displacements.

**ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN GÖRELİ KAT ÖTELEMELERİNİN SINIRLANDIRILMASINA
ETKİSİ**

ÖZET

Uygulamada betonun elastisite modülü değerinin pratik olarak elde edilebilmesi için beton basınç dayanımından yararlanılır. Bunun için farklı ülke yönetmeliklerinde, farklı şekilde bağıntılar kullanılmaktadır. Belirli bir beton basınç dayanımı için hesaplanan elastisite modülü değerleri yönetmeliklere göre farklılıklar gösterebilmektedir. Bu çalışmada, bulanık mantık yöntemi ile betonun elastisite modülü değerinin alabileceği alt ve üst sınır değerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler ve farklı yönetmeliklere göre hesap edilmiş olan elastisite modülü değerleri kullanılarak seçilen çerçevesel ve perdeli-çerçevesel model binaların 1997 Deprem Yönetmeliğinde verilen görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması kontrolüne olan etkisi incelenmiştir. Sonuçlar grafiklerle karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Bulanık mantık yöntemi, elastisite modülü, görelî kat ötelemesi.

1. GİRİŞ

Son yıllarda yaşanan depremler; depreme dayanıklı yapı tasarımının önemini bir kez daha göstermiştir. Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkeleri, yönetmelik ve standartlarda verilmektedir. Depreme maruz betonarme yapıların ne kadar ötelenme yaptığı, yapının deprem güvenliği açısından son derece önemlidir. Bunun için tasarlanan yapının yanal ötelenme

* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail/e-ileti: fudemir@mmf.sdu.edu.tr, tel: (246) 211 11 97

değerlerinin mutlaka doğru olarak belirlenmesi gerekir. Yanal ötelenmeyi bir çok parametrenin etkilediği bilinmektedir. Bu parametrelerden birisi de elastisite modülüdür.

Bu çalışmada, öncelikle belirli bir beton dayanımı için farklı yönetmeliklere göre elde edilen elastisite modülü değerlerinin bulanık mantık yöntemi ile alt ve üst sınır değerleri belirlenmiştir. Elde edilen elastisite modülü sınır değerleri ve farklı ülke yönetmeliklerinde verilen bağıntılar kullanılarak seçilen çerçevesel ve perdeli-çerçevesel yapı modellerinin ötelenme değerleri hesap edilmiştir. Elastisite modülünün öteleme ve görelî kat ötelenmelerinin sınırlandırılması kontrolüne olan etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafiklerle karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

2. ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN BELİRLENMESİ

Betonun elastisite modülü genel olarak gerilme şekil değiştirme eğrisinden elde edilmektedir. Betonun basınç dayanımı kolaylıkla belirlenebilmesine rağmen gerilme şekil değiştirme eğrisinin belirlenmesi zahmetli ve uzun süren deneysel çalışmalar gerektirmektedir. Bu nedenle daha kolay ve pratik bir yol olması açısından elastisite modülünün beton basınç dayanımından elde edildiği bağıntılar tercih edilmektedir. Farklı ülke yönetmeliklerinde, bu şekilde bağıntılar bulunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri ve Türkiye şartnamelerinde normal dayanımlı betonların elastisite modülü hesabı için beton dayanımı f_c (MPa), elastisite modülü E_c (GPa) olmak üzere aşağıda verilen bağıntılar önerilmiştir.

$$\text{ACI 318-95 [1]} \quad E_c = 4.73 (f_c)^{1/2} \quad (1)$$

$$\text{TS 500 [2]} \quad E_c = 3.25 (f_c)^{1/2} + 14 \quad (2)$$

Yüksek dayanımlı betonlar için bazı ülkeler tarafından teklif edilen bağıntılar ise f_c (MPa) ve elastisite modülü E_c (GPa) olmak üzere 3, 4 ve 5 no'lu denklemlerde verilmiştir.

$$\text{ACI 363 [3]} \quad E_c = 3.32 (f_c)^{1/2} + 6.9 \quad (3)$$

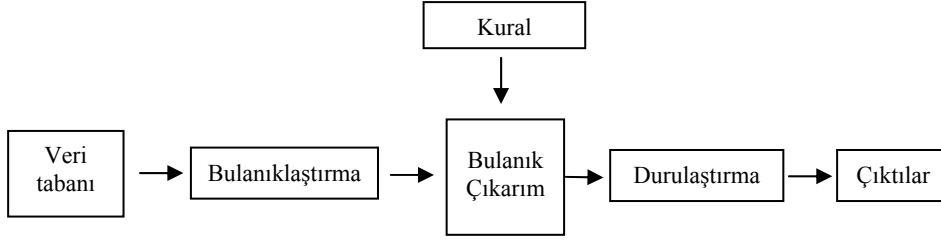
$$\text{CEB 90 [4]} \quad E_c = 10 (f_c + 8)^{1/3} \quad (4)$$

$$\text{NS 3473 [5]} \quad E_c = 9.5 (f_c)^{0.3} \quad (5)$$

3. BULANIK MANTIK YÖNTEMİ

Mühendislikte kullanılan bazı değerlerin aslında kesin olmadığı ve belirli sınır değerleri bulunduğu bilinen bir gerçektir. Bu değerlere, ancak bir takım deneysel çalışma sonuçları ve bazı kabullerle kesinlik kazandırılmaktadır. Mühendislikte kullanılan ve kesin gibi görünen bazı ifadelerin gerçekte belirli bir yaklaşıklık içerdiği ve belirli sınırlar içerisinde kaldığı da bilinmektedir. Hesaplarda kolaylık olması bakımından bir emniyet payı göz önüne alınarak tek bir değer şeklinde gösterilme yolu tercih edilmektedir. Günümüze kadar bu tür bir çözümleme zorunlu olmaktadır. Ancak "bulanık mantık" gibi son yıllarda bir çok alanda uygulama alanı olan yaklaşımların, bu tür problemlerin çözümüne daha gerçekçi ve yeni bir bakış açısı getireceği de açıktır.

Karışıklık ve belirsizlikleri göstermek üzere kullanılan bu bulanık mantık (fuzzy logic) terimi ilk defa Zadeh [6] tarafından ortaya atılmış ve son zamanlarda bir çok mühendislik dalında yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Burada; "bulanıklık veya belirsizlik" ifadesinin "olasılık" ifadesi ile farklı anlamda olduğunu vurgulamak gerekir. "Olasılık" ta olayların oluşum şartları, oluşum olasılığı söz konusu iken "belirsizlik" de oluşum dereceleri ve içerdiği yaklaşıklık ifade edilmektedir.



Şekil 1. Bulanık bir denetleyicinin yapısı

Genel olarak bir bulanık mantık işlemindeki akış diyagramı, Şekil 1’deki gibi verilebilir. Bunlar, veri tabanı, bulanıklaştırma, çıkarım motoru, kural tabanı, durulaştırma ve çıktı işlemlerinden meydana gelmektedir [7].

1. Genel Bilgi Tabanı Birimi: İncelenecek olan olayın girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca giriş adı da verilir. Genel veri tabanı denilmesinin nedeni, buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.
2. Bulanık Kural Tabanı Birimi: Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal, *ĞER-İSE* türünde yazılabilen bütün kuralları içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm aralık (bulanık küme) bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü kural tabanını oluşturur.
3. Bulanık Çıkarım Motoru Birimi: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdileri altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.
4. Durulaştırma Birimi: Bulanık çıkarım motorunun bulanık küme çıkışları üzerinde ölçek değişikliği yapılarak gerçek sayılara dönüştürdüğü birimdir.
5. Çıktı Birimi: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtasıyla etkileşimi sonucunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir.

Bulanık mantıkta belirsizlik durumları, bu durumu temsil eden küme elemanlarına üyelik fonksiyonlarının verilmesi ile tanımlanır. En büyük önem derecesine sahip olan öğelere 1 değeri atanırsa, diğerleri 0 ile 1 arasında değişim gösterir. İşte bu şekilde 0 ile 1 arasındaki değişimin her bir öğe için değerine üyelik derecesi, ve bunun bir alt küme içindeki değişimine de üyelik fonksiyonu denilmektedir.

4. BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN SINIR DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ

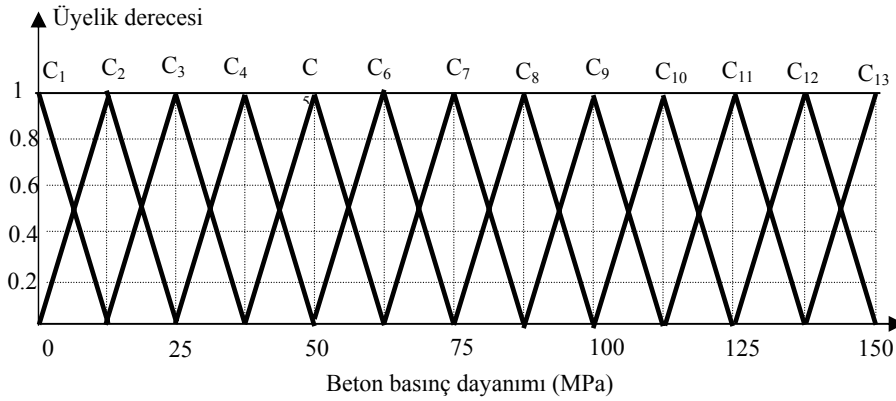
Betonun homojen ve elastik bir malzeme olmamasından dolayı tek ve kesin bir gerilme şekil değiştirme eğrisinin tanımlanması çok zordur. Bir çok değişkenin beton basınç dayanımını ve buna bağlı olarak gerilme şekil değiştirme ilişkisini etkilediği bilinmektedir. Dolayısıyla bu etkiler, betonun elastisite modülünü de etkilemektedir. Bütün bu nedenlerden dolayı aslında beton için tek ve herkes tarafından kabul edilen kesin bir elastisite modülünün tanımlanması imkansızdır. Betonun basınç dayanımı ve elastisite modülü ile yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde, bir basınç dayanımına karşı birden fazla elastisite modülü değeri karşı geldiği görülmektedir. Bunun bir sonucu olarak bir çok ülke yönetmeliğinde farklı bağıntılar sunulmaktadır. Dolayısıyla bu bağıntılar kullanıldığında belirli bir beton basınç dayanımı için farklı elastisite modülleri elde edilmektedir. Bu durum, aynı özellikte bir yapının elastisite modülü değeri için, yönetmeliklerinde verilen bağıntılar kullanılarak her ülkede farklı sonuçların

bulunması anlamına gelmektedir. Halbuki bir beton dayanımı için tek bir elastisite modülü verilmesi yerine deneysel verilere dayanarak belirli bir aralığın verilmesi daha gerçekçi olacaktır. Bu zamana kadar "bulanık mantık" gibi yeni çözüm yöntemlerinin olmaması aslında bu tür çözümleri bir anlamda zorunlu hale getirmiştir. Ancak son zamanlarda bir çok mühendislik dalında yaygın olarak kullanım alanı bulan "bulanık mantık" ın, betonarme yapılar için de dayanım sınır değerlerinin elde edilmesinde alternatif bir çözüm yolu olacağı açıktır [8-10].

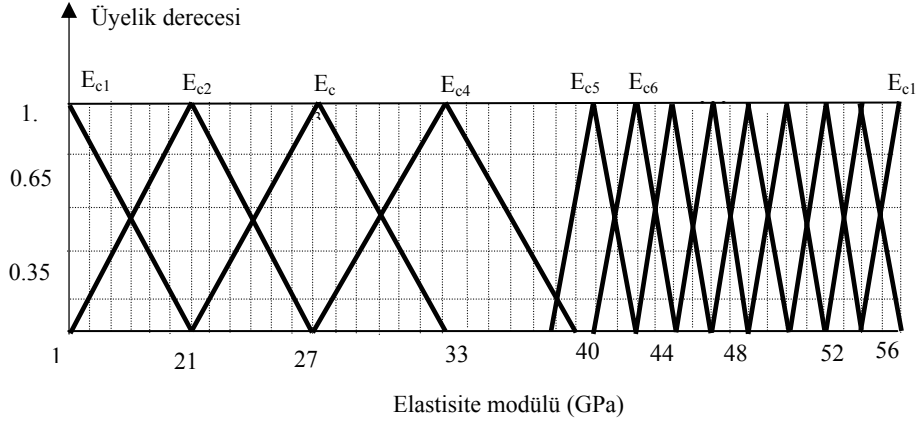
Elastisite modülünün alt ve üst sınır değerleri dikkate alınarak hesaplardaki bu farklılığı en aza indirebilmek mümkündür. Bu şekilde muhtemel en büyük ve en küçük elastisite modülü değerleri bulanık mantık esasları kullanılarak elde edilebilir [10,11]. Normal ve yüksek dayanımlı betonlar için seçilen üyelik fonksiyonları Şekil 2' de, elastisite modülü için seçilen üyelik fonksiyonları ise Şekil 3' de verilmiştir.

Burada, beton basınç dayanımı için seçilen üyelik fonksiyonları $C_1, C_2, C_3, \dots, C_{13}$ ve elastisite modülü için seçilen üyelik fonksiyonları ise $E_{c1}, E_{c2}, E_{c3}, \dots, E_{c13}$ olmak üzere, beton basınç dayanımı ile elastisite modülü arasındaki kural tabanı denklem (6)' da görüldüğü gibi oluşturulmuştur.

$$K_i : \text{EĞER } C \text{ is } C_i + C_{i+1} \text{ İSE } E_c \text{ is } E_{ci} + E_{ci+1} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 12) \quad (6)$$



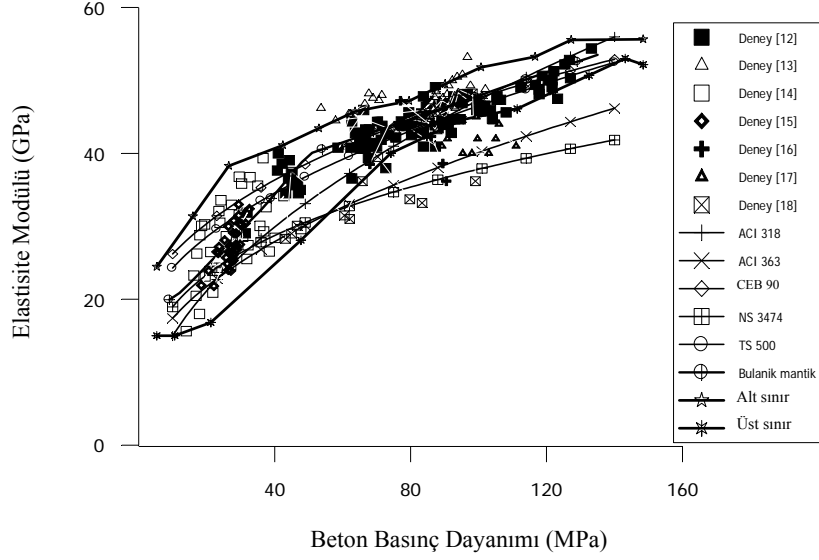
Şekil 2. Beton basınç dayanımı için seçilen üyelik fonksiyonları



Şekil 3. Elastisite modülü için seçilen üyelik fonksiyonları

The Effects of Elastic Modulus on the Relative Story ...

Bu çerçevede, durulaştırma işlemi yapılmadan önce elde edilen değerler elastisite modülünün alt ve üst sınır değerleri olarak kabul edilmektedir. Bu kabuller altında betonun elastisite modülünün alt ve üst sınır değerleri bu konuda yapılan deneysel çalışmalar ve bazı ülke yönetmeliklerinin sunduğu elastisite modülü bağıntıları kullanılarak Şekil 4 elde edilmiştir. Ayrıca durulaştırma sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri de aynı grafikte gösterilmektedir. Şekil 4’de görüldüğü gibi bulanık mantık yöntemi kullanılarak elde edilen elastisite modülü alt ve üst sınır değerleri hemen hemen bütün şartnamelerin verdiği değerleri kapsamaktadır. Dolayısıyla bulanık mantık yöntemi kullanılarak hem betonun elastisite modülü hem de alt ve üst sınır değerleri daha gerçekçi olarak belirlenebilmektedir.



Şekil 4. Elastisite modülü alt ve üst sınır değerlerinin belirlenmesi

Çizelge 1. Elastisite Modülü Sonuçlarının Karşılaştırılması

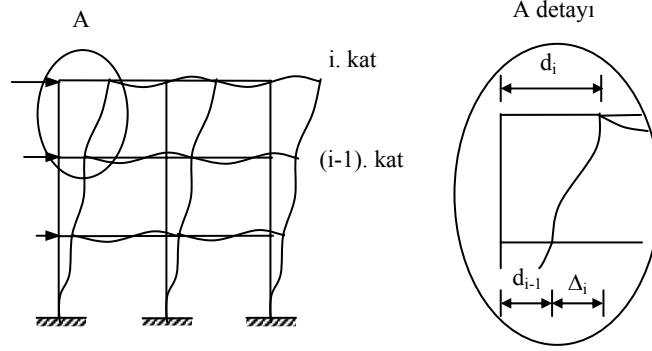
	Yüksek dayanımlı betonlar						Normal dayanımlı betonlar				
	Deneysel	ACI 363	CEB 90	NS 3473	Regrasyon	Bulanık Mantık	Deneysel	ACI 318	TS 500	Regrasyon	Bulanık Mantık
Varyans	8.0	7.2	6.0	3.7	11.8	6.0	18.4	8.0	3.8	7.6	9.4
Standart sapma		8.58	2.27	9.95	2.67	2.18		4.89	4.62	3.5	3.63

Normal ve yüksek dayanımlı betonlar için farklı yönetmeliklerde verilen bağıntılar ve bulanık mantık yöntemi kullanılarak bulunan sonuçlar ile deneysel sonuçlarının hata analizi Çizelge 1 de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu Çizelgeden bulanık mantık sonuçlarının kabul edilebilir mertebelerde olduğu söylenebilir.

5. GÖRELİ KAT ÖTELENME DEĞERLERİNİN SINIRLANDIRILMASI

1997 Deprem Yönetmeliği’nde depreme maruz yapının ötelenmesi üzerine kısıtlamalar getirilmektedir. Bunun için, uygulamacı mühendis; daha tasarım aşamasında, elemanların kesit

boyutları kesin belli değilken yapının ötelenme hesabını yapar ve Denklem (7) ile birbirine komşu olan iki katın yer değiştirmelerinin farkını alarak görelî (rölatif) kat ötelenmesi değerlerini elde eder (Şekil 5). Daha sonra bu değerlerin, 1997 Deprem Yönetmeliği' nde verilen sınırlamaları sağlayıp sağlamadığının kontrol edilmesi gerekir.



Şekil 5. Çerçevesel yapıda oluşan görelî kat ötelenmesi

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (7)$$

- Δ_i : Görelî kat ötelenmesi
 d_i : (i). katın yer değiştirme değeri
 d_{i-1} : (i-1). katın yer değiştirme değeri

Ülkemizin ve daha birçok ülkenin deprem yönetmeliği, şiddetli depremler altında yapının elastik kalamayacağı varsayımına göre hazırlanmıştır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında, elastik sınırlar ötesinde şekil değiştirme olacağı varsayıldığından, şiddetli depremlerde büyük yer değiştirmeler kaçınılmaz olacaktır. Yatay ötelenmenin büyük olması, ikinci mertbe momentlerinin oluşmasına yol açar. Kolon uçlarındaki momentler, ikinci mertbe momentlerinin eklenmesi ile daha da büyür. Buradan da anlaşılacağı gibi, görelî kat ötelenmelerinin büyük olması, yapının deprem davranışını olumsuz etkilemektedir. Hem yeterli rijitliği sağlamak hem de ikinci mertbe etkilerinin oluşmasını önlemek amacıyla 1997 Deprem Yönetmeliği görelî kat ötelenmelerine Denklem (8) ve Denklem (9)' da verilen sınırlamaları getirmiştir.

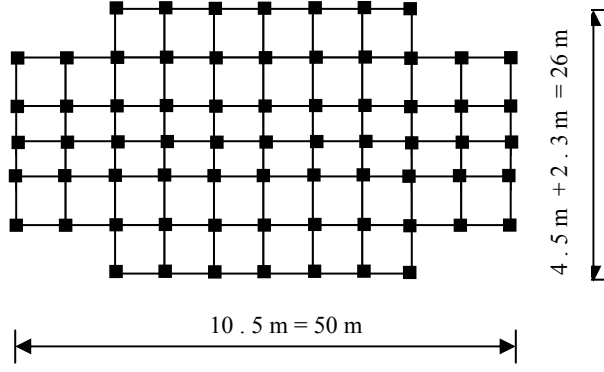
$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0,0035 \quad (8)$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0,02 / R \quad (9)$$

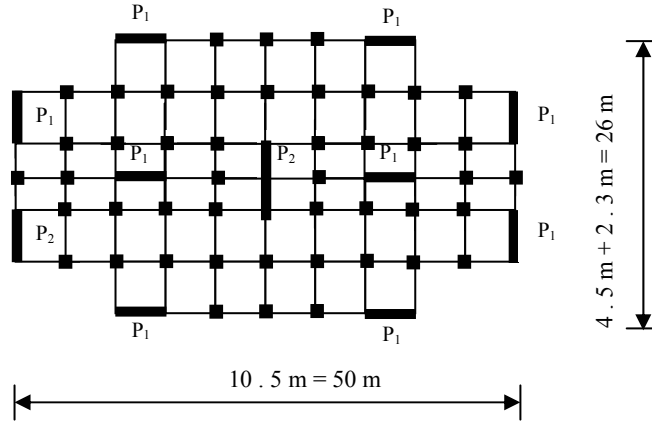
- $(\Delta_i)_{\max}$: Görelî kat ötelenmelerinin kat içindeki en büyük değeri
 h_i : (i). katın yüksekliği
 R : Yapı davranış katsayısı

Çizelge 2. Çerçevesel ve Perdeli-Çerçevesel Bina Modellerine Ait Bilgiler

Kat Sayısı	Kolon Boyutları (cm)	Kiriş Boyutları (cm)	$R_{\text{çer. bina}}$ $R_{\text{per.-çer. bina}}$	Perde Boyutları (m)		h_{kat} (m)	h_f (cm)	g_{ilave} q_{ilave}
				P_1	P_2			
10	40/40	25/45 Tablalı	8 7	0,25×5,0	0,25×6,0	3	12	2 kN/m ² 3 kN/m ²



Şekil 6. Çerçevesel Bina Modeli



Şekil 7. Perdeli-Çerçevesel Bina Modeli

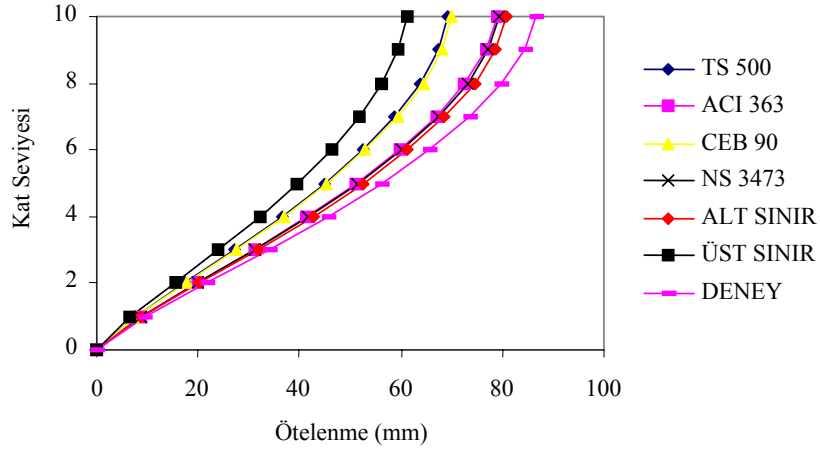
Yapılan çözümlere göre çerçevesel ve perdeli-çerçevesel binalara ait elde edilen 1. mod periyot değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Sonuçlardan elastisite modülünün değişiminin doğal periyot değerlerini % 15 mertebesinde etkilediği görülmüştür.

Çizelge 3. Çerçevesel ve Perdeli- Çerçevesel Bina Modellerine Ait 1. Mod Periyot Değerleri

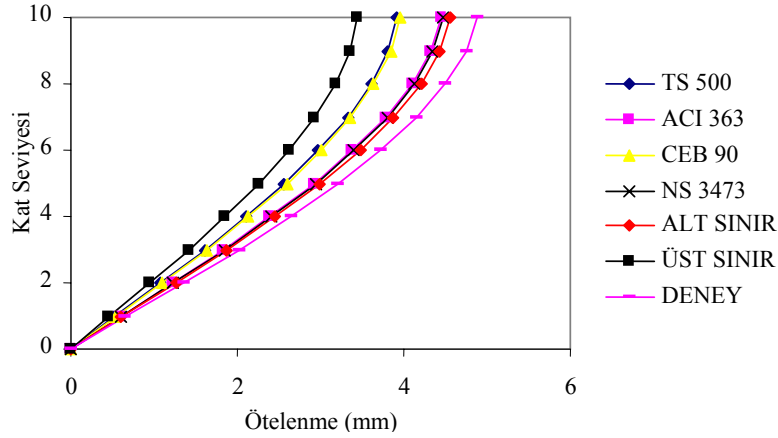
Periyot (sn)	TS 500	ACI 363	CEB 90	NS 3473	Alt Sınır	Üst Sınır	Deney
Çerçevesel Yapı	1,07	1,138	1,073	1,142	1,153	1,002	1,193
Perdeli-Çerçevesel Yapı	0,476	0,507	0,478	0,509	0,514	0,446	0,531

Belli bir beton basınç dayanımı için farklı şartnamelere göre elde edilen elastisite modülü değerlerinin ve bulanık mantık yöntemi ile belirlenen alt ve üst sınır elastisite modülü değerlerinin ötelenmeye ve 1997 Deprem Yönetmeliği'nde verilen görelî kat öteleme değerlerinin sınırlandırılması kontrolüne olan etkisi araştırılmıştır. Çerçevesel yapı için Şekil 6'da, perdeli-çerçevesel yapı için Şekil 7'de görülen yapı modeli olarak seçilmiştir. Çerçevesel ve perdeli-çerçevesel yapı modellerine ait bilgiler Çizelge 2'de verilmiştir. Model binaların 1. derece deprem

bölgesinde, Z1 yerel zemin sınıfında bulunduğu kabul edilmiştir. Ötelenme hesabı, SAP 2000 programı kullanılarak yapılmıştır.



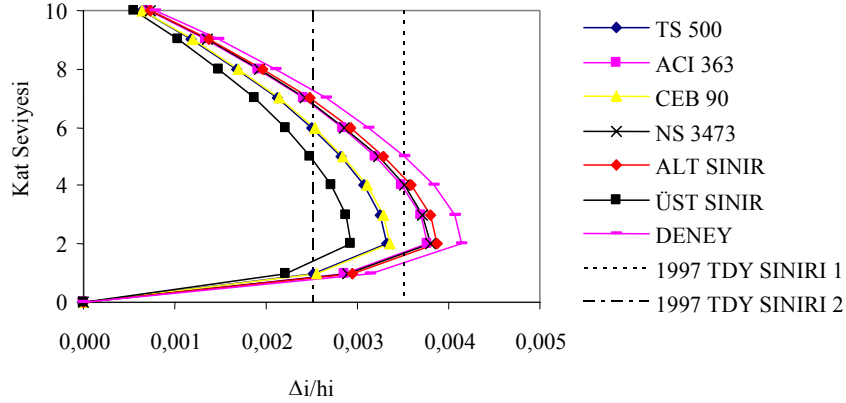
Şekil 8. Çerçevesel Binada Farklı Elastisite Modülü Değerlerine Göre Elde Edilen Ötelenme Profilleri



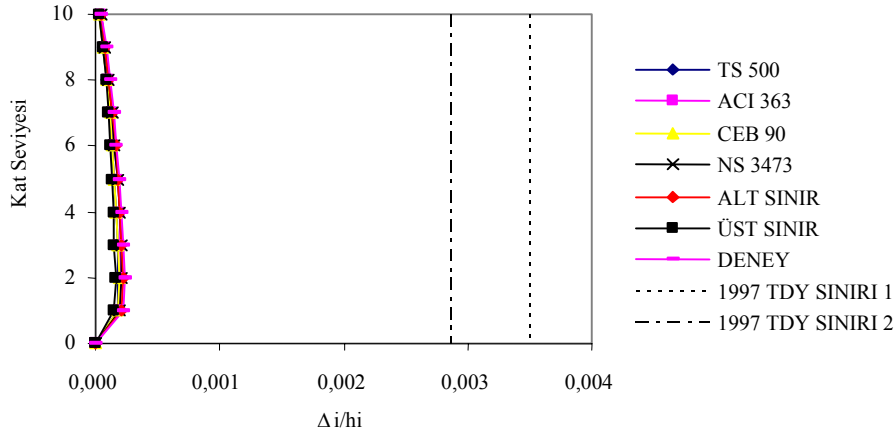
Şekil 9. Perdeli-Çerçevesel Binada Farklı Elastisite Modülü Değerlerine Göre Elde Edilen Ötelenme Profilleri

Şekil 8' de çerçevesel binaya, Şekil 9' da perdeli-çerçevesel binaya ait kat ötelenme profilleri görülmektedir. Görüldüğü gibi belirli bir beton basınç dayanımı için elde edilen farklı elastisite modülü değerleri ötelenmeyi de aynı oranda etkilemektedir. O halde yapı ötelenmesinin doğru olarak belirlenmesi elastisite modülünün doğruluğuna bağlıdır. Elde edilen ötelenme değerlerinden yararlanılarak her kat için görelî kat ötelenmesi (Δ_i) hesaplanmış ve bu değerler kat yüksekliğine bölünerek (Δ_i/h_i) değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerin grafikleri çerçevesel bina için Şekil 10' da, perdeli-çerçevesel bina için Şekil 11' de verilmiştir. 1997 Deprem Yönetmeliği' nde verilen görelî kat ötelenme sınırlamaları da grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekil 10' daki grafik incelendiğinde belli bir kat için görelî kat ötelenme değeri bazı elastisite modülü değerleri için

sınırlama içinde kalırken bazıları için sınırlama dışına çıkmaktadır. Şekil 11’ de ise perde duvar kullanımı yapının ötelenme değerlerini çok küçülttüğü için elastisite modülü değerlerinin değişiminde bile görelî kat ötelenme sınırlanmasının tüm katlarda sağlandığı görülmektedir.



Şekil 10. Çerçevesel Binada Farklı Elastisite Modülü Değerlerine Göre Elde Edilen Δ_i/h_i Grafikleri



Şekil 11. Perdeli-Çerçevesel Binada Farklı Elastisite Modülü Değerlerine Göre Elde Edilen Δ_i/h_i Grafikleri

6. SONUÇLAR

Yönetmeliklerde, beton elastisite modülünün basınç dayanımından yararlanılarak hesap edildiği bağıntılar verilmektedir. Bu bağıntılar yardımıyla belli bir beton basınç dayanımı için tek bir elastisite modülü değeri elde edilir. Elde edilen bu değerler, yönetmelikten yönetmeliğe değişiklik gösterir. Oysa elastisite modülü için tek bir değer tanımlanması yerine bir aralık verilebilirse, deney sonuçlarıyla en uyumlu ve güvenli tarafta kalınan değerlerin belirlenmesi imkanı ortaya çıkacaktır. Bu çalışmada, bulanık mantık yöntemi ile betonun elastisite modülü değerinin alabileceği alt ve üst sınır değerleri belirlenmiştir.

Elastisite modülünün değişiminin yapının ötelenme değerlerini de aynı oranda etkilediği bilinmektedir. Yapıya yeterli rijitlik kazandırılması ve ikinci mertbe etkilerinin azaltılması amacıyla 1997 Deprem Yönetmeliği’nde görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması

öngörüldüğüne göre elastisite modülü değerinin değişimi bu kontrolü de etkilemektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, gerekli kontrollerin doğru olarak yapılabilmesi için elastisite modülünün doğru olarak belirlenmesi zorunludur. Elde edilen sonuçlardan, belli bir kat seviyesi için görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması kontrolü, farklı yönetmeliklerdeki elastisite modülü bağıntılarından bazıları için sağlanırken bazıları için sağlanmadığı görülmektedir. Hem deney sonuçlarına en yakın hem de emniyetli olan elastisite modülü değerinin, bulanık mantık yöntemiyle bulunan alt sınır değeri olduğu bulunmuştur. O halde yapılan hesaplamalarda elastisite modülü için tek bir değer tanımlamak yerine bir aralık tanımlanmalı ve en düşük olan elastisite modülü değeri kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] ACI 318-95 Building code requirements for structural concrete, "ACI Manual of Concrete Practice Part 3: Use of concrete in Buildings – Design, Specifications, and Related Topics", Detroit, Michigan, 1996.
- [2] Türk Standartlar Enstitüsü, "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları", TSE, Ankara, 2000.
- [3] ACI Committee 363 "State-of-art-report on high strength concrete", ACI Journals 81(4): 364-411, 1984.
- [4] CEB-FIB Model Code, Bull. D'information CEB, 213/214, Lausanne, 1993.
- [5] Norwegian Council for Building Standardization, Concrete Structures Design Rules NS 3473 E, Stockholm, 1992.
- [6] Zadeh, L.A., "Fuzzy sets". Information and Control 8: 38–53, 1967.
- [7] Şen, Z., "Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri" Su Vakfı Yayınları, Bilge Yayıncılık, İstanbul, 2004.
- [8] Demir F., Güler K. "Yüksek Dayanımlı Betonların Elastisite Modüllerinin Belirlenmesi için Bulanık Mantık Yaklaşımı, XIII. Ulusal Mekanik Kongresi, Gaziantep, 2003.
- [9] Demir F. "Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Elastisite Modüllerinin Belirlenmesi için bir Bulanık Yaklaşım, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 2005
- [10] Demir F., "Betonun Elastisite Modülünün Alt ve Üst Sınır Değerlerinin Belirlenmesi" Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, İzmit 2005.
- [11] Demir F, "A new way prediction of elastic modulus of normal and high strength concrete-fuzzy logic", Cement and Concrete Research, No. 8, 2005, pp 1531-1538.
- [12] Wee, T.H, Chin, M.S., Mansur, M.A., "Stress-Strain Relationship of High-Strength Concrete in Compression", Journal of Material in Civil Engineering, No. 2, pp 70-76, 1994.
- [13] Gesoğlu, M., Güneyisi, E., Özturan, T., "Effects of end conditions on compressive strength and static elastic modulus of very high strength concrete", Cement and Concrete Research, No. 10, pp.1545-1550, 2002.
- [14] Özturan, T., "Betonun aşınmasının iki fazlı malzeme olarak incelenmesi", Doktora tezi, İ.T.Ü, 1984.
- [15] Turan, M., İren, M. "Betonun Gerilme Şekil Değişirme İlişkisi", Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Selçuk Üniversitesi, No. 1, pp. 76-81, 1997.
- [16] Shannag M.J., "High strength concrete containing natural pozzolan and silica fume", Cement & Concrete Composites, pp. 399-402, 2002.
- [17] Baalbaki, W., Benmokrane, B., Chaallal, O., et.al., "Influence of coarse aggregate on elastic properties on high performance concrete", ACI Materials Journals, No. 5, pp. 499-503, 1991.
- [18] Ke-Ru W., Bing C., Wu Y., et.al., "Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of high-performance concrete" ,Cement and Concrete Research, No. 10, pp.1421-1425, 2001.