

BETONARME BİR ELEMANDA EĞRİLİK SÜNEKLİĞİNİN İNCELENMESİ

Semih KIRACI¹, Recep Tuğrul ERDEM², Muhiddin BAĞCI^{3*}

^{1,2,3}Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, TÜRKİYE

Özet: Bu çalışmada, betonarme bir elemanın eğrilik sünekliği ve sünekliği etkileyen faktörlerin araştırılması amaçlanmıştır. Bu sebeple sargılı ve sargısız beton modelleri literatürdeki çalışmalardan alınarak ayrı ayrı incelenmiştir. Ayrıca sargı etkisini etkileyen faktörler de dikkate alınmıştır. Betonarme kesitlerdeki sünekliği incelemek üzere SEMAp programından yararlanılmıştır. SEMAp programında 51 adet numunenin, değişik parametreler etkisinde, moment-eğrilik diyagramlarından yararlanarak süneklik değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar yardımıyla, SAS programından yararlanarak bir süneklik denklemi elde edilmiştir. Örneklerde yapılan değişikliklerin sünekliğe etkileri sonuç bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir. Ayrıca yapılan kontroller sonucunda elde edilen denklemin kullanılabilir olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar sözcükler: Moment-eğrilik, Sargılı ve sargısız beton modelleri, Süneklik, Süneklik denklemi

EVALUATION of CURVATURE DUCTILITY on a REINFORCED CONCRETE MEMBER

Abstract: In this study, investigation of curvature ductility of a reinforced concrete member and the factors which effect the ductility are purposed. Therefore, confined and unconfined concrete models are taken from studies in the literature and analysed one by one. Furthermore, the factors that effect the confinement behavior are also taken into consideration. An analysis program named SEMAp is used to investigate the ductility on reinforced concrete sections. Ductility values of 51 different specimen which are under the sway of different parameters are calculated by using moment-curvature diagrams by SEMAp analysis program. A new equation has been improved by using SAS statistic program with the help of the obtained results. At the last part of the study, effects of different parameters on ductility, are given with details. Moreover, it is detected that, the equation which is obtained after several verifications, gives acceptable results.

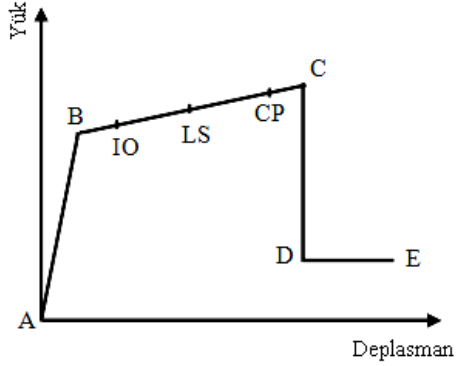
Keywords: Moment-curvature, Confined and unconfined concrete models, Ductility, Equation of ductility

*Sorumlu yazar

muhiddin.bageci@bayar.edu.tr

1. GİRİŞ

Kesitlerin lineer olmayan davranışını dikkate alarak yapılacak çözümler statik ve dinamik lineer olmayan çözümler olmak üzere ikiye ayrılır. Her ikisinde de kesitin lineer olmayan davranışını ifade etmek üzere Şekil 1'deki yük-deplasman eğrileri kullanılır. Yük-deplasman eğrisinin karakteristik köşeleri olan A-B-C-D-E noktalarının tanımları kesitin geometrik özelliklerine, malzeme tanımına ve yükleme koşullarına göre değişir.



Şekil 1. Yük-Deplasman Eğrisi

Bu çalışmada yük-deplasman eğrisi, betonarme kesitin dönme kapasitesi için incelenmiş ve eğrinin A-B-C-D-E köşelerinin bulunmasında etkili olan karakteristik değişkenlerin bulunması için malzeme modeli (sargı donatısı etkisi), yükleme durumu ve kesitin geometrik özelliklerinin değişimi takip edilerek geniş kapsamlı bir parametrik çalışma yapılmıştır.

2. MATERYAL ve METOD

Sargılı ve sargısız beton modelleri ve bunların yapı davranışı, süneklik gibi durumlara etkileri ile ilgili literatürde değişik çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan sargısız beton modeliyle ilgili olarak Hognestad ve Mander, literatürde sıklıkla karşımıza çıkmaktadır [1-4]. Geliştirilmiş Hognestad Modeli'nde, eğri artan kısmında bir parabol ve azalan kısmında ise 0.0038

nihai birim şekil değiştirme değerinde sonlanan bir doğrudan oluşmaktadır. Mander'in Sargılı Beton Modeli'nde, sargı gerilme değeri sıfır alınırsa sargısız beton modeli olarak kullanılır. Sargılı beton dayanımı ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Sargı etkisinin betonarme eleman davranışına etkisi üzerine araştırmalar 1903 yılına dek uzanmaktadır. 1903 yılında Considere, spiral enine donatılı betonarme kolonlarda sargı etkisi üzerine bir araştırma yayınlamıştır [5]. 1928 yılında Richart vd. hidrolik basınç altında donatısız beton silindirleri aksel yük altında göçme noktasına kadar yükleyerek bir dizi test yapmıştır [6]. Kullanılan numunelerin beton dayanımı 25.2 MPa'dır. Daha sonra çalışmalarını spiral donatılı numuneler kullanarak genişletmişlerdir.

2.1 Beton Modelleri Hakkında Genel Bilgi

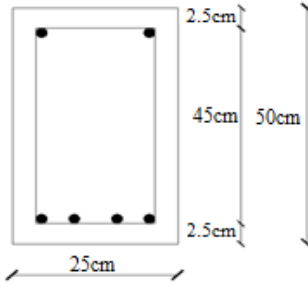
Beton, basınca dayanıklı olması ve kolay şekil verilebilmesi nedeniyle oldukça yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Basınca karşı bu mukavemeti yanında, yeterli sünekliği sağlamaktan uzaktır. Bu nedenle beton elemanlarının sargılanması gereklidir. Ülkemizde ve dünyada uygulanan en yaygın sargılama şekli, belirli aralıkta enine donatılar ile beton çekirdeğinin sarılmasıdır. Ayrıca her betonarme elemanda kullanılan donatının korunması amacıyla, belirli bir beton örtüsü (pas payı) bulunmaktadır.

2.2 Sargısız Beton Modelleri

Sargılı beton davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için, öncelikle sargısız beton davranışının bilinmesi faydalı olacaktır. Sargısız betonun nihai birim kısalma değeri, betonarme elemanlarda yeterli süneklik düzeyine erişilmesine imkân vermeyecek kadar düşüktür. Literatürde sıklıkla kullanılan sargısız beton modelleri Geliştirilmiş Hognestad Modeli ve Mander Modeli'dir.

2.3 Sargılı Beton Modelleri

Sargılı betonun dayanım ve özellikle de süneklik açısından sargılanmamış betondan çok üstün olduğu birçok çalışma ile ispatlanmıştır [7-11]. Sargılama beton çekirdeğine dayanım ve sünekliğin artırılması amacıyla yanal basınç uygulanmasının sağlanması olayıdır. Uygulanan bu yanal basınç ile çekirdek betonunda çatlakların gelişimi ve ilerlemesinde iyileşmeler sağlanarak daha sünek bir davranış elde edilebilir. Sargı etkisini etkileyen faktörler; enine donatı miktarı, enine donatı çapı, enine donatı özellikleri, enine donatı konfigürasyonu, boyuna donatı konfigürasyonu, beton dayanımı ve eksenel yük düzeyidir.



Şekil 2. Betonarme Kiriş Kesiti

3.1 Değişkenlerin İncelenmesi

Bu bölümde sünekliğe etki eden parametreler incelenmiş ve tablolarla verilmiştir.

3.1.1 Beton Basınç Dayanımının Etkisi

Sünekliğe etki eden beton basınç dayanımı

Sargılı beton modelleri Geliştirilmiş Kent&Park Modeli, Mander Sargılı Beton Modeli, Saatçioğlu&Razvi Modeli ve Donatı Modelidir [12,13].

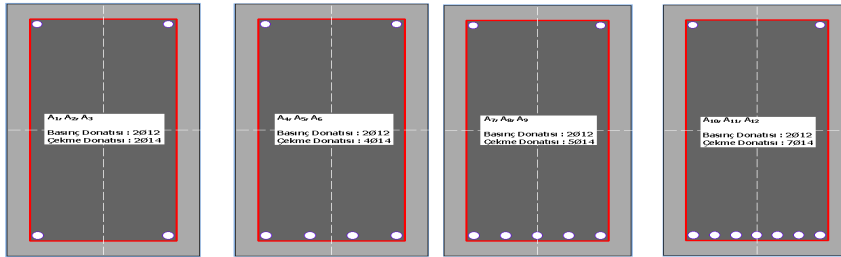
3. BULGULAR

Tasarım değişkenlerinin incelenmesi için ele alınan kiriş kesiti Şekil 2'de görüldüğü gibi 25x50 cm boyutlarındadır. Beton basınç dayanımı, çekme donatısı akma dayanımı, çekme donatısı oranı, basınç donatısı oranı, etriye oranı ve sıklığı, etriye donatısı akma dayanımının sünekliğe olan etkisi araştırılacaktır. Bu değişkenler, SEMAp (Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı) programı kullanılarak incelenecektir [14].

birlikte ele alınan ikinci değişken, kirişin çekme donatısı oranıdır. Bu amaçla Şekil 3'te verilen 12 adet örnek (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12) ele alınmıştır. Beton basınç dayanımının ve kiriş çekme donatısı oranının örneklere göre değişimi Tablo 1'de gösterilmiştir.

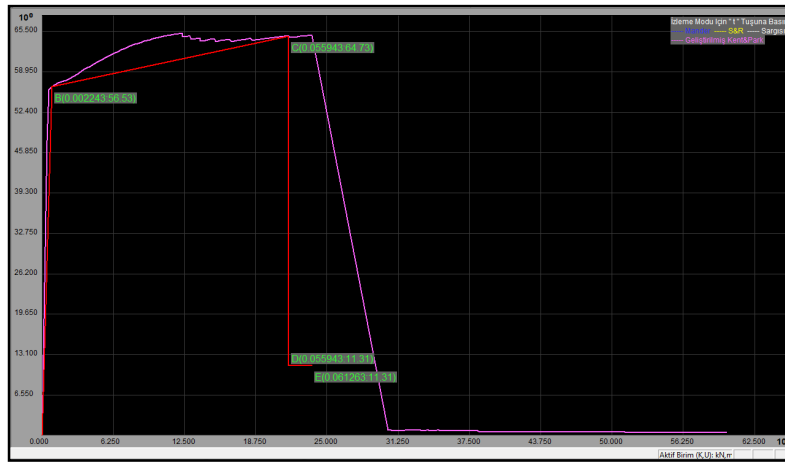
Tablo 1. Sünekliğe Beton Basınç Dayanımının Etkisi								
Eleman	f_c (kg/cm ²)	ρ_s	f_y (kg/cm ²)	Basınç Donatısı	Etriye	B noktası x koordinatı (u_y)	C noktası x koordinatı (u_{max})	Süneklik
A1	300	0.0026	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002193	0.056147	25.60
A2	200	0.0026	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002243	0.055943	24.94
A3	160	0.0026	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002361	0.056140	23.78
A4	300	0.0052	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002410	0.042642	17.69
A5	200	0.0052	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002120	0.034893	16.46
A6	160	0.0052	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002133	0.032751	15.35

A7	300	0.0065	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002333	0.032520	13.94
A8	200	0.0065	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002286	0.026405	11.55
A9	160	0.0065	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002192	0.024766	11.30
A10	300	0.0090	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002305	0.022064	9.57
A11	200	0.0090	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002336	0.017894	7.66
A12	160	0.0090	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002334	0.016707	7.16



Şekil 3. A1-A2-A3, A4-A5-A6, A7-A8-A9, A10-A11-A12 Kesitleri

A2 örneğinin verileri SEMAp programına girildikten sonra Şekil 4'teki grafik elde edilir.



Şekil 4. A2 Örneğine Ait Moment-Eğrilik Grafiği

Grafikte moment-dönme ve moment-eğrilik arasındaki geçiş görülebilmektedir. B noktası, çekme donatısının aktığı andaki eğriliği göstermektedir. C noktası ise kırılma anındaki eğriliği göstermektedir. Parantez içindeki koordinatlar ise doğrularla birleştirilen mafsal tanımlanmasında kullanılan noktaların (dönme:moment) cinsinden koordinatlarını gösterir.

Betonarme kesitlerin süneklik düzeyi, "Eğrilik süneklik katsayısı" ile tanımlanır. Eğrilik süneklik katsayısı, kırılma anındaki

eğriliğin (veya dayanımın %15 düştüğü noktaya karşı gelen eğriliğin), çekme donatısının aktığı andaki eğriliğe oranı olarak tanımlanır.

$$\mu = \frac{u_{\max}}{u_y} \quad (1)$$

Burada,

μ = Eğrilik süneklik katsayısı,

u_y = Akma anındaki eğrilik,

u_{\max} = Kırılma anındaki eğriliğdir.

Buna göre, kırılma anındaki C (0.055943:64.73) noktası ile akma anındaki B (0.002243:56.53) noktasının x koordinatları oranı sünekliği verir:

$$\mu = \frac{u_{\max}}{u_y} = \frac{0.055943}{0.002243} = 24.94 \text{ olur (Tablo 1).}$$

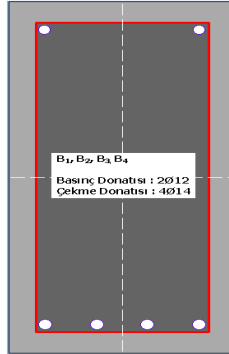
Diğer örneklere ait süneklik hesapları Tablo 1’de verilmiştir. Beton basınç dayanımı, çekme donatısının düşük olduğu durumlarda etkili bir parametre değildir. Beton basınç dayanımındaki %30’luk bir değişim kirişin maksimum moment kapasitesinde %3’lük bir

değişime neden olmuştur. Bunun nedeni çekme donatısı oranının düşük olması ve yine değişime çekme donatısının davranış üzerinde etkin olmasıdır.

3.1.2 Çekme Donatısı Akma Dayanımının Etkisi

Şekil 5’deki kesitler için kiriş çekme donatısı akma dayanımının, süneklik üzerine etkisi incelenmiş değerler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Sünekliğe Çekme Donatısı Akma Dayanımının Etkisi								
Eleman	f_y (kg/cm ²)	f_c (kg/cm ²)	Basınç Donatısı	ρ_s	Etriye	B noktası x koordinatı (u_y)	C noktası x koordinatı (u_{\max})	Süneklik
B1	4200	200	2Ø12	0.0052	Ø8/20	0.002120	0.034893	16.46
B2	3600	200	2Ø12	0.0052	Ø8/20	0.001825	0.032211	17.65
B3	3000	200	2Ø12	0.0052	Ø8/20	0.001522	0.027784	18.25
B4	2200	200	2Ø12	0.0052	Ø8/20	0.001549	0.028717	18.54



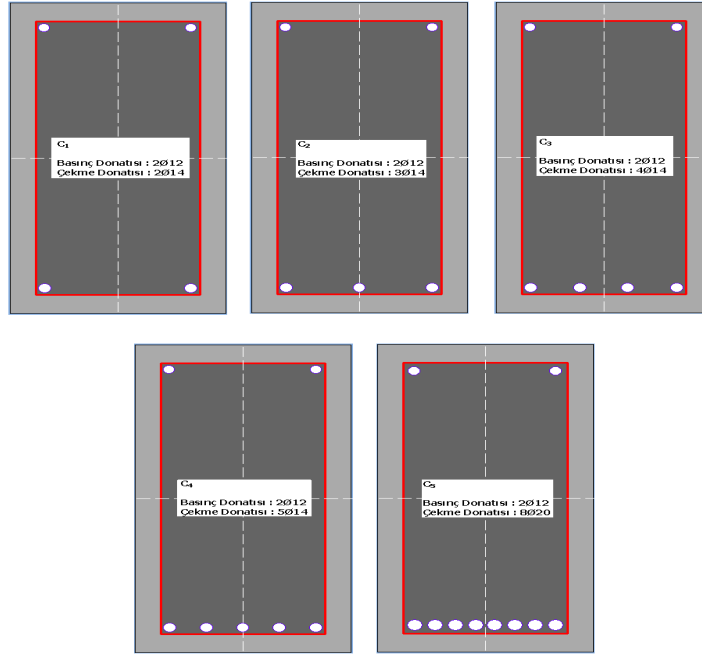
Şekil 5. B1, B2, B3, B4 Kesitleri

Donatı akma dayanımı kiriş davranışını doğrudan etkilemektedir. Örnek olarak donatı akma dayanımındaki %30’luk bir değişim, kirişin eğilme dayanımında da %30’luk bir değişime neden olmaktadır. Ayrıca çekme donatısı akma dayanımının düşük olduğu durumda duktilitenin arttığı da gözlenmektedir.

3.1.3 Çekme Donatısı Oranının Etkisi

Çekme donatısı oranını incelemek üzere Şekil 6’daki beş adet örnek verilmiştir (C1, C2, C3, C4, C5). Bunun için beton basınç dayanımı, çekme donatısı akma dayanımı, basınç donatısı ve etriye sabit tutulup, sadece çekme donatısı oranı değiştirilecektir.

Tablo 3. Süneklığe Çekme Donatısı Oranının Etkisi								
Eleman	ρ_s	f_c (kg/cm ²)	f_y (kg/cm ²)	Basınç Donatısı	Etriye	B noktası x koordinatı (u_v)	C noktası x koordinatı (u_{max})	Süneklilik
C1	0.0026	200	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002361	0.056140	23.78
C2	0.0039	200	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002392	0.051264	21.43
C3	0.0052	200	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002120	0.034893	16.46
C4	0.0065	200	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002286	0.026405	11.55
C5	0.0200	200	4200	2Ø12	Ø8/20	0.002708	0.006970	2.57



Şekil 6. C1, C2, C3, C4, C5 Kesitleri

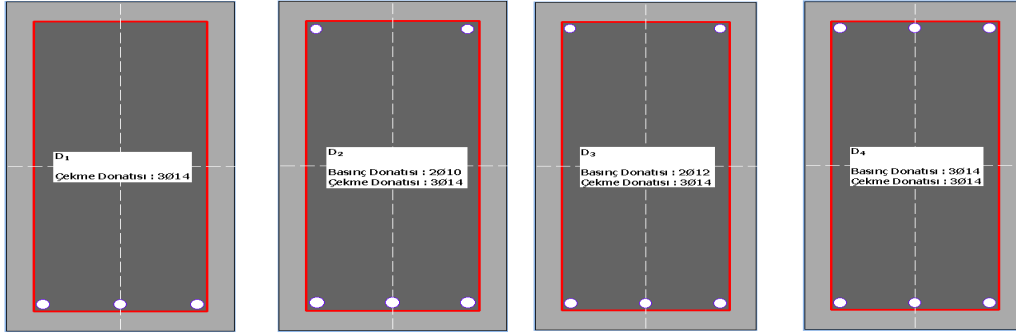
Çekme donatısı oranı, kirişin sünekliliği üzerinde etkilidir. Tablo 3'ten de görüleceği üzere donatı oranındaki %30'luk bir değişim, kirişin eğilme momenti kapasitesinde de %30'luk bir değişime neden olmaktadır.

3.1.4 Basınç Donatısı Oranının Etkisi

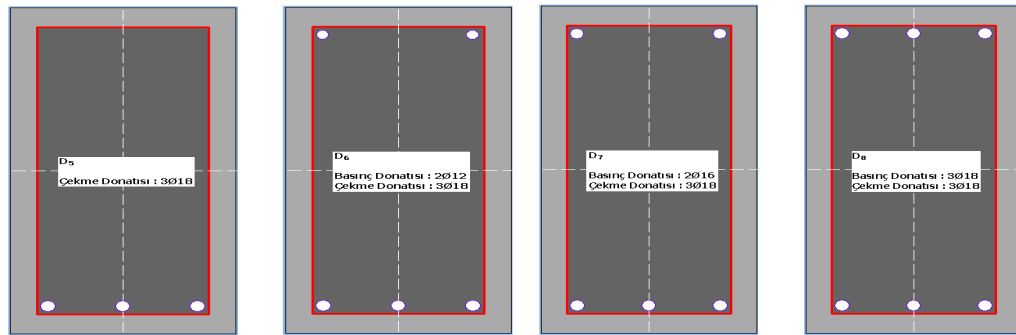
Afet bölgelerindeki yapılarda yönetmelik kiriş mesnedinde alt donatının, aynı mesnedin üst donatısının %50'sinden az

olamayacağını belirtmektedir. Bu şartın sebebi, basınç donatısının, kesitin düktilitesine olumlu etkisinden kaynaklanmaktadır. Kirişte basınç donatısı oranının etkisini incelemek için ρ_s/ρ_s oranı 0, 0.3, 0.5 ve 1 olan dört adet değişik örnek çekme donatısının üç değişik oranı için incelenmiş ve Şekil 7-9 'da verilen 12 adet betonarme kesit için elde edilen eğrilik sünekliliği değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

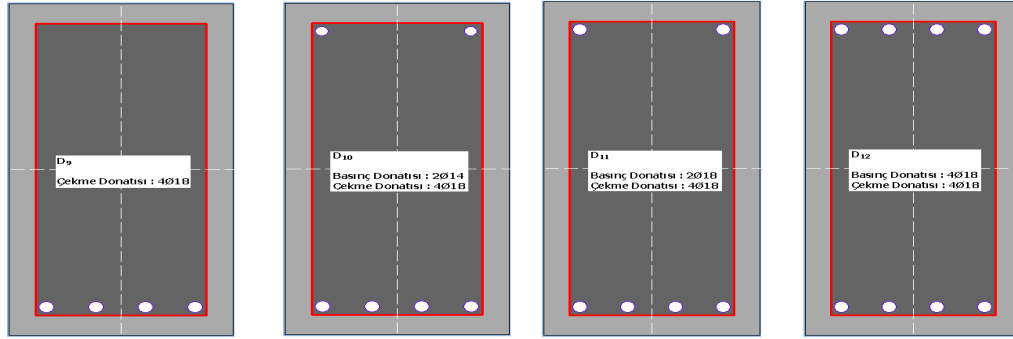
Tablo 4. Süneklige Basıncı Donatısı Oranının Etkisi								
Eleman	ρ_s' / ρ_s	ρ_s	f_c (kg/cm ²)	f_y (kg/cm ²)	Etriye	B noktası x koordinatı (u _y)	C noktası x koordinatı (u _{max})	Süneklik
D1	0.0	0.0039	300	4200	Ø8/20	0.002373	0.039153	16.50
D2	0.3	0.0039	200	4200	Ø8/20	0.002301	0.043470	18.89
D3	0.5	0.0039	160	4200	Ø8/20	0.002114	0.048596	22.99
D4	1.0	0.0039	300	4200	Ø8/20	0.002170	0.056061	25.83
D5	0.0	0.0065	200	4200	Ø8/20	0.002061	0.019850	9.63
D6	0.3	0.0065	160	4200	Ø8/20	0.002206	0.025073	11.37
D7	0.5	0.0065	300	4200	Ø8/20	0.002041	0.043218	21.17
D8	1.0	0.0065	200	4200	Ø8/20	0.002133	0.057015	26.73
D9	0.0	0.0086	160	4200	Ø8/20	0.002375	0.014304	6.02
D10	0.3	0.0086	300	4200	Ø8/20	0.002137	0.025806	12.08
D11	0.5	0.0086	200	4200	Ø8/20	0.002204	0.026857	12.19
D12	1.0	0.0086	160	4200	Ø8/20	0.002080	0.057154	27.48



Şekil 7. D1, D2, D3, D4 Kesitleri



Şekil 8. D5, D6, D7, D8 Kesitleri



Şekil 9. D9, D10, D11, D12 Kesitleri

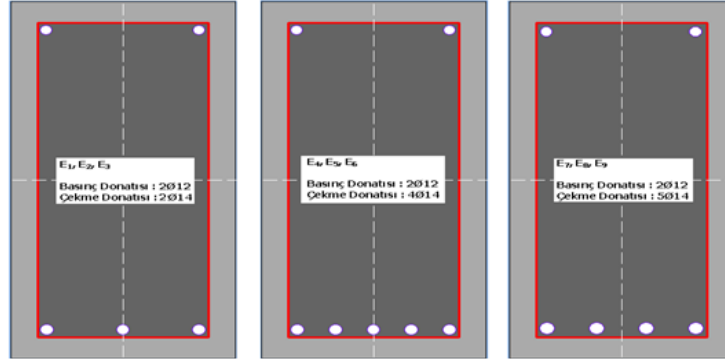
Çekme donatısı oranının düşük olduğu durumlarda, basınç donatısı oranının kirişin maksimum moment kapasitesi üzerinde etkisi pek önemli değilken, kiriş duktilitesi üzerinde olumlu etkisi gözlenmektedir. Bunun nedeni, basınç donatısında akma veya pekleşme olayları gerçekleşmeden, hem çekme donatısında akma ve pekleşme, hem de kabuk ve göbek betonunda ezilme olmaktadır. Çekme donatısı oranının yüksek olduğu durumda, basınç donatısı miktarındaki artışın kiriş moment kapasitesi

ve duktilite üzerindeki olumlu etkisi daha açık gözlenmektedir.

3.1.5 Etriye Oranının Etkisi

Kiriş etriye miktarının eğilme kapasitesine etkisi, kirişin çekme donatısı ile birlikte incelenmiş ve Şekil 10'da gösterilen dokuz adet örnek çözülmüştür (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8 ve E9). İncelenen örneklerin eğrilik sünekliği değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Sünekliğe Etriye Oranının Etkisi								
Eleman	Etriye	ρ_s	f_c (kg/cm ²)	f_y (kg/cm ²)	Basınç Donatısı	B noktası x koordinatı (u_y)	C noktası x koordinatı (u_{max})	Süneklik
E1	Ø8/20	0.0026	300	4200	2Ø12	0.002573	0.056922	22.12
E2	Ø10/20	0.0026	200	4200	2Ø12	0.002445	0.049852	20.39
E3	Ø12/20	0.0026	160	4200	2Ø12	0.002584	0.047593	18.42
E4	Ø8/20	0.0052	300	4200	2Ø12	0.002333	0.032520	13.94
E5	Ø10/20	0.0052	200	4200	2Ø12	0.002182	0.026042	11.93
E6	Ø12/20	0.0052	160	4200	2Ø12	0.002404	0.024441	10.17
E7	Ø8/20	0.0065	300	4200	2Ø12	0.002083	0.023496	11.28
E8	Ø10/20	0.0065	200	4200	2Ø12	0.002261	0.018738	8.29
E9	Ø12/20	0.0065	160	4200	2Ø12	0.002546	0.017763	6.98



Şekil 10. E1-E2-E3, E4-E5-E6, E7-E8-E9 Kesitleri

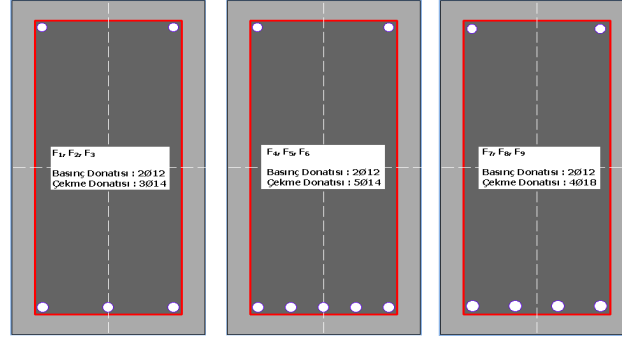
Kiriş çekme donatı oranının düşük olduğu durumda, etriye miktarı kirişin eğilme davranışına çok tesir etmemektedir. Bunun nedeni, kirişte eğilme tesiri altında etriye etkili olmadan, kiriş çekme donatısının kopması olarak düşünülebilir. Çekme donatısı miktarının artması durumunda ise, etriye miktarının eğilme davranışı üzerindeki etkisi gözlenmektedir. Ayrıca beton kabuğunun ezilmesinden sonra (moment-eğrilik grafiğinde hızlı inişin başladığı nokta)

etriye miktarının davranış üzerindeki tesirinin önemli bir duruma geldiği de görülmektedir.

3.1.6 Etriye Sıklığının Etkisi

Kirişlerde etriye sıklığının eğilme davranışına tesirini incelemek amacı ile Şekil 11'deki 9 adet örnek (F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9) ele alınmıştır. Elde edilen eğrilik sünekliği değerleri Tablo 6'da gösterilmektedir.

Tablo 6. Sünekliğe Etriye Sıklığının Etkisi								
Eleman	Etriye	ρ_s	f_c (kg/cm ²)	f_y (kg/cm ²)	Basınç Donatısı	B noktası x koordinatı (u_v)	C noktası x koordinatı (u_{max})	Süneklik
F1	Ø8/10	0.0039	300	4200	2Ø12	0.002266	0.055226	24.37
F2	Ø8/20	0.0039	200	4200	2Ø12	0.002392	0.051264	21.43
F3	Ø8/15	0.0039	160	4200	2Ø12	0.002413	0.057019	23.63
F4	Ø8/10	0.0065	300	4200	2Ø12	0.002841	0.054813	19.29
F5	Ø8/20	0.0065	200	4200	2Ø12	0.002286	0.026405	11.55
F6	Ø8/15	0.0065	160	4200	2Ø12	0.002286	0.029048	12.71
F7	Ø8/10	0.0086	300	4200	2Ø12	0.002175	0.040036	18.41
F8	Ø8/20	0.0086	200	4200	2Ø12	0.002459	0.021080	8.57
F9	Ø8/15	0.0086	160	4200	2Ø12	0.002206	0.019051	8.64



Şekil 11. F1-F2-F3, F4-F5-F6, F7-F8-F9 Kesitleri

Etriye oranının etkisine benzer şekilde, kirişte etriye sıklığı da çekme donatısının düşük olduğu durumda davranış üzerinde çok etkili değildir. Etriye sıklığının kiriş eğilme davranışı üzerindeki tesiri, çekme donatısı oranının yüksek olduğu durumlarda rahatlıkla gözlenebilmektedir.

3.2 SAS Programında Süneklik Hesabı

SAS sistemi, veri girişi, veri yönetimi, veri esnek bilgi ulaştırma sistemidir. Analizi ve analizi ve veri sunumu sağlayan kapsamlı ve

veri sunumu sağlayan kapsamlı ve esnek bilgi ulaştırma sistemidir. Süneklik denklemi elde etmek için, bu programdan yararlanılmıştır. 33 adet örneğin, veri giriş değerleri beton basınç dayanımları (f_c), çekme donatısı akma dayanımları (f_y), çekme donatısı oranları (p_s), basınç donatısı oranları (b_s) ve hesaplamalar sonucu bulunan süneklik değerleri (slik), Şekil 12’de gösterildiği gibidir.

fc	fy	ps	bs	slik
200	4200	0.0039	0.0019	21.43
200	4200	0.0052	0.0019	16.46
200	4200	0.0065	0.0019	11.55
200	4200	0.02	0.0019	2.57
300	4200	0.0039	0	16.5
200	4200	0.0039	0.3	18.89
160	4200	0.0039	0.5	22.99
300	4200	0.0039	1	25.83
200	4200	0.0065	0	9.63
160	4200	0.0065	0.3	11.37
300	4200	0.0065	0.5	21.17
200	4200	0.0065	1	26.73
160	4200	0.0086	0	6.02
300	4200	0.0086	0.3	12.08
200	4200	0.0086	0.5	12.19
160	4200	0.0086	1	27.48
300	4200	0.0026	0.0019	24.94
200	4200	0.0026	0.0019	23.78
160	4200	0.0026	0.0019	25.6
300	4200	0.0052	0.0019	17.69
200	4200	0.0052	0.0019	16.46
160	4200	0.0052	0.0019	15.35
300	4200	0.0065	0.0019	13.94
200	4200	0.0065	0.0019	11.55
160	4200	0.0065	0.0019	11.3
300	4200	0.0087	0.0019	9.57
200	4200	0.0087	0.0019	7.66
160	4200	0.0087	0.0019	7.16
200	4200	0.0052	0.0019	16.46
200	3600	0.0052	0.0019	17.65
200	3000	0.0052	0.0019	18.54
200	2200	0.0052	0.0019	18.25
200	4200	0.0026	0.0019	23.78

Şekil 12. SAS Programında Veri Girişi

Bu veriler girildikten sonra yapılan analiz sonucunda ve hata olup olmadığı kontrol edilmektedir. Şekil 13'te de görüldüğü üzere, herhangi bir hata mesajı bulunmamaktadır.

```
NOTE: The data set WORK.SUNEKLIK has 33 observations and 5 variables.
NOTE: DATA statement used
      real time      0.11 seconds
      cpu time       0.01 seconds

38 ;
39
40 proc plot data=suneklik hpcet=75 vpct=75;
41 plot slik*(fc fy ps bs)=o;

NOTE: There were 33 observations read from the data set WORK.SUNEKLIK.
NOTE: PROCEDURE PLOT used:
      real time      0.04 seconds
      cpu time       0.00 seconds

42 proc reg data=suneklik;
43 model slik=fc fy ps bs/selection=stepwise slstay=0.15 r vif;
44 run;

NOTE: 33 observations read.
NOTE: 33 observations used in computations.
```

Şekil 13. Analiz Hata Sonuçları

Dolayısıyla analiz sonuçları elde edilmektedir. Süneklik denklemini oluşturabilmek için kullanılacak değerler Şekil 14'te görülmektedir.

Model: MODEL1
Dependent Variable: slik

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	2	996.92425	498.46212	38.15	<.0001
Error	30	392.00778	13.06693		
Corrected Total	32	1388.93202			

Root MSE 3.61482 E-Square 0.7178
Dependent Mean 16.44152 Adj R-Sq 0.6388
Coef Var 21.96593

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t	Variance Inflation
Intercept	1	23.62259	1.43291	16.49	<.0001	0
ps	1	-1445.82229	202.38583	-7.14	<.0001	1.00067
bs	1	10.66667	2.04608	5.21	<.0001	1.00067

Şekil 14. Analiz Sonuçları

Parameter Estimates kısmındaki değerlere göre,
Intercept (Sabit değer): 23.62
p_s (Çekme donatısı oranı) katsayısı: -1445.82
b_s (Basınç donatısı oranı) katsayısı: 10.66

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Betonarme elemanların tasarımını yapan kişiler için, davranışın bilinmesi ve bu davranışı etkileyen parametrelerin etkisinin anlaşılması son derece önemlidir. Betonarme elemanın davranışı genel olarak moment-eğrilik ilişkisinden izlenebilir. Betonarme elemanların kesitlerinin, moment-eğrilik ilişkileri gerçekçi malzeme modellerine dayanan bilgisayar programları ile elde edilebilir. Geliştirilen analitik yöntemin geçerliliği deneysel sonuçlarla

Bu sonuçlara göre süneklik denklemini elde edilmiştir.
Süneklik = 23.62+10.66(b_s)-1445.82(p_s)

karşılaştırılarak ispatlanmalıdır. Yapılan irdelemeler ışığında basit eğilme etkisindeki kirişlerin davranışı için şu sonuçlara ulaşılabılır.

Çekme donatısı oranı ve çekme donatısı akma dayanımı, kiriş eğilme davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ancak bu parametreler, eğilme rijitliği üzerinde etkili değildirler. Beton basınç dayanımının ise, eğilme davranışı üzerinde olumlu bir etkisi yoktur.

Çekme donatısı oranının düşük olduğu durumlarda, basınç donatısı oranının, kirişin maksimum moment kapasitesi üzerinde etkisi pek önemli değilken, kirişin duktilitesi üzerinde olumlu etkisi gözlenmektedir. Çekme donatısı oranının yüksek olduğu durumda, basınç donatısı miktarındaki artışın kirişin moment kapasitesi ve duktilite üzerinde olumlu etkisi vardır.

Kirişin çekme donatısı oranının düşük olduğu durumda, etriye miktarı kirişin eğilme davranışına çok tesir etmemektedir. Bunun nedeni, kirişte eğilme tesiri altında etriye etkili olmadan kiriş boyuna donatısının kopması olarak düşünülebilir. Çekme donatısı miktarının artması durumunda ise, etriye miktarının davranış üzerindeki etkisi belirginleşmektedir. Ayrıca beton kabuğunun ezilmesinden sonra (moment-eğrilik grafiğinde hızlı inişin başladığı nokta) etriye miktarının davranış üzerindeki tesiri önemli bir duruma gelmektedir.

Etriye oranının etkisine benzer şekilde, kirişteki etriye sıklığı, çekme donatısı oranının düşük olduğu durumda davranış üzerinde çok etkili değildir. Etriye sıklığının

kirişin davranışı üzerindeki tesiri, çekme donatısı oranının yüksek olduğu durumlarda rahatlıkla gözlenebilmektedir.

Değişik yönetmelikler moment kapasitesi hesabında, basınç bölgesinde beton en dış lifindeki birim deformasyon değeri için farklı değerler kabul etmektedir. Bu değer TS 500'de 0.003 olarak kabul edilmiştir. İncelenen örneklerde maksimum momente karşılık gelen birim deformasyon değerinin 0.003'ten genel olarak daha büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca genel olarak tüm örneklerde hesap edilen maksimum moment ile $\epsilon = 0.003$ 'e karşılık gelen moment arasındaki hata oranının %5-10 arasında olduğu ve maksimum moment hesabında kullanılacak beton en dış lif birim deformasyonu için, 0.002-0.004 arasında bir değer kabul edilebileceği söylenebilir.

SAS programında oluşturulan denklemler test etmek amacıyla 5 adet örnek hazırlanmıştır (G1, G2, G3, G4, G5). Bu örneklerle süneklik denkleminin güvenilirliği kontrol edilmiştir. Örneklerin SEMAp programından hesaplanan süneklik değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. SAS Programını Test Etmek İçin Oluşturulan Örnekler						
Eleman	Etriye	f_c (kg/cm ²)	f_y (kg/cm ²)	b_s	ρ_s	Süneklik
G1	Ø8/20	300	3600	0.0019	0.0026	21.11
G2	Ø8/20	200	3000	0.0019	0.0065	15.38
G3	Ø8/20	160	2200	0.0019	0.0087	11.57
G4	Ø8/20	300	3600	0.0000	0.0039	19.31
G5	Ø8/20	160	3000	1.0000	0.0086	21.78

Süneklik = $23.62+10.66(b_s)-1445.82(\rho_s)$ formülünde değerleri yerine koyarsak:

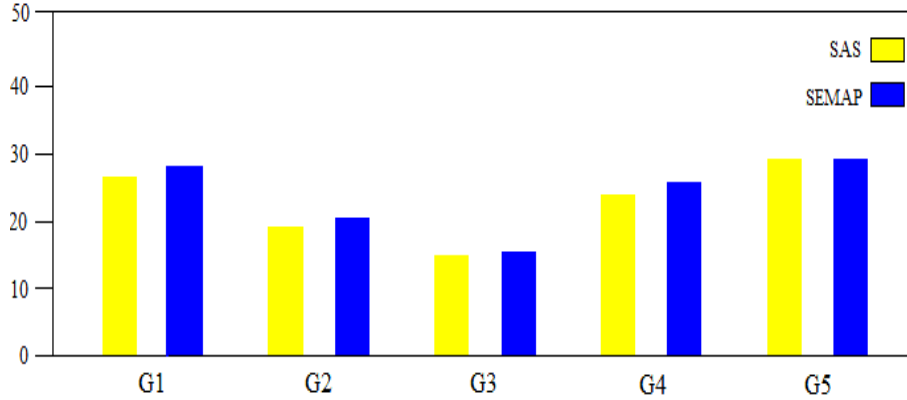
$$G1 \text{ için süneklik} = 23.62+10.66 \times 0.0019 - 1445.82 \times 0.0026 = 19.88 \approx 21.11$$

$$G2 \text{ için süneklik} = 23.62+10.66 \times 0.0019 - 1445.82 \times 0.0065 = 14.24 \approx 15.38$$

$$G3 \text{ için süneklik} = 23.62+10.66 \times 0.0019 - 1445.82 \times 0.0087 = 11.06 \approx 11.51$$

$$G4 \text{ için süneklik} = 23.62+10.66 \times 0 - 1445.82 \times 0.0039 = 17.98 \approx 19.31$$

$$G5 \text{ için süneklik} = 23.62+10.66 \times 1 - 1445.82 \times 0.0086 = 21.84 \approx 21.78 \text{ olur.}$$



Şekil 15. Süneklik Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 15'ten görüldüğü üzere, değerler arasında bir miktar fark olmasına rağmen,

sonuçlar birbirine yakındır. Dolayısıyla süneklik denklemi kullanılabilir durumdadır.

Kaynaklar

- [1] Hognestad, E., "A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members", Bulletin 399, University of Illinois Engineering Experiment Station, Urbana, (1951). Pp:128.
- [2] Mander, JB, Priestley, M.J.N and Park, R., "Observed Stress-Strain Behaviour of Confined Concrete, Journal of Structural Engineering", ASCE, Vol. 114, No. 8:1827-49, (1988).
- [3] Mander, JB, Priestley, M.J.N and Park, R., "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", J. Struct. Div., ASCE, 114(8), 1804-1825, (1988).
- [4] Mander, JB, "Seismic Design of Bridge Piers", PhD Thesis, University of Canterbury, New Zealand, (1984).
- [5] McGraw Publishing Co., Considere, A., "Experimental Researches on Reinforced Concrete", New York, (1903). Pp:188.
- [6] Richart, F.E., Brandtzaeg, A. and Brown A.L., "A Study of Failure of Concrete under Combined Compression Stresses", University of Illinois Engineering Experimental Station, Bulletin 185, (1928). Pp:104.

- [7] Aktan, A.E., Karlsson, B.A. and Sozen, M.A., "Stress-Strain Relationship of Reinforced Concrete Bars Subjected to Large Strain Reversals", Civil Engineering Studies, Structural Research Series, No 397, University of Illinois, (1973).
- [8] Bertero, V.V and Felippa, C., "Discussion of Ductility of Concrete", Proceedings of International Symposium on the Flexural Mechanics of Reinforced Concrete, ASCE-ACI, Miami, 227-234, (1964).
- [9] Bing, L., R. Park, and H. Tanaka, "Stress-Strain Behavior of High-Strength Concrete Confined by Ultra-High- and Normal-Strength Transverse Reinforcements", ACI Structural Journal, Vol. 98, No. 3, 395-406, (2001).
- [10] Ersoy U., Özcebe G. "Betonarme Gözden Geçirilmiş II. Baskı", Evrim Yayınevi (2001).
- [11] Sheikh, SA and Uzumeri, SM, "Strength and Ductility of Tied Concrete Columns", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 106, No. ST5, pp. 1079-102, (1980).
- [12] Kent, D.C. and Park, R., "Cyclic Load Behaviour of Reinforcing Steel, Strain", 9(3), 98-103, (1973).

[13] Saatcioglu, M. and Razvi S.R., “Strength and Ductility of Confined Concrete, Journal of Structural Engineering”, ASCE, Vol. 118, No. 6, pp. 1590-607, (1992).

[14] İnel M., Özmen H.B. ve Bilgin H., “Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı” (SEMAp) Kullanım klavuzu, Denizli, (2008).

Geliş Tarihi: 27/07/2009

Kabul Tarihi: 25/10/2010