



NORMAL KUVVET VE EĞİLME MOMENTİ ETKİSİ ALTINDAKİ ELEMANLARDA SARGI DONATISININ ETKİSİ

Fuat Demir¹, Hakan Dilmaç², Hamide Tekeli³ ve Mustafa Gençoğlu⁴

^{1,2,3}Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Isparta

⁴İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul

ABSTRACT

It can be seen that there was no limitation about stress strain relationship in the codes until the last decade. In TS-500-2000 code, it is assumed that any stress distribution shape based on experimental research results can be used in the analyses. Generally, maximum strain of concrete is assumed as 0.003 and stress distribution was taken as rectangular block shape in many studies. Until recently, there was no given on the equations of stress strain relationship in the code (TS 500). In the revised Turkish Earthquake Code 2007 (TEC), the equations related the stress strain relationship for confined and unconfined concrete is given. In this study, it is investigated that confined effect on the behavior of combined effect of reinforced concrete elements by considering the equations for the stress strain relationship given in TEC. In the analyses, a computer program written in Fortran code is used.

ÖZET

Son yıllara kadar yürürlükte olan yönetmelikler incelendiğinde betonun gerilme şekil değiştirme dağılımı ile ilgili belirgin bir öneri bulunmamaktadır. TS-500-2000’de beton basınç bölgesindeki gerilme dağılımı için, geçerliliği deneysel verilerle kanıtlanmış herhangi bir dağılımın kullanılmasına imkan tanınmaktadır. Normal kuvvet ve eğilme momenti karşılıklı etki diyagramının belirlenmesi genellikle basınç bölgesindeki gerilme bloğunun dağılımının eşdeğer dikdörtgen ve betonun en büyük birim kısalması (ϵ_{cu}) 0.003 olarak alınması ile yapılmaktadır. Günümüzde yürürlükte bulunan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY’07) de, sargılı ve sargısız beton için gerilme şekil değiştirme bağıntıları verilmektedir. Bu çalışmada, DBYBHY’07 tarafından önerilen gerilme şekil değiştirme bağıntıları ve sargılı betonun en büyük beton basınç birim şekil değiştirmesi sınırları kullanılarak sarılma donatısının normal kuvvet ve eğilme momenti karşılıklı etki diyagramına olan etkisi incelenmiştir. Yapılan incelemelerde bu amaç için hazırlanmış fortran dilindeki bilgisayar programı kullanılmıştır.

GİRİŞ

Betonarme elemanların taşıma kapasitelerinin ve tasarım değerlerinin elde edilmesinde bazı kabullerin yapıldığı bilinmektedir. Bu kabullerden birisi eleman taşıma gücüne eriştiğinde en

dış lifindeki birim kısalma ϵ_{cu} ile ilgilidir. Bu değer Amerikan Şartnamesinde (ACI-318-95) 0.003 olarak kabul edilirken Avrupa Beton Komitesi örnek yönetmeliğinde (CEB) 0.002-0.0035 arasında değiştiği kabul edilmektedir. Avrupa Yönetmeliği'nde Eurocode -2 ve CEB'de verilen değerlerin benimsendiği görülmektedir. Ülkemizde yürürlükte olan TS-500-2000'de ise bu değer 0.003 olarak seçildiği görülmektedir. Betonun en büyük birim kısalması ϵ_{cu} değerine bir çok değişken etki etmektedir. Bu değişkenlerin en önemlileri yükleme hızı, kesit geometrisi ve sargılama etkisidir. Bu konuda yapılan çalışmalarda çeşitli değişkenlerin etkisi altında bu değer 0.0025 ile 0.01 arasında değiştiği görülür. Yaygın olarak tercih edilen ise alt sınıra yakın bir değer olan 0.003 değeridir [1-6].

Yapılan bir başka kabul ise basınç bölgesindeki betonun gerilme dağılımı ile ilgilidir. Taşıma gücü yönteminde bu değer kırılma anındaki dağılımdır. Normal kuvvet ve eğilme etkisi altındaki elemanların davranışlarının incelenmesinde bu dağılım dikdörtgen blok olarak kabul edilmektedir. Halbuki bu dağılımın eksenel basınç deneylerinden elde edilen σ - ϵ eğrisi gibi olduğu varsayımı son derece mantıklı gözükmemektedir [6].

Günümüzde, normal kuvvet ve eğilme momenti karşılıklı etki diyagramı, genellikle betonun en büyük birim kısalması ϵ_{cu} değeri 0.003 ve basınç bölgesindeki gerilme bloğunun dağılımı ise eşdeğer dikdörtgen dağılım kabul edilerek elde edilmektedir. Bu dağılım ile ilgili olarak TS-500-2000' de "Beton basınç bölgesindeki gerilme dağılımı için, geçerliliği deneysel verilerle kanıtlanmış herhangi bir dağılım kullanılabilir" ifadesi yer almaktadır. Son zamanlara kadar bu tanımın haricinde bir açıklama bulunmamaktaydı. Ancak, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY'07) 'de sargılı ve sargısız beton için gerilme şekil değiştirme bağıntıları yanında sargılı betonun en büyük basınç birim şekil değiştirmesi ile ilgili bağıntılar verilmektedir.

Bu çalışmada, DBYBHY'07 de verilen sargılı ve sargısız beton için gerilme şekil değiştirme bağıntıları ve sargılı betonun en büyük birim basınç şekil değiştirmesi ile ilgili bağıntılar dikkate alınarak normal kuvvet ve eğilme momenti karşılıklı etki diyagramının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada, farklı sargı durumları ve sargı durumlarına karşı gelen betonun en büyük basınç birim şekil değiştirme değerleri ile sargısız beton için elde edilen karşılıklı etki diyagramları karşılaştırılarak şekillerde verilmektedir. Yapılan çözümlemelerde beton basınç bölgesindeki gerilme dağılımının DBYBHY'07 de tanımlanan gerilme şekil değiştirme eğrisi gibi olduğu kabul edilmektedir. Yapılan çözümlemelerde bu amaç için yazılan fortran dilindeki program kullanılmıştır.

GERİLME ŞEKİL DEĞİŞTİRME BAĞINTILARI

Beton için gerilme şekil değiştirme bağıntıları

DBYBHY 2007' de sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi, sargılı betonun basınç gerilmesi f_c , basınç birim şekildeğiştirmesi ϵ_c nin fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$f_c = \frac{f_{cc} \times r}{r - 1 + x^r} \quad (1)$$

Burada normalize edilmiş beton birim şekildeğiştirmesi x ile r değişkenine ilişkin bağıntılar aşağıda verilmiştir.

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad ; \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}[1+5(\lambda_c-1)] \quad ; \quad \varepsilon_{co} \cong 0.002 \quad (2)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad ; \quad E_c \cong 5000\sqrt{f_{co}} \text{ [MPa]} \quad ; \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (3)$$

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi ε_{cu} ise aşağıda şekilde tanımlanmaktadır.

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (4)$$

Burada ρ_s toplam enine donatının hacimsel oranını (dikdörtgen kesitlerde $\rho_s = \rho_x + \rho_y$), ε_{su} enine donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim şekildeğiştirmesini göstermek üzere sargılı beton dayanımı f_{cc} ile sargısız beton dayanımı f_{co} arasındaki ilişki Denklem (5)'teki gibi elde edilebilir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad ; \quad \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (5)$$

Yapılan hesaplamalarda, f_e *etkili sargılama basıncı*, olmak üzere ve dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için aşağıda verilen değerlerin ortalaması şeklinde kullanılarak

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (6)$$

göz önüne alınmıştır. Bu bağıntılarda f_{yw} enine donatının akma dayanımını, ρ_x ve ρ_y ilgili doğrultulardaki enine donatıların hacimsel oranlarını, k_e ise aşağıda tanımlanan *sargılama etkinlik katsayısı*'ni göstermektedir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (7)$$

Bu denklemde verilen a_i kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı, b_o ve h_o göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını, s düşey doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralığı, A_s ise boyuna donatı alanını göstermektedir.

Donatı çeliği için gerilme şekil değiştirme bağıntıları

DBYBHY 2007'de, donatı çeliği için gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları aşağıda verildiği şekilde göz önüne alınmıştır:

$$\begin{aligned}
 f_s &= E_s \varepsilon_s & (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \\
 f_s &= f_{sy} & (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \\
 f_s &= f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} & (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su})
 \end{aligned} \tag{8}$$

Ayrıca donatı çeliğinin elastisite modülü $E_s = 2 \times 10^5$ MPa, S220 ve S420 kalitesindeki donatı çeliklerine ait diğer bilgiler Tablo 1’de verilen şekilde dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Donatı için kullanılan malzeme özellikleri

Kalite	f_{sy} (MPa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} (MPa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550

NORMAL KUVVET VE EĞİLME MOMENTİ ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞ

Normal kuvvet ve eğilme momenti etkisi altındaki dikdörtgen kesitlerin taşıma güçlerinin bulunmasında veya verilen bir kesitin kontrolünün yapılmasında en yaygın inceleme şekli, karşılıklı etki diyagramları yardımı ile yapılmaktadır. Karşılıklı etki diyagramları, bir kesitin taşıyabileceği eğilme momenti ve normal kuvvet çiftinin bulunarak bir eksen takımı üzerinde gösterilmesiyle bu iki etkinin karşılıklı etkileşimi elde edilir. Kesitin taşıyabileceği eğilme momenti ve normal kuvvet çiftinin elde edilmesinde en uygun yol, mümkün tüm güç tükenme durumlarının taranarak karşı gelen değerlerin hesaplanmasıdır. Bunlar, beton ve çelik için malzeme davranış eğrilerinin kabul edilmesi ve bu eğrilerin maksimum şekil değiştirme değerlerinden hareket ederek kesitin güç tükenme durumunun tanımlanmasıdır. TS 500-2000 de en büyük birim kısalma beton için 0.003, donatı için ise 0.100 değeri verilerek tanımlama yapılmış ve gerilme bloğu ile ilgili olarak deneysel verilere dayanan bir dağılımın kullanılabileceği belirtilmiştir. Bunun yanında beton için DIN1045-1 ve EC2 de parabol-dikdörtgen ve daha basitleştirilmiş olarak üçgen dikdörtgen kabulleri bulunmaktadır. ACI 318 ve TS 500-2000 de sadece dikdörtgen blok kabulünden söz edilmektedir.

Yeniden düzenlenen ve bazı bölümler eklenen DBYBHY’07 ise beton ve donatı için gerilme şekil değiştirme eğrilerinin tanımlandığı görülmektedir. Bu çalışmada, DBYBHY’07 ye eklenen bölümlerde verilen ve Denklem (1-5) ile tanımlanan bağıntılar kullanılarak beton için farklı en büyük birim kısalma değerleri kullanılarak karşılıklı etki diyagramlarının elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Betonarme bir dikdörtgen kesitte beton basınç kuvveti

$$F_c = \int \sigma dA \quad (9)$$

olmak üzere normal kuvvet ve moment değerlerinin hesaplanması aşağıda verilen bağıntılar ile elde edilebilir:

$$N_r = F_c + \sum_{i=1}^n A_{si} \sigma_{si} \quad (10)$$

$$M_r = F_c \times (x_p - x_i) + \sum_{i=1}^n A_{si} \sigma_{si} x_i \quad (11)$$

$$\varepsilon_{si} = \varepsilon_{cu} \frac{(x_p - c) - x_i}{c} \quad (12)$$

$$\sigma_{si} = \varepsilon_{si} E_s \quad (13)$$

$$\sigma_{si} = E_s \varepsilon_{cu} \left(1 + \frac{x_i - x_p}{c} \right) \quad (14)$$

$$\sigma_{si} \leq f_{yd} \quad (15)$$

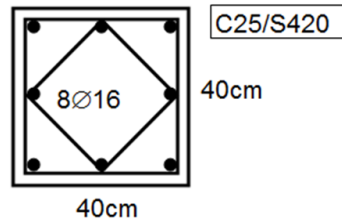
Burada ε_{cu} değeri farklı sargı durumları için 4 nolu denklemde verildiği şekliyle

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (16)$$

kullanılmaktadır.

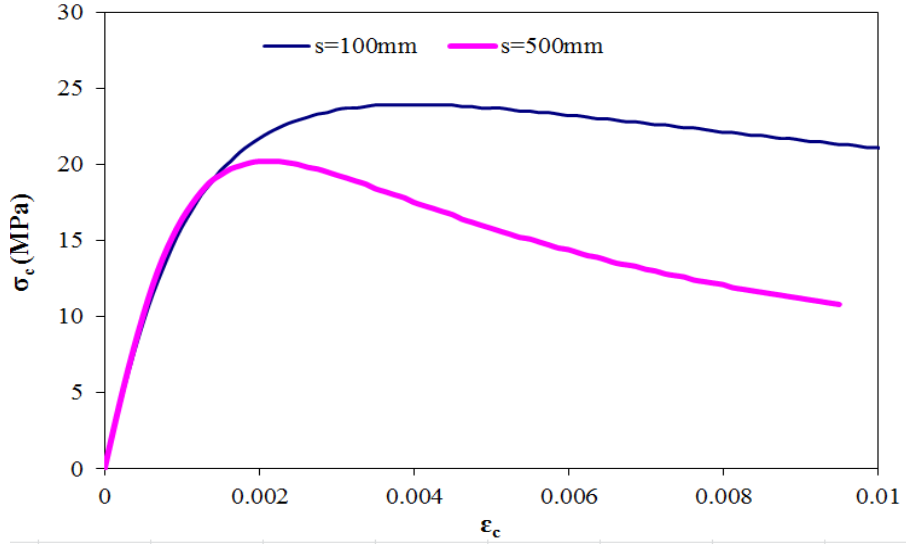
SAYISAL UYGULAMA

Normal kuvvet ve eğilme momenti etkisi altındaki elemanların davranışlarının incelenmesinde; basınç bölgesindeki betonun gerilme dağılımı genellikle dikdörtgen blok olarak kabul edilmektedir. Bu dağılımın aksel basınç deneylerinden elde edilen σ - ε eğrisi gibi olduğu varsayımı son derece uygun gözükmemektedir. Bu çalışmada yapılan hesaplarda; betonun σ - ε eğrisi için DBYBHY'07 de verilen model kullanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan kolona ait boyut ve kesit özellikleri Şekil 1'de verilmiştir.



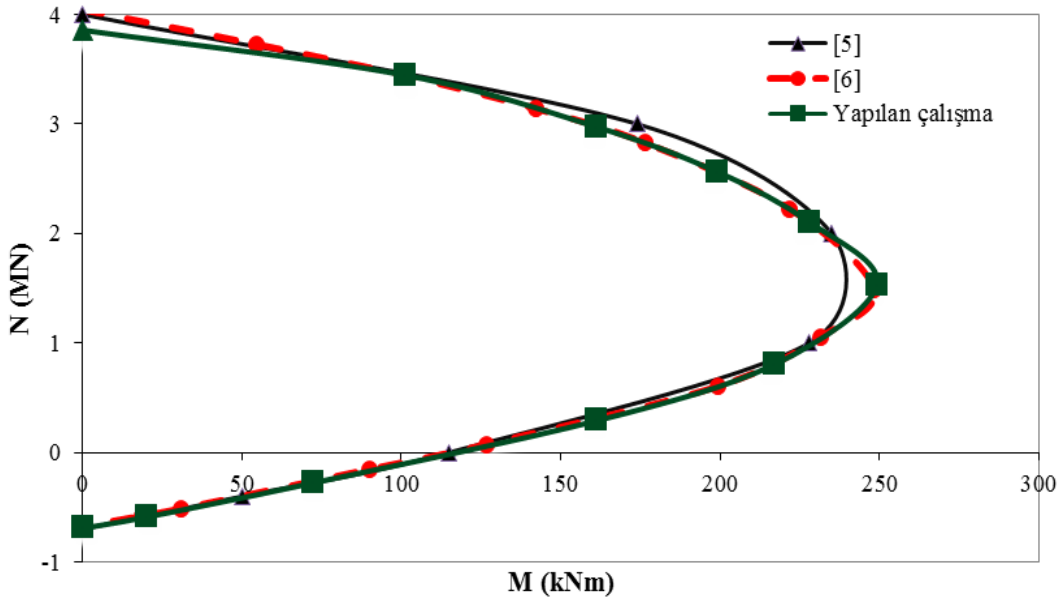
Şekil.1. Kolona ait kesit ve malzeme özellikleri

Betonun sargılı ve sargısız durumda gözönüne alınan σ - ε eğrisi Şekil 2' de verilmiştir. Burada sargı donatısı aralığı sargılı durumda 100 mm olarak alınırken sargısız durumda bu değer 500 mm olarak kabul edilmiştir



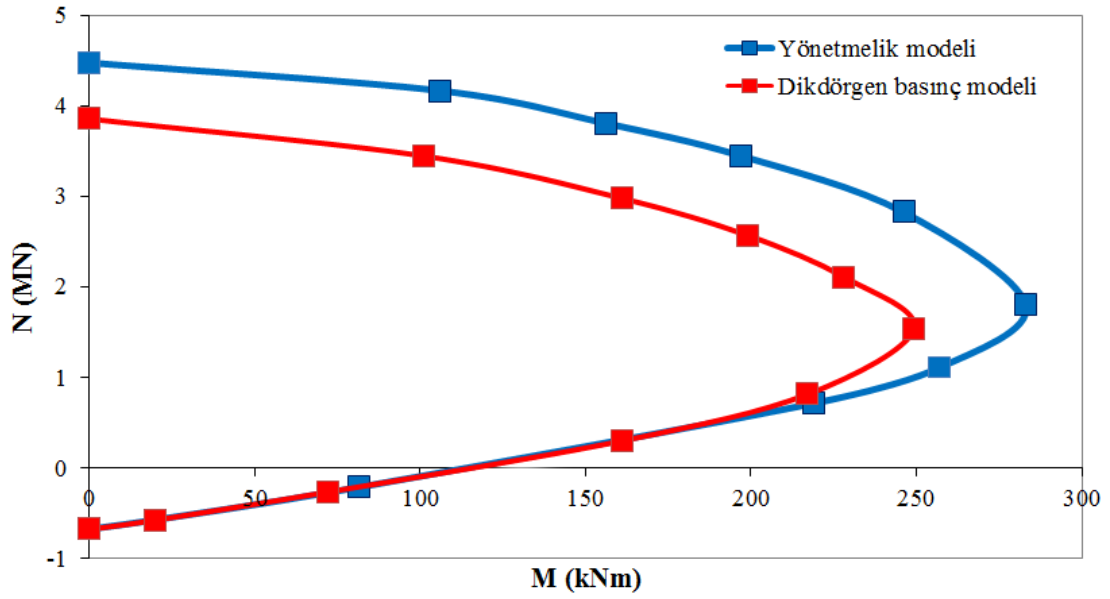
Şekil.2 Sargılı ve sargısız betonun gerilme şekil değiştirme ilişkisi

Beton basınç bloğundaki gerilme dağılımının; DBYBHY'07 deki modellerle tanımlanması ve dikdörtgen olması durumları için elde edilen normal kuvvet moment ilişkisi literatürdeki sonuçlarla karşılaştırmalı olarak Şekil 3'de verilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi beton basınç bloğu dikdörtgen kabul edildiğinde elde edilen sonuçların literatürdeki sonuçlarla oldukça benzerlik gösterdiği görülmektedir.



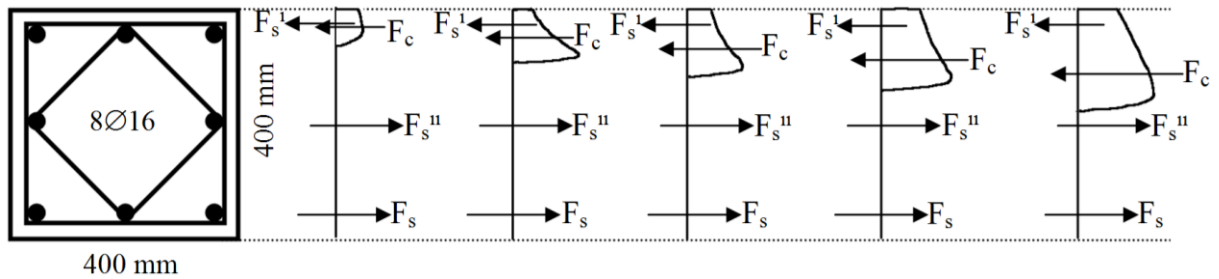
Şekil 3. Literatürdeki modellerle yapılan çalışmanın karşılaştırılması

Yönetmelikte tanımlanan gerilme dağılımı kullanıldığında ise kolona ait kapasite değerlerinin literatürdeki basitleştirilmiş modellere göre belirgin bir artış gösterdiği Şekil 4' de göze çarpmaktadır.

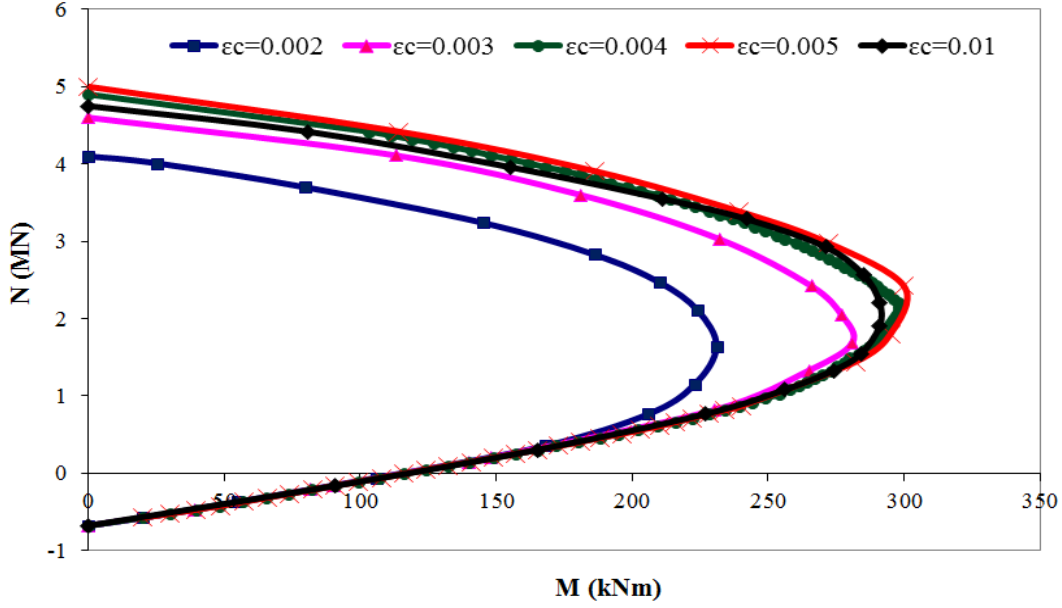


Şekil 4. Yönetmelik verilen σ - ε dağılımı ve dikdörtgen basınç bloğu dağılımına ait N-M ilişkisi

Sargılamanın betonun en büyük birim şekil değiştirme değerini artırdığı bilinmektedir. Beton basınç bloğu yönetmelikte öngörülen model kullanılarak ve beton en büyük birim şekil değiştirmesi değeri $\varepsilon_c = 0,002-0,01$ arasında alınarak elde edilen kesite ait kuvvet dengesi Şekil 5'te, normal kuvvet moment ilişkisi ise Şekil 6'da verilmiştir. Bu şekilden de görülebileceği gibi betonun birim kısalması $\varepsilon_c = 0,002$ kabul edildiğinde en küçük normal kuvvet moment kapasite değerleri elde edilmektedir. Beton birim kısalması arttığında normal kuvvet moment ilişkisi değerleri de artmaktadır. Ancak $\varepsilon_c = 0,01$ değerinden bu artış çok daha sınırlı olmaktadır.



Şekil 5. Betonun farklı en büyük birim şekil değiştirme değerleri için elde edilen kuvvet dengesi



Şekil 6. Farklı beton şekil değıştirmesi değerlerine ait N-M ilişkisi

SONUÇLAR

Normal kuvvet ve eğilme momenti karşılıklı etki diyagramı, genellikle betonun en büyük birim kısalması değeri (ϵ_{cu}) 0.003 ve basınç bölgesindeki gerilme bloğu dağılımının eşdeğer dikdörtgen olduğu kabulü ile elde edilmektedir. Sargılama durumunun betonun en büyük birim kısalmasına etki ettiği bilinmektedir.

Bu çalışmada gerilme bloğu dağılımı için yönetmelikte verilen gerilme şekil değıştirme ilişkisi kullanılmıştır. Bunun yanında en büyük birim kısalma değeri için sargılama durumu göz önüne alınarak dikdörtgen kolon kesitlerindeki normal kuvvet-eğilme momenti etkisindeki davranışları ele alınmıştır.

Yapılan çalışmada, seçilen bir kolon kesitine ait farklı sargılama durumları için N-M diyagramları elde edilmiştir. Sargılama etkisine bağlı olarak değışen betonun birim kısalması değeri arttığında kolon elemana ait normal kuvvet ve moment kapasite değeri de artış göstermektedir. Betonun birim kısalması 0.01 değeriye yaklaştığında ise bu artış çok daha sınırlı olmakta ve davranış tersine olarak ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] ACI 318-M 05. Building Code Requirements for Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit 2005.
- [2] Eurocode 2: Design of Concrete Structures, 1993.
- [3] TS 500: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [4] *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik* 2007, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [5] Celep, Z. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul, 2013.
- [6] Ersoy, U., Özcebe, G. Betonarme, Sistem Matbaacılık, İstanbul, 2004.

- [7] CEB/FIB Manual on Bending and Compression, Comite Euro-International du Beton, Bull. No.141, 1982.
- [8] DIN 1045-1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion, 2005.
- [9] Celep, Z. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme Beta Dağıtım, İstanbul, 2013.