

BASİT EĞİLME ETKİSİNDEKİ BETONARME ELEMANLARIN MOMENT-EĞRİLİK VE TASARIM DEĞİŞKENLERİ ÜZERİNE ANALİTİK BİR İNCELEME

M. Yaşar KALTAKCI, Hasan H. KORKMAZ, S. Zerrin KORKMAZ

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kampüs/Konya

Geliş Tarihi : 18.08.2000

ÖZET

Bu çalışmada, basit eğilme etkisindeki betonarme elemanların tasarım değişkenlerinin analitik olarak incelenmesi amaçlanmıştır ve bu amaçla bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Eğilme tesiri altındaki betonarme elemanların dayanım ve davranışına beton basınç dayanımı, donatı çeliği çekme dayanımı, çekme, basınç ve sargı donatılarının miktarı ile donatıdaki pekleşme olayının etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla geliştirilen bilgisayar programı, kabuk betonunun ezilmesini, donatıda pekleşmeyi, göbek betonu için sargı donatısı etkisini ve gerçekçi matematiksel malzeme modellerini göz önüne alabilen ve “katmanlı-modelleme” tekniğini kullanarak çözüm yapabilen FORTRAN dilinde bir programdır.

Anahtar Kelimeler : Betonarme, Basit eğilme, Moment-eğrilik, Analitik

AN ANALYTICAL RESEARCH ON MOMENT-CURVATURE AND DESIGN VARIABLES OF R.C. MEMBERS UNDER SIMPLE FLEXURE

ABSTRACT

In this study design variables of reinforced concrete sections under simple flexure will be studied analytically and for that aim a computer program is developed. The variables that influence the behavior of R.C. sections, concrete compression strength, yield strength of steel, tension, compression and transverse steel amount and effect of strength hardening of steel are studied. Developed computer program is using layered modeling technique and capable of taking in to account; crushing of cover and core concrete, strain hardening of steel and effect of confinement on core concrete.

Key Words : Reinforced concrete, Simple flexure, Moment-curvature, Analytical

1. GİRİŞ

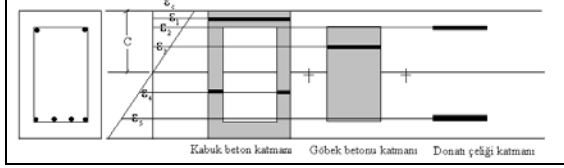
Betonarme tasarımında eleman davranışının ve bu davranışı etkileyen faktörlerin bilinmesi önemlidir. Eleman davranışı, kesit davranışından ve kesitin moment-eğrilik ilişkisinden izlenebilir (Ersoy, 1998).

Betonarme kesitlerin moment-eğrilik ilişkilerini etkileyen ve tasarım aşamasında birer parametre olarak düşünülen, beton basınç dayanımı, çekme donatısı oranı, basınç donatısı oranı, etriye oranı ile

boyuna donatı ve etriye donatısı akma dayanımları gibi faktörlerin davranışa olan etkisinin incelenmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bu amaçla kesitlerin moment-eğrilik ilişkisini gerçekçi olarak belirlemeye olanak tanıyan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bilgisayar programı kabuk ve göbek betonunda kademeli ezilmeyi, donatıda akma ve pekleşmeyi göbek betonunda sargı etkisini göz önüne alan ve gerçekçi malzeme modellerine dayanan bir programdır.

2. HESAP ESASLARININ TANITIMI

Herhangi bir betonarme kesitin moment-eğrilik ilişkisinin tayini için FORTRAN dilinde geliştirilen program "katmanlı modelleme" (Parviz ve ark., 1991) tekniğini kullanmaktadır. Bu hesap yönteminde kesit dikdörtgen şeritler halinde katmanlara ayrılmaktadır. 4 değişik katman tipi mevcuttur. Bunlar; kabuk beton katmanı, göbek betonu katmanı, çekme etkisi altındaki beton katmanı ve donatı çeliği katmanıdır (Şekil 1).



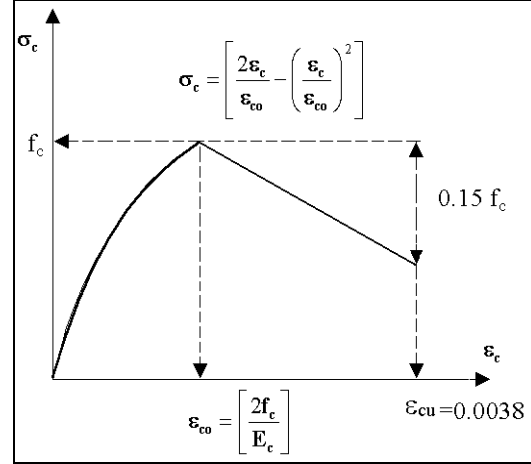
Şekil 1. Teorik moment eğrilik ilişkisinin tayini için katmanlı modelleme tekniği

Kesitteki linear olarak değiştiği kabul edilen birim deformasyon dağılımının tayini için kabuk betonun en dış lifindeki birim deformasyon için bir değer seçilir ve tarafsız eksenin yeri için bir öndeğer kabul edilir. Her bir katmanın orta noktası için karşılık gelen birim deformasyon tespit edilir ve katman tipine göre malzemenin gerilme-birim deformasyon bağıntularından o birim deformasyona karşılık gelen gerilme tespit edilir. Her bir katman için hesap edilen gerilmeler ile o katmanın alanı çarpılarak her katmana tesir eden kuvvet bulunur. Burada çekme bölgesindeki katmanlarda kuvvet değerinin negatif olacağına dikkat etmek gerekir. Daha sonra denge koşulunun sağlanması için tüm katmanlara etkiyen toplam kuvvet bulunur. Eğer sonuç sıfırdan büyük ise daha küçük bir "c" değeri, eğer sonuç negatif ise daha büyük bir "c" değeri seçilerek aynı prosedür tekrarlanır. Toplam kuvvetin kabul edilebilir hatadan küçük çıkması durumunda en dış beton lifindeki birim deformasyon değeri değiştirilerek çözüm tekrarlanır. Yapılan her bir çözüm için kesitteki moment ve birim deformasyon dağılımından kesitin moment-eğrilik ilişkisi saptanır. Hesap metodunda bu aşamada belirtilmesinde yarar görülen üç adet kabul vardır. Bunlar; beton ve donatı arasında tam aderans vardır, kesitteki birim deformasyon dağılımı lineerdir, boyuna donatıdaki burkulma durumu göz ardı edilmektedir.

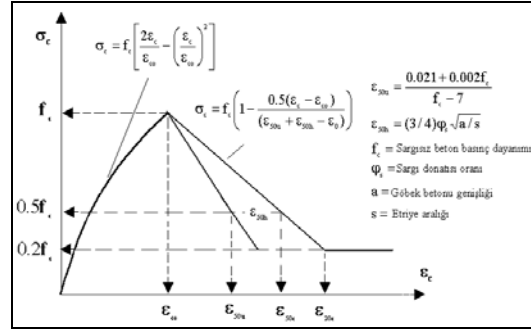
3. MATEMATİKSEL MALZEME MODELLERİ

Dört değişik malzeme modeli mevcuttur. Bunlar kabuk betonu, göbek betonu, çekme gerilmesi altındaki beton ve donatı çeliği modelleridir. Kabuk

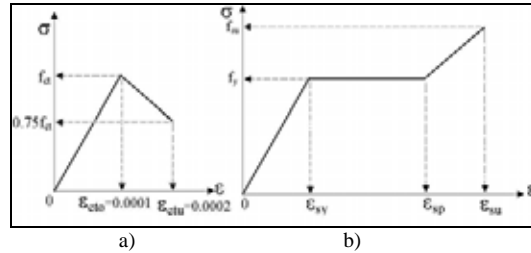
betonun matematiksel modeli için Hognestad (1951) tarafından önerilen model (Şekil 2), göbek betonu için sargı donatısının tesirini göz önüne alan Kent and Park (1971) modeli (Şekil 3), çekme tesiri altındaki beton için Şekil 4 a'daki gerilme dağılımı ve donatı çeliği için de 3 adet doğrudan oluşan Şekil 4 b'deki gerilme dağılımı kullanılmıştır.



Şekil 2. Kabuk betonu için Hognestad (1951) modeli



Şekil 3 Göbek betonu için Kent and Park (1971) modeli



Şekil 4. Çekme tesiri altındaki beton (a) ve donatı çeliği için matematiksel model (b)

4. MAKSİMUM MOMENT TAŞIMA KAPASİTESİ

Kirişlerde maksimum moment M_r (çift donatılı kirişler için), basınç donatısı merkezine göre moment alınarak,

$$M_R = A_s f_y d (d - d') + F_c \left(\frac{k_1 c}{2} - d' \right) \quad (1)$$

denkleminde bulunabilir. Ersoy (1998) bu denklem yerine,

$$M_R = A_s f_y d (d - d') \quad (2)$$

denkleminin kullanılabilceğini, hata oranının \pm % 6 dan fazla olmayacağını belirtmiştir. Ayrıca Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelikte (Anon., 1997) daha kesin hesap yapılmadığı durumda pekleşmeli taşıma gücü momentinin,

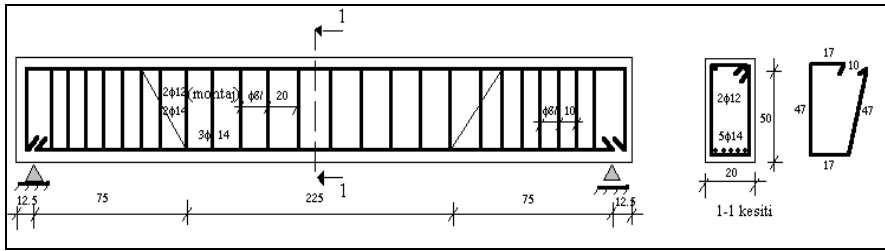
$$M_p = 1.4 \cdot M_r \quad (3)$$

denkleminde hesaplanabileceği belirtilmektedir. Hesap edilen bu pekleşmeli taşıma gücü momenti, enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvvetinin bulunmasında kullanılacaktır. Bu nedenle geliştirilen bilgisayar programı ile kesit için

hesaplanan taşıma gücü momentinin denklem (2) ve denklem (3) den hesap edilen taşıma gücü momenti ile karşılaştırması yapılmıştır. Moment-eğrilik ilişkilerinden her bir örnek için maksimum moment ve bu moment için basınç bölgesindeki betonun en dış lifindeki birim deformasyon tespit edilmiştir. Ayrıca her bir örnek için en dış beton lifinde $\varepsilon = 0.003$ 'e karşılık gelen moment ile denklem (2)'den hesaplanan maksimum momentle karşılaştırılmıştır.

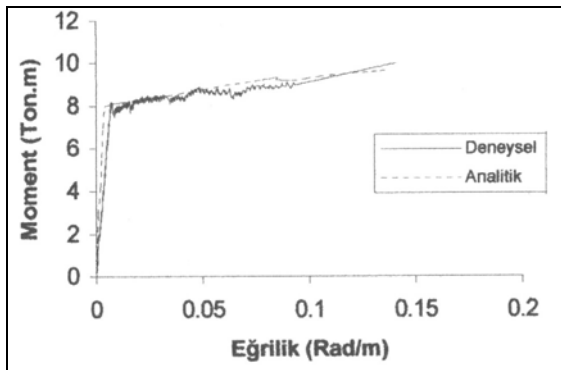
5. ANALİTİK SONUÇLARIN DENEYSEL SONUÇLARLA KARŞILAŞTIRILMASI

Geliştirilen programla elde edilen analitik sonuçların doğruluğunun saptanması için Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında test edilen bir kirişin kesiti incelenmiştir (Kamanlı, 1999). 20 x 50 cm x cm boyutlarındaki kesitin özellikleri (BS20, BÇIII) Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Test edilen kiriş kesit ve donatı özellikleri

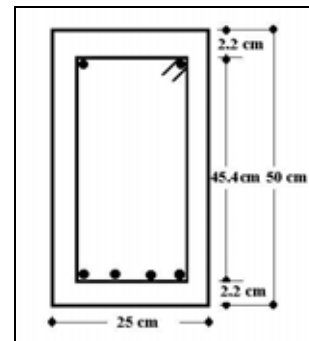
Şekil 6'da ise deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırmalı moment-eğrilik grafikleri verilmiştir. Şekil 6'dan da görüleceği gibi, deneysel sonuçlar analitik sonuçları sağlamaktadır. Bu nedenle programın hesap metodunun doğru olduğu söylenebilir.



Şekil 6. Deneysel ve teorik moment-eğrilik ilişkilerinin karşılaştırılması

6. DEĞİŞKENLERİN İNCELENMESİ

Tasarım değişkenlerinin incelenmesi için ele alınan örnek kiriş kesiti 25 x 50 cm x cm boyutlarında Şekil 7'de verilen kesittir. Beton basınç dayanımı, çekme donatısı akma dayanımı, çekme donatısı oranı, basınç donatısı oranı, etriye oranı ve sıklığı, etriye donatısı akma dayanımı ve donatıda pekleşme kabulü incelenen değişkenlerdir.

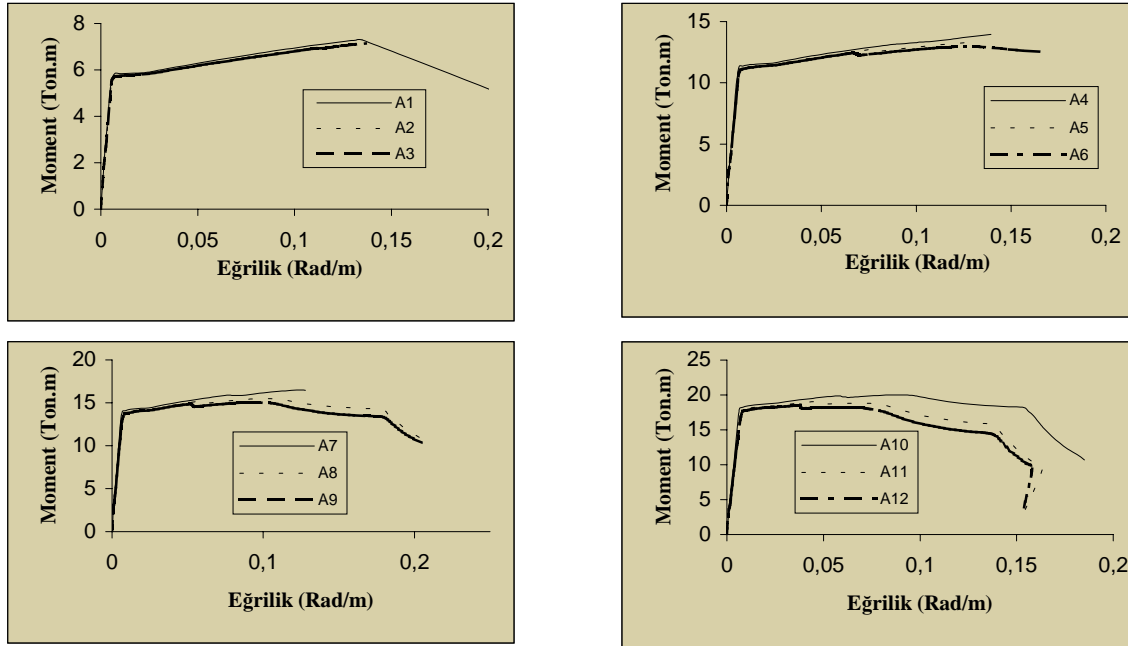


Şekil 7. İncelenen kiriş kesiti

6.1. Beton Basınç Dayanımının Etkisi

Beton basınç dayanımı ile bağımlı olarak incelenen ikinci değişken; kirişin çekme donatısı oranıdır. Bu amaçla 12 adet örnek çözüm yapılmıştır (Şekil 8). Beton basınç dayanımı, çekme donatısının düşük olduğu durumlarda etkili bir parametre değildir. Beton basınç dayanımındaki \mp % 30'luk bir değişim, kirişin maksimum moment kapasitesinde \mp % 3'lük bir değişime neden olmuştur. Bunun nedeni çekme donatısı oranının düşük olması ve yine

çekme donatısının davranış üzerinde etkin olmasıdır (Yağcı, 1999). Tablo 1'den görüleceği gibi, ilk üç örnekte çekme donatısı kabuk betonu ezilmeden önce pekleşmeye başlamıştır. Çekme donatısı oranının düşük olduğu durumlarda beton basınç dayanımının artması ile düğütilenin azaldığı görülürken, çekme donatısının yüksek olması durumunda beton basınç dayanımının artması maksimum moment kapasitesini bir miktar artırmaktadır.



Şekil 8. Moment-eğrilik ilişkilerine beton basınç dayanımının etkisi

Tablo 1. Moment Kapasitesine Beton Basınç Dayanımının Etkisi

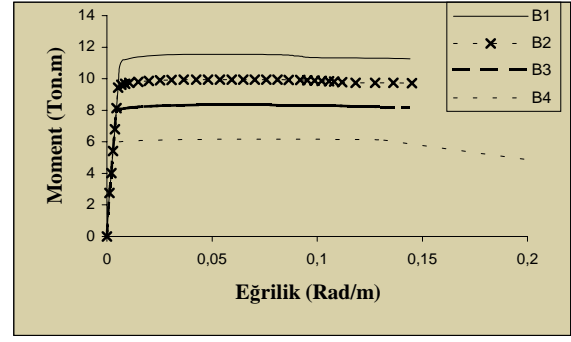
Eleman Özellikleri			Eğrilik (Rad/m)						Birim Uzama	Moment (Ton.m)		
Eleman ismi	f_c kg/cm ²	ρ_s	Çekme donatısında akma	Çekme donatısında pekleşme	Kabuk betonunda ezilme	Göbek betonunda ezilme	Basınç donatısında akma	Basınç donatısında pekleşme	Maksimum momente karşılık gelen birim uzama	Maksimum moment	Beton dış lifinde $\epsilon=0.003$ 'e karşılık gelen moment	Denklem (2) den hesaplanan moment
A.1	300	0.0026	0.0068	0.0256	0.0777	0.3590			0.0042	7.29	7.00	6.93
A.2	200	0.0026	0.0068	0.0256	0.0619	0.1163			0.0050	7.17	6.69	6.93
A.3	160	0.0026	0.0075	0.0282	0.0547	0.1081			0.0055	7.14	6.55	6.93
A.4	300	0.0052	0.0066	0.0301	0.0478	0.0765	0.1083		0.0080	13.94	12.72	13.85
A.5	200	0.0052	0.0073	0.0263	0.0357	0.0535	0.0786		0.0100	13.29	12.22	13.85
A.6	160	0.0052	0.0073	0.0261	0.0303	0.0467	0.0674	0.1406	0.0125	12.96	11.96	113.85
A.7	300	0.0065	0.0068	0.0294	0.0395	0.0568	0.0791		0.0095	16.48	15.41	17.31
A.8	200	0.0065	0.0071			0.0401	0.0580	0.1222	0.0095	15.49	14.81	17.31
A.9	160	0.0065	0.0081	0.0275	0.0240	0.0343	0.0445	0.1129	0.0100	15.04	14.5	17.31
A.10	300	0.0087	0.0078	0.0265	0.0304	0.0411	0.0563	0.1145	0.0080	20.18	19.67	22.89
A.11	200	0.0087	0.0074		0.0215		0.0361	0.0932	0.0040	19.18	18.89	22.89
A.12	160	0.0087	0.0080		0.0176	0.0229		0.0800	0.0040	18.69	18.44	22.89

Not: Tüm elemanlar için $f_c = 4200$ kg/cm²; Eleman boyutları 25 x 50 cm x cm, $f_c = 4200$ kg/cm², Basınç donatısı : 2 Φ 12, Etriye : Φ 8/20 seçilmiştir.

Tablodaki boş değerler ; İncelenen aralıkta karşılık gelen olayın gerçekleşmediğini ifade etmektedir.

6. 2. Çekme Donatısı Akma Dayanımının Etkisi

Şekil 9'da kiriş çekme donatısı akma dayanımının kiriş davranışı üzerine etkisini incelemek için incelenen dört adet örneğin karşılaştırmalı moment-eğrilik grafikleri verilmiştir. Şekil 9'dan da görüleceği gibi; donatı akma dayanımı kiriş davranışını doğrudan etkilemektedir. Örnek olarak donatı akma dayanımındaki \mp % 30'luk bir değişim, kirişin eğilme dayanımında da yaklaşık \mp % 30'luk bir değişime neden olmaktadır (Tablo 2). Ayrıca çekme donatısı akma dayanımının düşük olduğu durumda düktilitenin arttığı da gözlenmektedir (Ersoy ve Özcebe, 1998).



Şekil 9. Moment-eğrilik ilişkilerine çekme donatısı akma dayanımının etkisi

Tablo 2. Moment Kapasitesine Kiriş Çekme Donatısı Akma Dayanımının Etkisi

Eleman Özellikleri	Eğrilik (Rad/m)							Birim Uzama	Moment (Ton.m)		
	Boyuna donatı akma dayanımı (kg/cm ²)	Çekme donatısında akma	Çekme donatısında pekleşme	Kabuk betonunda ezilme	Göbek betonunda ezilme	Basınç donatısında akma	Basınç donatısında pekleşme		Maksimum momente karşılık gelen birim uzama	Maksimum moment	Beton dış lifinde $\epsilon=0,003$ 'e karşılık gelen moment
B1	4200	0.0073		0.0365	0.0616	0.0926		0.0028	11.5	11.54	13.85
B2	3600	0.0068		0.0424	0.0758	0.1080		0.0024	9.95	9.95	11.87
B3	3000	0.0046		0.0498	0.0928	0.1306		0.0026	8.34	8.33	9.89
B4	2200	0.0044		0.0633	0.1283	0.1283		0.0028	6.17	6.16	7.26

Not: Tüm elemanlar için ; Boyutlar 25 x 50 cm x cm, $f_c = 200$ kg/cm², Basınç donatısı : 2 Φ 12, Çekme donatısı : $\rho_s = 0.0052$, Etriye : Φ 8/20 seçilmiştir. Tablodaki boş değerler; incelenen aralıkta karşılık gelen olayın gerçekleşmediğini ifade etmektedir.

6. 3. Çekme Donatısı Oranının ve Basınç Donatısı Oranının Etkisi

Çekme donatısı oranı kirişin eğilme davranışı üzerinde etkilidir (Tablo 3). Şekil 10'dan da görüleceği gibi; donatı oranındaki \mp % 30'luk bir değişim, kirişin eğilme momenti kapasitesinde de \mp % 30'luk bir değişime neden olmaktadır.

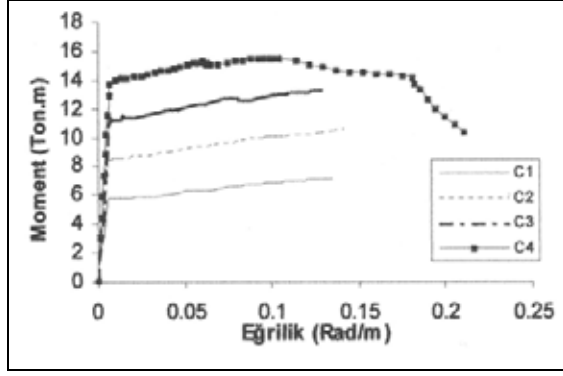
Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Anon., 1997) kiriş mesnedinde alt

donatının, aynı mesnedin üst donatısının % 50'sinden az olamayacağını belirtmektedir (üçüncü ve dördüncü deprem bölgeleri için bu oran % 30'dur). 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 4 adet değişik örnek çekme donatısının üç değişik oranı için incelenmiş ve elde edilen 12 adet çözüme ait karşılaştırmalı moment-eğrilik grafikleri Şekil 11'de verilmiştir.

Tablo 3. Moment Kapasitesine Çekme Donatısı Oranının Etkisi

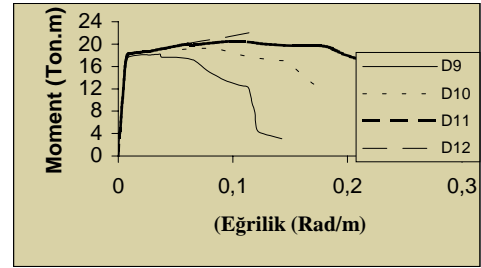
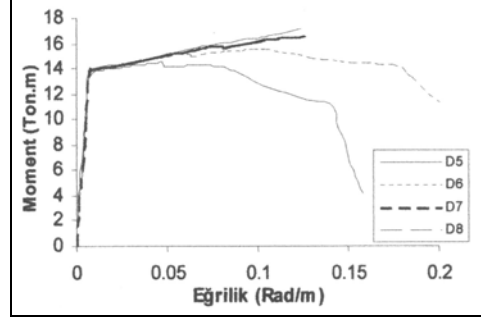
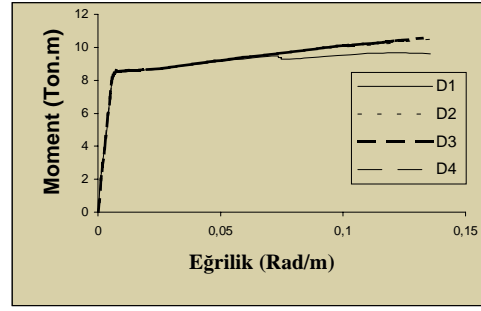
Eleman Özel.	Eğrilik (Rad/m)							Birim Uzama	Moment (Ton.m)		
	Çekme Donatısı ρ_s	Çekme donatısında akma	Çekme donatısında pekleşme	Kabuk betonunda ezilme	Göbek betonunda ezilme	Basınç donatısında akma	Basınç donatısında pekleşme		Maksimum momente karşılık gelen birim uzama	Maksimum moment	Beton dış lifinde $\epsilon=0,003$ 'e karşılık gelen moment
C1	0.0026	0.0068	0.0256	0.0619	0.1163			0.0050	7.17	6.70	6.91
C2	0.0039	0.0060	0.0286	0.0460	0.0774	0.1145		0.0075	10.58	9.53	10.38
C3	0.0052	0.0073	0.0263	0.0357	0.0535	0.0786		0.0100	13.30		13.85
C4	0.0065	0.0071			0.0401	0.0580	0.1222	0.0095	15.50	14.82	17.31

Not: Tüm elemanlar için ; Eleman boyutlar 25 x 50 cm x cm, $f_c = 200$ kg/cm², $f_t = 4200$ kg/cm², Basınç donatısı : 2 Φ 12, Etriye : Φ 8/20 seçilmiştir. Tablodaki boş değerler; incelenen aralıkta karşılık gelen olayın gerçekleşmediğini ifade etmektedir.



Şekil 10. Moment-eğrilik ilişkilerine çekme donatısı oranının etkisi

Çekme donatısı oranının düşük olduğu durumlarda basınç donatısı oranının kirişin maksimum moment kapasitesi üzerine etkisi pek önemli değilken, kiriş duktilitesi üzerinde olumlu etkisi gözlenmektedir. Bunun nedeni Tablo 4'den görüleceği gibi, 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. Ayrıca Tablo 4 den basınç donatısı miktarı arttıkça, tarafsız eksen basınç donatısına yaklaştığı için, basınç bölgesindeki betonun en dış lifindeki (kabuk) birim uzamanın azaldığı görülmektedir.



Şekil 11. Moment-eğrilik ilişkilerine basınç donatısı oranının etkisi

Tablo 4. Moment Kapasitesine Basınç Donatısı Oranının Etkisi

Eleman Özellikleri			Eğrilik (Rad/m)						Birim Uzama	Moment (Ton.m)	
Eleman ismi	ρ_s/ρ_s	Çekme Donatısı ρ_s	Çekme donatısında akma	Çekme donatısında pekleşme	Kabuk betonunda ezilme	Göbek betonunda ezilme	Basınç donatısında akma	Basınç donatısında pekleşme	Maksimum momente karşılık gelen birim uzama	Maksimum moment	Beton dış lifinde $\epsilon=0.003$ 'e karşılık gelen moment
D1	0	0.0039	0.0069	0.0290	0.0386	0.0590			0.0100	9.68	9.24
D2	0.3	0.0039	0.0060	0.0286	0.0460	0.0774	0.1145		0.0075	10.58	9.53
D3	0.5	0.0039	0.0069	0.0261	0.0507	0.0896			0.0055	10.57	9.64
D4	1	0.0039									
D5	0	0.0065	0.0088	0.0270	0.0240	0.0325			0.0040	14.50	14.30
D6	0.3	0.0065	0.0071		0.0401		0.0580	0.1222	0.0095	15.50	14.82
D7	0.5	0.0065	0.0077	0.0279	0.0323	0.0497	0.0794		0.0100	16.59	15.06
D8	1	0.0065	0.0072	0.0277	0.0378	0.0622			0.0060	17.13	15.32
D9	0	0.0086	0.0077	0.0293	0.0228	0.0325			0.0040	19.31	18.92
D10	0.3	0.0086	0.0084	0.0297	0.0260	0.0373	0.0612	0.1214	0.0100	20.52	19.27
D11	0.5	0.0086	0.0070	0.0275	0.0321	0.0502			0.0065	22.50	19.70
D12	1	0.0086	0.0088	0.0292	0.0182	0.0228	0.0250	0.0723	0.0040	18.19	18.07

Not: Tüm elemanlar için; Eleman boyutları 25 x 50 cm x cm, $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$, $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, Etriye: $\Phi 8/20$ seçilmiştir. Tablodaki boş değerler; incelenen aralıkta karşılık gelen olayın gerçekleşmediğini ifade etmektedir.

6. 4. Kiriş Etriye Oranının ve Etriye Sıklığının Etkisi

Kirişteki etriye miktarının eğilme kapasitesine etkisi, kirişin çekme donatısı ile birlikte incelenmiş ve 9 adet örnek çözülmüştür. Şekil 12'de incelenen örneklerin karşılaştırmalı moment-eğrilik grafikleri verilmiştir. Kiriş çekme donatı oranının düşük olduğu durumda, etriye miktarı kirişin eğilme davranışına çok tesir etmemektedir. Bunun nedeni olarak, kirişte eğilme tesiri altında etriye etkili olmadan kiriş çekme donatısının kopması olarak düşünülebilir. Bu noktada, çözüm metodunda çekme donatısındaki olabilecek burkulma olayının dikkate alınmadığını hatırlatmak gereklidir. Çekme donatısı miktarının artması durumunda ise etriye miktarının eğilme

davranışı üzerindeki etkisi gözlenmektedir (Tablo 5). Ayrıca beton kabuğun ezilmesinden sonra (moment-eğrilik grafiğinde hızlı inişin başladığı nokta) etriye miktarının davranış üzerindeki tesirinin önemli bir duruma geldiği de görülmektedir. Kirişlerde etriye sıklığının eğilme davranışına tesirini incelemek amacı ile 9 adet örnek çözüm yapılmış ve bu çözümlerden elde edilen moment-eğrilik ilişkileri Şekil 12'de verilmiştir. Etriye oranının etkisine benzer şekilde, kirişte etriye sıklığı çekme donatısı oranının düşük olduğu durumda davranış üzerinde çok etkili değildir (Tablo 6). Etriye sıklığının kiriş eğilme davranışı üzerindeki tesiri, çekme donatısı oranının yüksek olduğu durumlarda rahatlıkla gözlenebilmektedir.

Tablo 5. Moment Kapasitesine Kiriş Etriye Oranının Etkisi

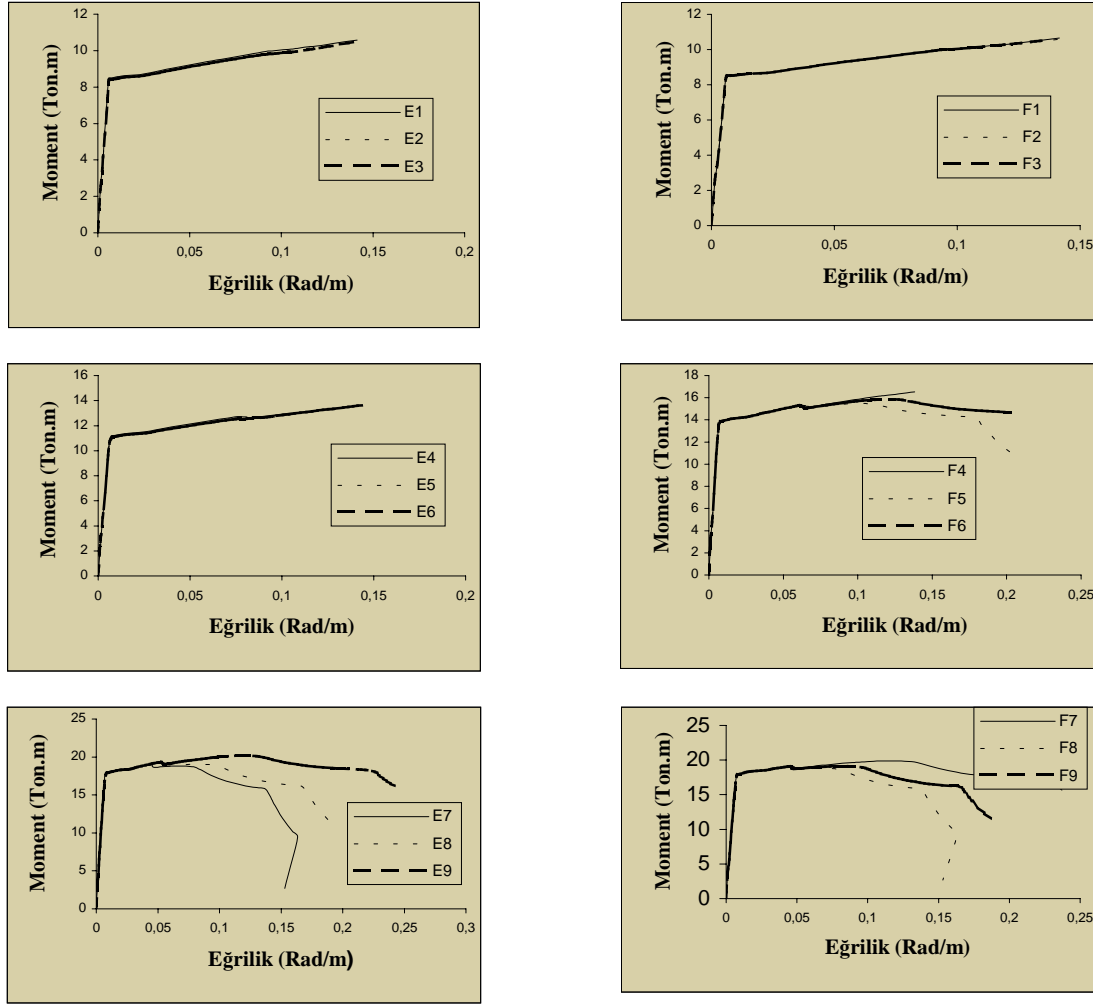
Eleman Özellikleri			Eğrilik (Rad/m)						Birim Uzama	Moment (Ton.m)		
Eleman ismi	Etriye	Çekme Donatısı ρ_s	Çekme donatısında akma	Çekme donatısında pekleşme	Kabuk betonunda ezilme	Göbek betonunda ezilme	Basınç donatısında akma	Basınç donatısında pekleşme	Maksimum momente karşılık gelen birim uzama	Maksimum moment	Beton dış lifinde $\epsilon=0.003$ 'e karşılık gelen moment	Denklem (2) den hesaplanan moment
E1	Φ8/20	0.0039	0.0060	0.0286	0.0460	0.0774	0.1145		0.0075	10.58	9.53	10.38
E2	Φ10/20	0.0039	0.0060	0.0284	0.0455	0.0810	0.1225		0.0070	10.49	9.45	10.38
E3	Φ12/20	0.0039	0.0060	0.0282	0.0450	0.0800	0.1419		0.0070	10.50	9.38	10.38
E4	Φ8/20	0.0065	0.0073	0.0263	0.0357	0.0535	0.0786		0.0100	13.30	12.22	17.31
E5	Φ10/20	0.0065	0.0073	0.0262	0.0355	0.0574	0.0828		0.0100	13.48	12.14	17.31
E6	Φ12/20	0.0065	0.0073	0.0261	0.0354	0.0613	0.0860		0.0100	13.62	12.06	17.31
E7	Φ8/20	0.0086	0.0074		0.0215		0.0361	0.0932	0.0040	19.19	18.90	22.90
E8	Φ10/20	0.0086	0.0074	0.0277	0.0216	0.0307	0.0390	0.1045	0.0095	19.23	18.80	22.90
E9	Φ12/20	0.0086	0.0078	0.0269	0.0234	0.0369	0.0498	0.1277	0.0125	20.35	18.95	22.90

Not: Tüm elemanlar için; Eleman boyutları 25 x 50 cm x cm, $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$, $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, Basınç donatısı : 2 Φ 12 seçilmiştir. Tablodaki boş değerler ; İncelenen aralıkta karşılık gelen olayın gerçekleşmediğini ifade etmektedir.

Tablo 6. Moment Kapasitesine Kiriş Etriye Sıklığının Etkisi

Eleman Özellikleri			Eğrilik (Rad/m)						Birim Uzama	Moment (Ton.m)		
Eleman ismi	Etriye	Çekme Donatısı ρ_s	Çekme donatısında akma	Çekme donatısında pekleşme	Kabuk betonunda ezilme	Göbek betonunda ezilme	Basınç donatısında akma	Basınç donatısında pekleşme	Maksimum momente karşılık gelen birim uzama	Maksimum moment	Beton dış lifinde $\epsilon=0.003$ 'e karşılık gelen moment	Denklem (2) den hesaplanan moment
F-1	Φ8/10	0.0039	0.0060	0.0288	0.0462	0.0881	0.1246		0.0070	10.65	9.54	10.38
F-2	Φ8/20	0.0039	0.0060	0.0286	0.0460	0.0774	0.1145		0.0075	10.58	9.53	10.38
F-3	Φ8/15	0.0039	0.0060	0.0286	0.0460	0.0826	0.1161		0.0070	10.55	9.53	10.38
F-4	Φ8/10	0.0065	0.0071			0.0446	0.0625		0.0125	16.53	14.85	17.31
F-5	Φ8/20	0.0065	0.0071			0.0401	0.0580	0.1222	0.0095	15.50	14.82	17.31
F-6	Φ8/15	0.0065	0.0071			0.0441	0.0613	0.1343	0.0125	15.87	14.83	17.31
F-7	Φ8/10	0.0086	0.0075	0.0281	0.0218	0.0312	0.0370	0.1208	0.0150	20.06	18.96	22.90
F-8	Φ8/20	0.0086	0.0074	0.0215	0.0215		0.0361	0.0932	0.0040	19.19	18.90	22.90
F-9	Φ8/15	0.0086	0.0074	0.0278	0.0216	0.0307	0.0364	0.1032	0.0090	19.29	18.92	22.90

Not: Tüm elemanlar için; Eleman boyutları 25 x 50 cm x cm, $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$, $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, Basınç donatısı : 2 Φ 12 seçilmiştir. Tablodaki boş değerler ; İncelenen aralıkta karşılık gelen olayın gerçekleşmediğini ifade etmektedir.



Şekil 12. Moment-eğrilik ilişkilerine giriş etriye oranının ve etriye sıklığının etkisi

6. 5. Donatı Pekleşmesinin Etkisi

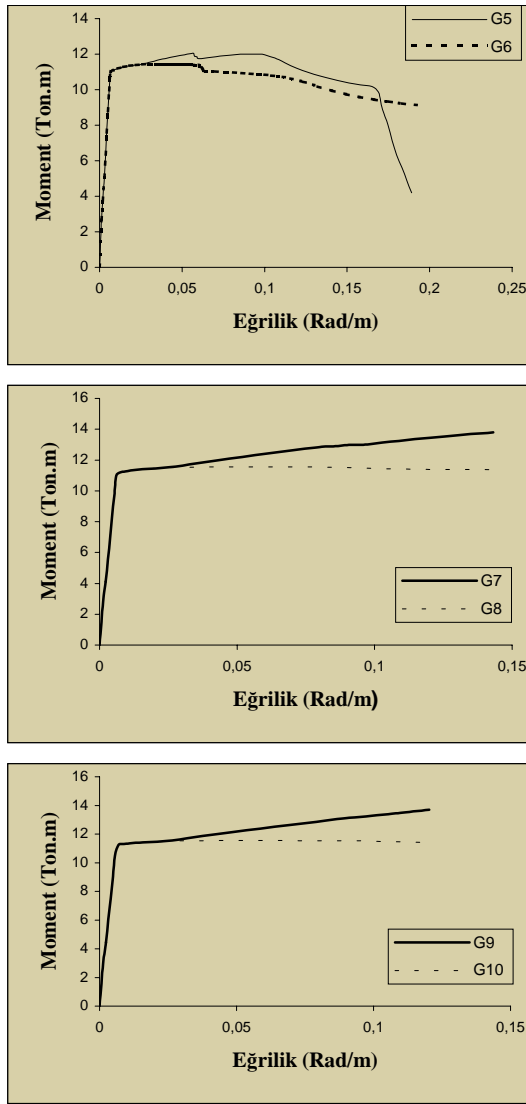
Şekil 13’de donatıda pekleşme etkisi ile ilgili incelenen 6 örneğin karşılaştırmalı moment-eğrilik grafikleri verilmiştir. Donatıda pekleşme kesitini

maksimum momentinin akma anındaki momentine oranını artırmaktadır. Donatıdaki pekleşmenin etkisinin basınç donatısı oranının artması ile daha etkili olduğu da bu grafiklerden ve Tablo 7’den de gözlenmektedir.

Tablo 7. Moment Kapasitesine Donatıdaki Pekleşmenin Etkisi

Eleman Özellikleri			Eğrilik (Rad/m)						Birim Uzama	Moment (Ton.m)	
Eleman ismi	ρ_s/ρ_s	Donatıda pekleşme kabulu	Çekme donatısında akma	Çekme donatısında pekleşme	Kabuk betonunda ezilme	Göbek betonunda ezilme	Basınç donatısında akma	Basınç donatısında pekleşme	Maksimum momente karşılık gelen birim uzama	Maksimum moment	Beton dış lîfnde $\epsilon=0.003$ 'e karşılık gelen moment
G-5	0	Var	0.0065	0.0259	0.0296	0.0398	0.0459	0.1087	0.0040	12.05	11.82
G-6	0	Yok	0.0065		0.0299	0.0409	0.0478		0.0026	11.44	11.43
G-7	0.5	Var	0.0076	0.0277	0.0376	0.0611	0.0922		0.0100	13.79	12.31
G-8	0.5	Yok	0.0076		0.0386	0.0652	0.1242		0.0026	11.56	11.55
G-9	1	Var	0.0070	0.0266	0.0430	0.0741			0.0055	13.69	12.50
G-10	1	Yok	0.0070		0.0443	0.0786			0.0024	11.55	11.55

Not: Tüm elemanlar için ; Eleman boyutları 25 x 50 cm x cm, $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$, $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, Çekme donatısı : 4 $\Phi 14$, Etriye : $\Phi 8/20$ seçilmiştir. Tablodaki boş değerler; İncelenen aralıktaki karşılık gelen olayın gerçekleşmediğini ifade etmektedir.



Şekil 13. Moment-eğrilik ilişkilerine donatı pekleşmesinin etkisi

7. SONUÇLAR

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 izlenilebilir (Ersoy, 1998). Betonarme elemanların kesitlerinin moment-eğrilik ilişkileri gerçekçi malzeme modellerine dayanan bilgisayar programları ile elde edilebilir. Geliştirilen analitik yöntemin geçerliliği deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak ispatlanmalıdır. Bu çalışmada kullanılan programın geçerliliği yazar tarafından, Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında çeşitli lisans üstü çalışmalarını kapsamında gerçekleştirilen yaklaşık 20

adet deney sonuçları üzerinde test edilmiş ve burada bir adet deneysel sonuç ile analitik metoddan elde edilen moment-eğrilik grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Yukarıda özetlenen irdelemeler ışığında basit eğilme etkisindeki kirişlerin davranışı için şu sonuçlara ulaşılabilir;

Çekme donatısı oranı ve çekme donatısı akma dayanımı, kiriş eğilme davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ancak bu parametreler, eğilme rijitliği üzerinde etkili değildir.

Beton basınç dayanımının ise eğilme davranışı üzerinde önemli bir etkisi yoktur.

Çekme donatısı oranının düşük olduğu durumlarda basınç donatısı oranının kirişin maksimum moment kapasitesi üzerine 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 kabuğun 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 eğilme davranışı üzerindeki tesiri, çekme donatısı oranının yüksek olduğu durumlarda rahatlıkla gözlenebilmektedir.

Donatıda pekleşme olayı basınç donatılı kesitlerin maksimum moment taşıma kapasitesini artırmaktadır. Pekleşmenin etkisi basınç donatısının düşük olduğu durumlarda önemli değilken, basınç donatısı oranının artması ile kapasitedeki artış önemli olmaktadır.

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 den genel olarak daha büyük olduğu

görülmektedir. Bunun sebebi ise donatıdaki pekleşme nedeniyle akma sınırının ötesinde moment taşıma kapasitesinde artış olması ve dolayısıyla maksimum momente karşılık gelen birim deformasyonun da fazla olmasıdır. Donatıda pekleşme kabulünün yapılmadığı G6, G8, G10 örneklerinde maksimum moment, $\varepsilon = 0.0025$ civarında iken oluşmuştur. Ayrıca genel olarak tüm örneklerde hesap edilen maksimum moment ile $\varepsilon = 0.003$ '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.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte (Anon., 1997) betonarme elemanların kesme kapasitesi hesabında pekleşmeli taşıma gücü momentinin kullanılması gerektiği, kesin hesabın yapılmadığı durumda denklem (3)'ün kullanılabileceği, bu denklemdeki M_r değerinin denklem (2) den hesaplanabileceği Ersoy (1998) tarafından belirtilmiştir. Denklem (2) ve (3) den hesaplanan (enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvvetinin bulunmasında kullanılacak) taşıma gücü momentinin emniyetli tarafta ve tatmin edici sonuçlar verdiği görülmektedir.

8. KAYNAKLAR

Anonim, 1997. Afet Bölgelerinde Yapılacak

Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

Ersoy, U. 1998. "Betonarme Kiriş ve Kolonların Moment Kapasitelerinin Saptanması", Teknik Dergi, 9 (4), 1781-1997.

Ersoy, U. ve Özcebe, G. 1998. "Sarılmış Betonarme Kesitlerde Moment-Eğrilik İlişkisi Analitik Bir İnceleme", Teknik Dergi, 9 (4), 1998-1827.

Hognestad, E. 1951. "A Study of Combined Bending and Axial Load in RC Members", University of Illinois, Eng. Experimental Sta. Bull., No. 339.

Kamanlı, M. 1999. "Değişken Kesitli Kirişlerin Davranışının Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Kent, D. C., Park, R. 1971. "Flexural Members With Confined Concrete", ASCE Journal of Structural Division, V. 97, St.7.

Parviz, S., Jongsung, S., Jer-Wen, H. 1991. "Axial/Flexural Behaviour of Reinforced Concrete Sections: Effects of the Design Variable", ACI, Vol 88, No 1, pp. 17-21.

Yağcı, A. 1999. "Study on Moment Curvature Relationships in Reinforced Concrete", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, s. 234.