



**BETONARME KOLONLARIN DAVRANIŞINA ETKEN OLAN TASARIM
DEĞİŞKENLERİ ÜZERİNE ANALİTİK BİR İNCELEME**

*(AN ANALYTICAL RESEARCH ON DESIGN VARIABLES EFFECTIVE
ON R.C. COLUMNS)*

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

ÖZET/ABSTRACT

Bu çalışmada betonarme kolonların moment-eğrilik ilişkilerine etken olan tasarım değişkenleri üzerine analitik bir inceleme amaçlanmış ve bu amaçla bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Betonarme kolonların davranışına etki eden beton basınç dayanımı, donatı çeliği akma dayanımı, boyuna donatı ve sargı donatısı miktarı ve donatıdaki pekleşme olayının betonarme kolonlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Geliştirilen bilgisayar programı, kabuk betonun ezilmesi, 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 yazılmış bir programdır (Parviz vd., 1981).

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 (Parviz and others, 1981).

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

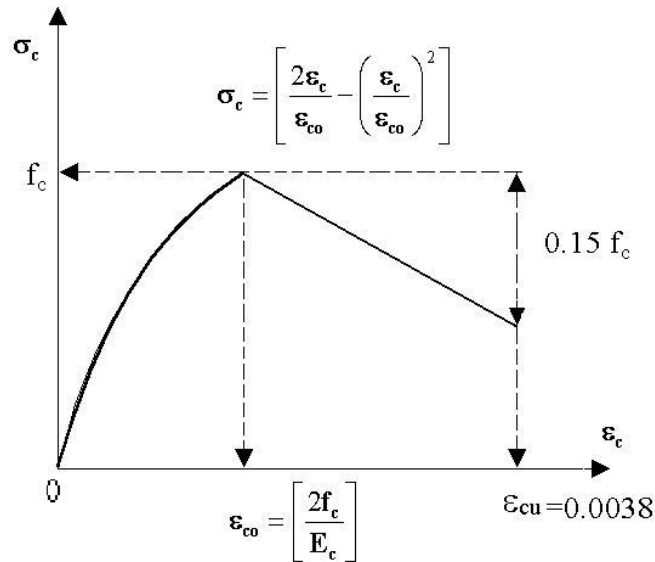
Betonarme, Kolon, Moment-eğrilik, Tasarım değişkeni
Reinforced concrete, Column, Moment-curvature, Design variable

1. GİRİŞ

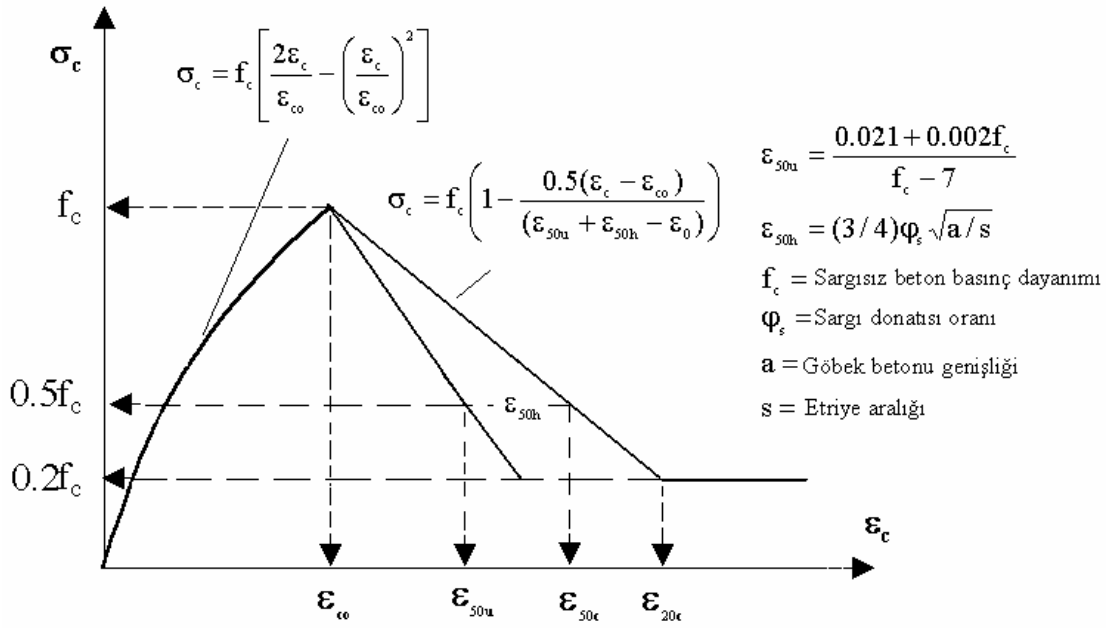
Betonarme tasarımında, eleman davranışının ve bu davranışı etkileyen faktörlerin iyi bilinmesi önemlidir. Eleman davranışı kesit davranışından ve kesitin moment-eğrilik ilişkisinden izlenilebilir (Ersoy vd., 1998). Betonarme kesitlerin moment-eğrilik ilişkilerini etkileyen ve tasarım aşamasında birer parametre olarak düşünülen, beton basınç dayanımı, boyuna donatı oranı ve 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 FORTRAN dilinde bir bilgisayar programı, geliştirilmiştir. Geliştirilen bilgisayar programı kabuk ve göbek betonunda kademeli ezilmeyi, donatıda akma ve pekleşme olayını, göbek betonunda sargı etkisini göz önüne alan ve gerçekçi malzeme modellerine dayanan bir programdır.

2. HESAP ESASLARININ TANITIMI

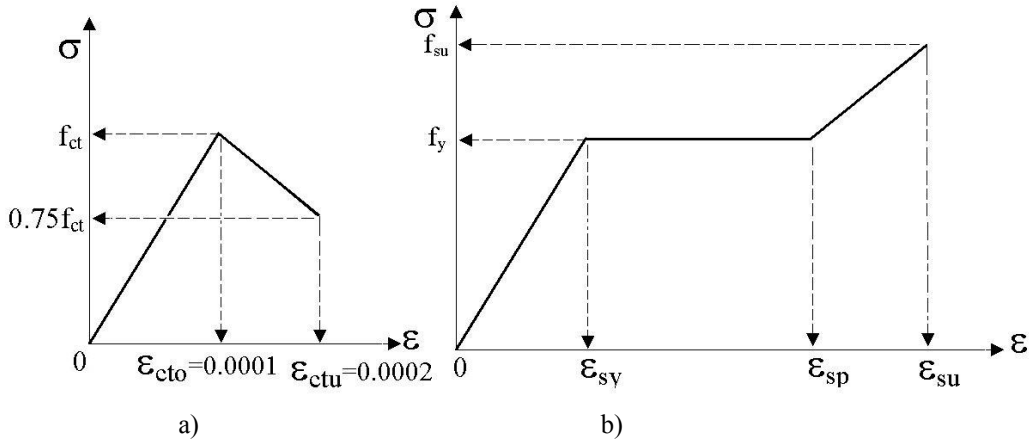
Herhangi bir betonarme kesitin moment-eğrilik ilişkisinin tayini için FORTRAN dilinde geliştirilen program “katmanlı modelleme” tekniğini kullanmaktadır. Bu çalışmadaki modellemede dört değişik malzeme modeli mevcuttur. Bunlar kabuk betonu, göbek betonu, çekme gerilmesi altındaki beton ve donatı çeliği modelleridir. Kabuk betonunun matematiksel modeli için Hognestad, tarafından önerilen model (Şekil 1), göbek betonu için sargı donatısının tesirini göz önüne alan Kent ve Park modeli (Şekil 2), çekme etkisi altındaki beton için Şekil 3-a’daki gerilme dağılımı ve donatı çeliği için de 3 adet doğrudan oluşan Şekil 3-b’deki gerilme dağılımı kullanılmıştır (Hognestad, 1951; Kent ve Park, 1971).



Şekil 1. Kabuk betonu için Hognestad modeli (Hognestad, 1951)

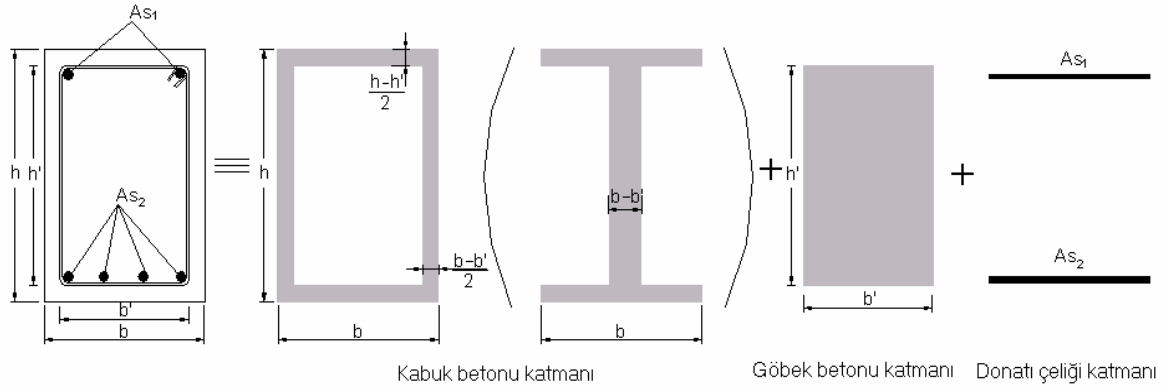


Şekil 2. Göbek betonu için Kent ve Park modeli (Kent ve Park, 1971)



Şekil 3. Çekme etkisi altındaki beton ve donatı çeliği için matematiksel model

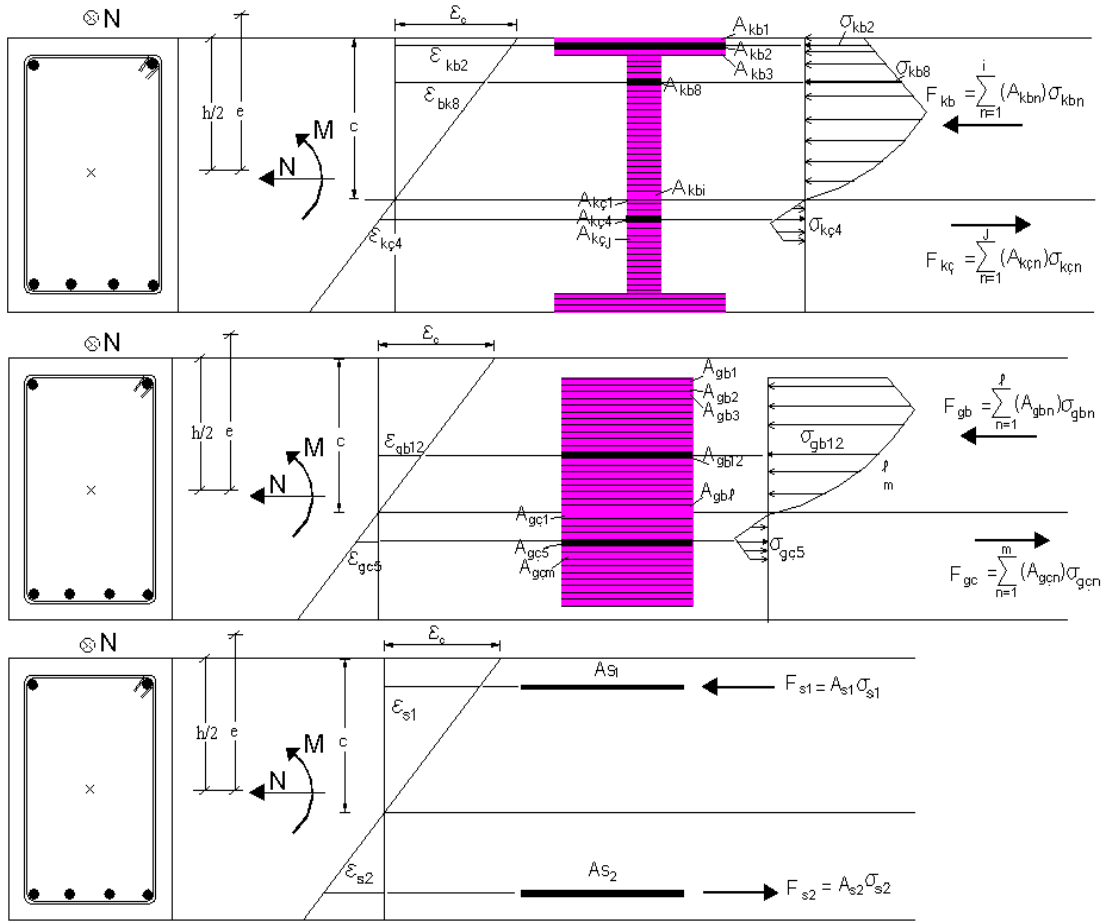
Bu hesap yönteminde kesit dikdörtgen şeritler halinde katmanlara ayrılmaktadır. Dört değişik katman tipi mevcuttur. Bunlar; kabuk betonu katmanı, göbek betonu katmanı, çekme etkisi altındaki beton katmanı (hem kabuk betonu, hem de göbek betonu için çekme bölgesindeki betonun gerilme dağılımının aynı olduğu kabul edilmiştir) ve donatı çeliği katmanıdır (Şekil 4).



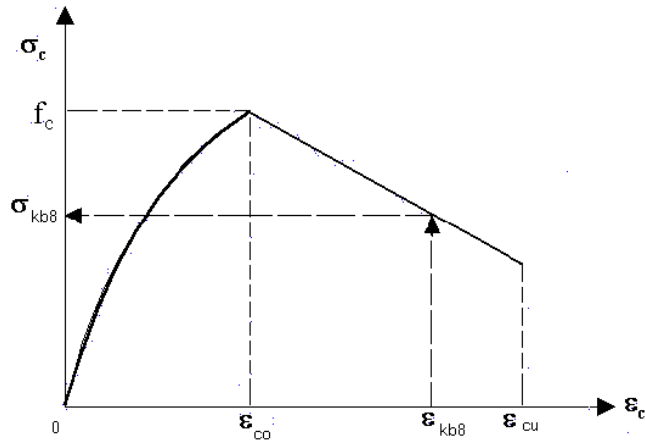
Şekil 4. Teorik moment-eğrilik ilişkisinin tayini için katmanlı modelleme tekniği

Kesitteki lineer olarak değiştiği kabul edilen birim deformasyon dağılımının tayini amacıyla, kabuk betonunun en dış lifindeki birim deformasyon için bir değer seçilir ve tarafsız eksenin yeri (c) için bir öndeğer kabul edilir (Şekil 5). Böylelikle kesit boyunca birim deformasyon dağılımı tespit edilmiş olur. Her bir şeridin orta noktası için karşılık gelen birim deformasyon tespit edilir ve katman tipine göre malzemenin gerilme-birim deformasyon bağıntılarından, her şerit için, o birim deformasyonlara karşılık gelen gerilmeler tespit edilir. Örnek olarak, kabuk betonu katmanını basınç bölgesi için i adet şeride bölünsün ve bu şeritlerin alanları $A_{kb1}, A_{kb2}, \dots, A_{kbi}$ olsun. Çekme bölgesi de aynı şekilde j adet şeride bölünsün ve alanları $A_{kç1}, A_{kç2}, \dots, A_{kçj}$ olsun. Basınç bölgesi için her bir şeridin ortasına denk gelen birim deformasyon daha önce kabul edilen birim deformasyon dağılımından $\epsilon_{kb1}, \epsilon_{kb2}, \dots, \epsilon_{kbi}$, ve çekme bölgesinde $\epsilon_{kç1}, \epsilon_{kç2}, \dots, \epsilon_{kçj}$ olarak tespit edilir. Her şeride etkiyen gerilme, o şeridin birim deformasyon değerine şeridin malzemesinin gerilme-birim deformasyon bağıntısından karşılık gelen değer okunarak belirlenir. Örnek olarak basınç bölgesindeki 8 numaralı şeridin alanı A_{kb8} ve karşılık gelen birim deformasyonu ϵ_{kb8} ise şeridin gerilme değeri kabuk betonu için gerilme-birim deformasyon dağılımından 8 nolu katman için σ_{kb8} olarak bulunur (Şekil 6). Bu şeride etkiyen basınç kuvveti ise $F_{kb8} = (\sigma_{kb8}) \cdot (A_{kb8})$ dir. Çekme bölgesinde ise bu kuvvetin işareti negatif olacaktır. Aynı işlem göbek betonu katmanındaki şeritler için de tek tek gerçekleştirilecektir. Her şerit için bulunan bu kuvvetler işaretleri de göz önüne alınarak toplanır ve denge koşulunun sağlanması için donatılardaki kuvvetler de eklenirse kesite etkiyen toplam kuvvet bulunur. Burada çekme bölgesindeki katmanlarda kuvvet değerinin negatif olacağına dikkat etmek gerekir.

Şekil 6'da bulunan toplam kuvvet ΣF ve kesite etkiyen aksenal yük N değerlerinin farkı eğer sıfırdan büyük ise daha küçük bir " c " değeri, eğer sonuç negatif ise daha büyük bir " c " değeri seçilerek aynı işlemler tekrarlanır. Toplam kuvvet farkının kabul edilebilir hatadan küçük çıkması durumunda; her bir şeride etkiyen kuvvetin kesit geometrik merkezine göre momenti alınarak kesit üzerindeki M moment değeri belirlenir. Bu momente karşılık gelen eğrilik ise en dış beton lifindeki birim uzamanın, tarafsız eksenin yeri için belirlenen " c " değerine bölünerek bulunur. Bu işlem basamakları en dış beton lifindeki birim deformasyon değeri değiştirilerek 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.

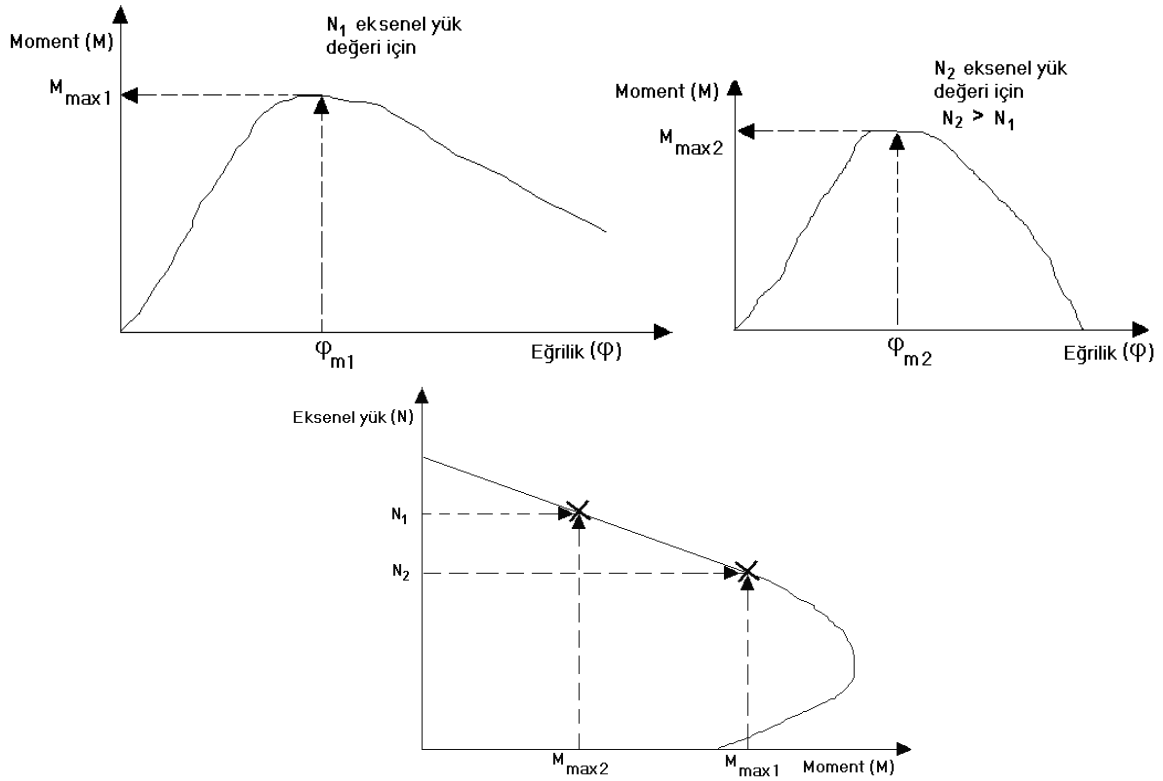


Şekil 5. Kabuk, göbek ve donatı çeliği katmanlarındaki kuvvetlerin bulunuşu



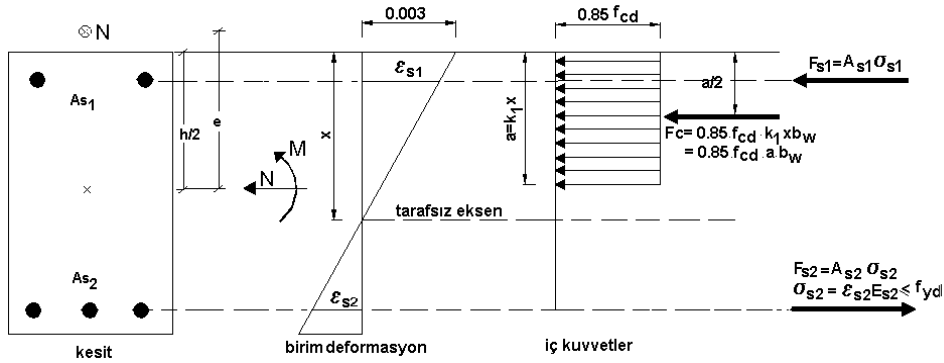
Şekil 6. Kabuk beton katmanında 8 nolu şerit için gerilme değeri

Kolonlarda karşılıklı etkileşim diyagramını elde etmek için değişik eksenel yük düzeylerine karşılık gelen moment-eğrilik ilişkileri elde edilir (Şekil 7). Her eksenel yük düzeyi için elde edilen moment-eğrilik ilişkilerinden maksimum moment tespit edilir. Elde edilen maksimum moment ve buna karşılık gelen eksenel yük değerlerinden, kesit için karşılıklı etkileşim diyagramı (dayanım zarfı) elde edilir.



Şekil 7. Betonarme kolon için karşılıklı etkileşim diyagramının analitik olarak tespiti

TS500'e göre karşılıklı etkileşim diyagramını elde etmek için, "Excel" bilgisayar programı ile bir elektronik hesap cetveli oluşturulmuştur. TS500'de beton, kabuk ve göbek betonu olarak ikiye ayrılmamaktadır. Basınç bölgesindeki parabolik beton gerilme dağılımı eşdeğer dikdörtgen olarak varsayılmakta ve basınç bölgesinin en dış beton lifindeki birim kışalmanın 0.003'e eşit olduğu kabul edilmektedir. Daha önce anlatılan prosedüre benzer şekilde kesite etkiyen bir N_1 eksenel yükü için bir tarafsız eksen değeri öngörülür. En dış beton lifindeki birim kışalmanın 0.003 olduğu varsayılarak birim deformasyon dağılımı tayin edilir. Daha sonra dikdörtgen gerilme dağılımının bileşkesinin yeri ve büyüklüğü bulunur. Aynı şekilde birim deformasyon dağılımından donatılardaki birim uzama veya kışalma, donatı çeliği için gerilme-birim deformasyon dağılımından da donatı çeliğindeki kuvvet bulunur (Şekil 8). Yatay denge denkleminde elde edilen kuvvet farkının kabul edilebilir hatadan büyük çıkması durumunda tarafsız eksenin yeri (c) değiştirilerek aynı prosedür tekrarlanır. Bu işlem değişik eksenel yük değerleri için tekrarlanarak karşılıklı etkileşim diyagramı elde edilir. TS 500'e göre hesap edilen karşılıklı etkileşim diyagramı ve geliştirilen bilgisayar programı ile elde edilen karşılıklı etkileşim diyagramları da karşılaştırılmıştır.

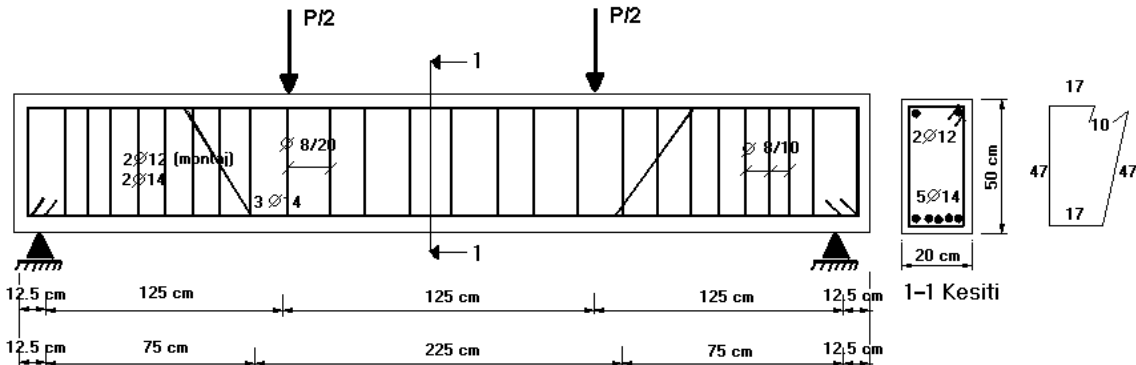


Şekil 8. TS500'e göre eşdeğer dikdörtgen gerilme dağılımı

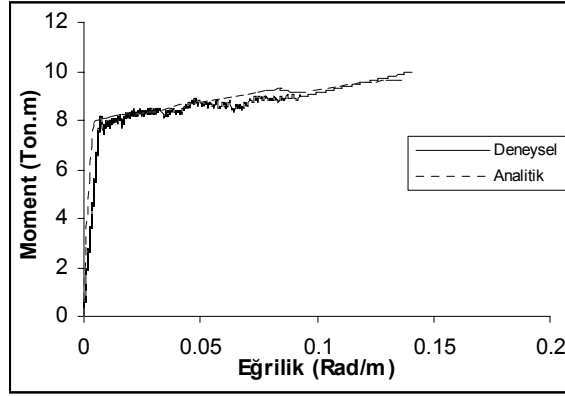
Ersoy, daha gerçekçi bir karşılıklı etkileşim diyagramı elde etmek için TS 500 yönteminde f_{yd} yerine f_{yk} ve f_{cd} yerine f_{cc} ($f_{cc}=1.15f_{ck}$) kullanılmasını önermektedir. Bu çalışmada ayrıca bu kabule göre bulunan karşılıklı etkileşim diyagramları da karşılaştırılmıştır (Ersoy, 1998).

3. ANALİTİK SONUÇLARIN DENEYSEL SONUÇLARLA KARŞILAŞTIRILMASI

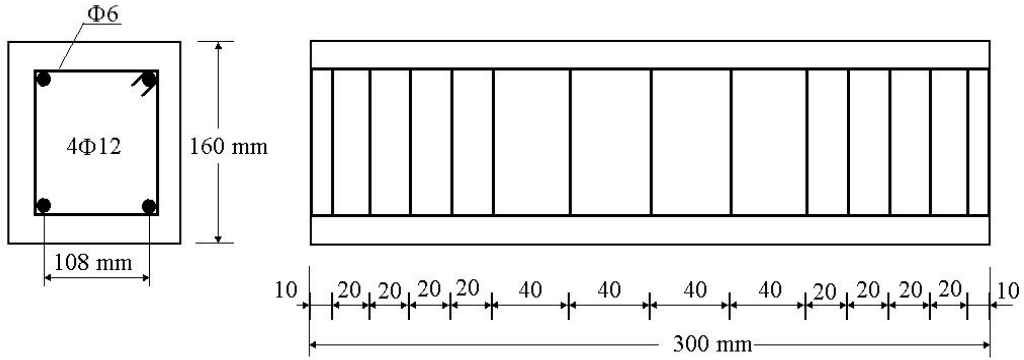
Geliştirilen programla elde edilen analitik sonuçların doğruluğunun saptanması için Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında test edilen bir kirişin kesiti incelenmiştir (Kamanlı, 1999). 20x50 cmxcm boyutlarındaki kesitin donatısı ve malzeme özellikleri (BS20, BÇIII) Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 10'da ise deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırmalı moment-eğrilik grafikleri verilmiştir. Şekil 11'de ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarında aksenal yük altında test edilen kolon kesit özellikleri, Şekil 12'de ise deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir (Köken, 1997). Şekil 10 ve Şekil 12'den de görüleceği gibi deneysel sonuçlar analitik sonuçları sağlamaktadır. Bu nedenle programın hesap metodunun doğru olduğu söylenebilir.



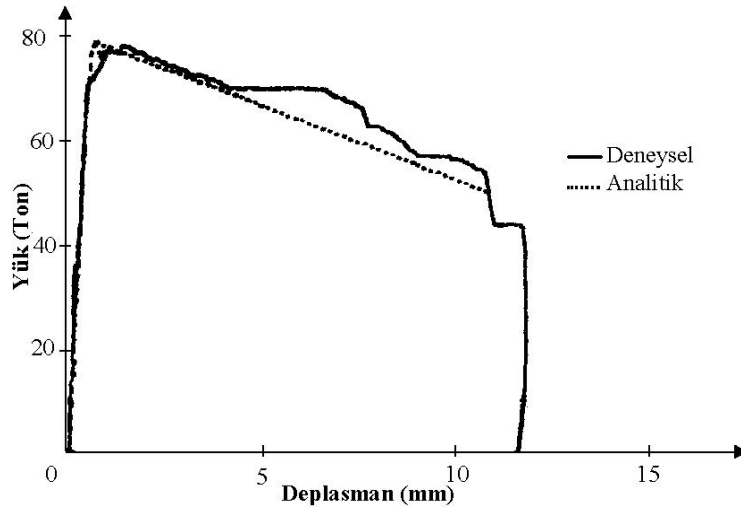
Şekil 9. Test edilen kirişin kesit ve donatı özellikleri



Şekil 10. Kiriş için deneysel ve teorik moment-eğrilik grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 11. Test edilen kolonun kesit ve donatı özellikleri



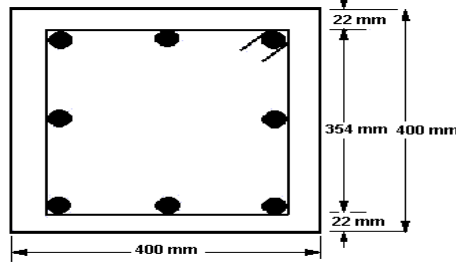
Şekil 12. Kolon için deneysel ve teorik moment-eğrilik grafiklerinin karşılaştırılması

4. TASARIM DEĞİŞKENLERİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Tasarım değişkenlerinin incelenmesi için ele alınan örnek kolon kesiti 40x40 cmxcm boyutlarında Şekil 13'de verilen kesittir. Beton basınç dayanımı (f_{ck}), kolon boyuna donatısı akma dayanımı (f_{yk}), boyuna donatı oranı (ρ_t), etriye sıklığı (s), etriye miktarı (A_{sw}), etriye donatısı akma dayanımı (f_{ywk}) ve donatıda pekleşme kabulü incelenen değişkenlerdir.

Çizelgelerde maksimum moment" ifadesi incelenen kesit ve malzeme özellikleri için moment-eğrilik grafiğinden tespit edilen maksimum momenti, "beton dış lifinde $\epsilon=0.003$ 'e

karşılık gelen moment” ifadesi ise kesit için beton en dış lifinde $\varepsilon=0.003$ lük bir birim kısalma olduğu durumda kesitin moment taşıma değeri olarak tanımlanmıştır. Ayrıca çizelgelerde çekme donatısında akma olduğu, çekme donatısında pekleşme olduğu, kabuk betonunda ezilme olduğu ve göbek betonunda ezilme olduğu andaki eğrilik değerleri de listelenmiştir.



Şekil 13. İncelenen kolon kesiti

4.1. Beton Basınç Dayanımının (f_{ck}) Etkisi

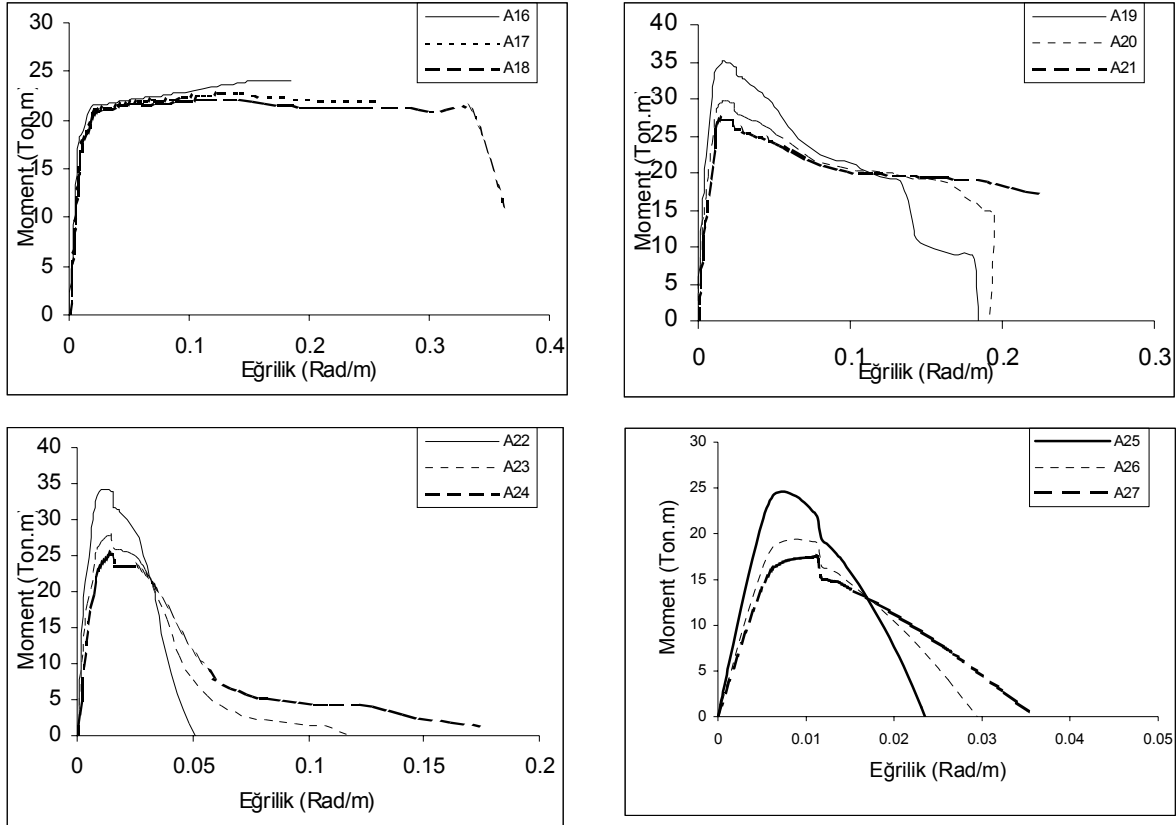
Çizelge 1’de ve Şekil 14 ile 15’de beton basınç dayanımı ile ilgili olarak incelenen 15 adet örneğin sonuçları özetlenmiştir. Basınç dayanımı ile ilgili incelenen diğer değişkenler, kolon eksenel yükü ve kolon boyuna donatısı oranıdır. Eksenel yükün olmadığı (basit eğilme) durumda beton basınç dayanımı davranış üzerinde fazlaca etkili değildir. Beton basınç dayanımı kolon eksenel yükünün artması ile davranış üzerinde daha etkili olmaktadır. Basınç dayanımında $\pm \%30$ ’luk bir değişim maksimum moment taşıma kapasitesinde $\pm \%25$ ’lik bir değişime neden olmaktadır. Ayrıca beton basınç dayanımının artması kolonun düktilitesinde azalmaya neden olmaktadır. Aynı davranış karşılıklı etkileşim diyagramından da izlenilebilmektedir. Eksenel yükün olmadığı durumda diyagramların kesiştiği görülmektedir.

Çizelge 1. Kolon davranışına beton basınç dayanımının (f_{ck}) etkisi

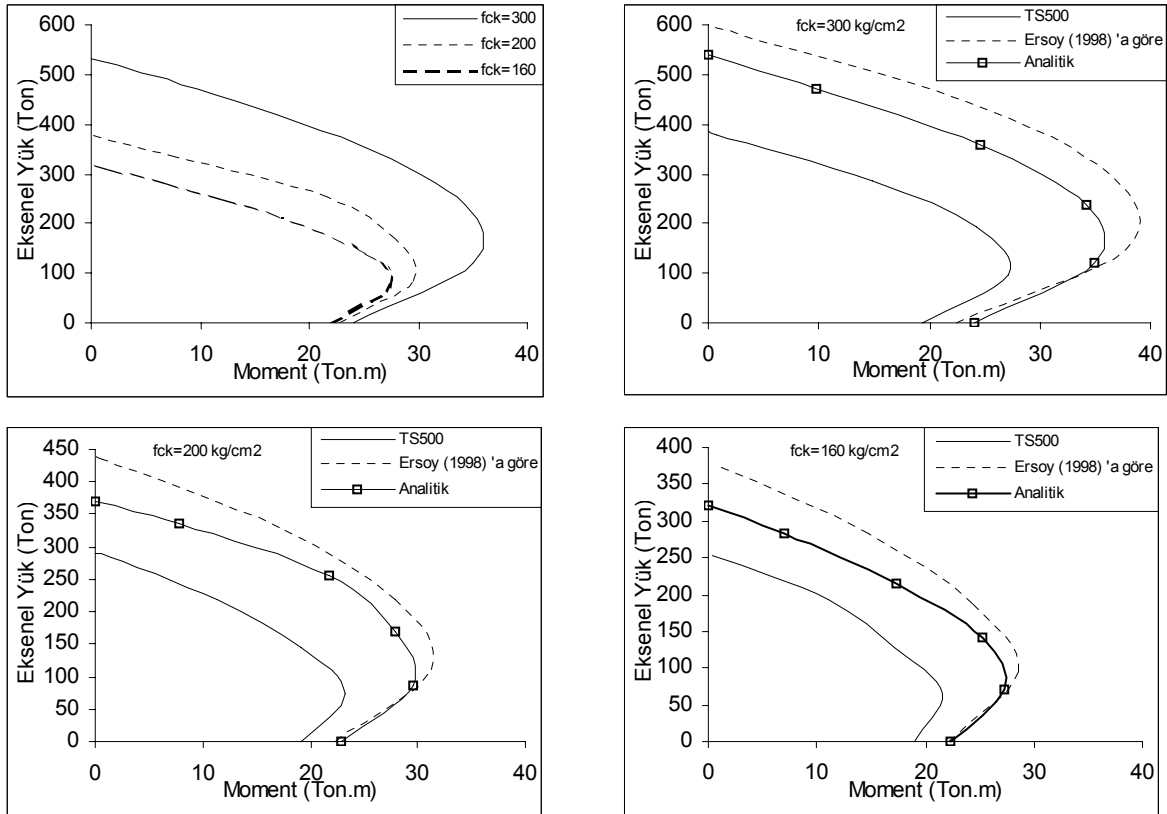
Eleman Özellikleri			Eğrilik (Rad/m)				Birim Uzama	Moment (Ton.m)	
Eleman ismi	f_{ck} kg/cm ²	N/N ₀	Çekme donatısında akma	Çekme donatısında pekleşme	Kabuk betonunda ezilme	Göbek betonunda ezilme	Maksimum momente karşılık gelen birim uzama	Maksimum moment	Beton dış lifinde $\varepsilon=0.003$ 'e karşılık gelen moment
A16	300	0	0.0085	0.0365	0.0321	0.0492	0.0125	24.10	22.04
A17	200	0	0.0105		0.0245	0.0350	0.0125	22.82	21.50
A18	160	0	0.0093	0.0363	0.0212	0.0323	0.0125	22.24	21.24
A19	300	0.25	0.0112		0.0120	0.0141	0.0028	35.01	34.97
A20	200	0.25	0.0171		0.0115	0.0125	0.0032	29.62	29.61
A21	160	0.25	0.0167		0.0112	0.0118	0.0032	23.69	23.69
A22	300	0.5	0.0251		0.0079	0.0089	0.0032	34.24	34.20
A23	200	0.5	0.0264		0.0077	0.0081	0.0040	27.92	27.24
A24	160	0.5	0.0263		0.0076	0.0079	0.0040	25.31	24.26
A25	300	0.75			0.0078	0.0071	0.0028	24.61	24.42
A26	200	0.75			0.0054	0.0065	0.0036	21.72	21.42
A27	160	0.75			0.0048	0.0059	0.0036	17.38	17.13

Not: Tüm elemanlar için; eleman boyutları, 40x40 cmxcm, $f_{yk}=4200$ kg/cm², boyuna donatı $\rho=0.02$, etriye: $\Phi 8/15$ seçilmiştir.

Çizelgedeki boş değerler; incelenen aralıkta karşılık gelen olayın gerçekleşmediğini ifade etmektedir.



Şekil 14. Beton basınç dayanımı (f_{ck}) ile ilgili örneklerin karşılaştırmalı moment-eğrilik grafikleri



Şekil 15. Beton basınç dayanımı (f_{ck}) ile ilgili örneklerin karşılaştırmalı karşılıklı etkileşim diyagramları

Çizelge 2. Kolon davranışına etriye donatısı akma dayanımının (f_{wk}) etkisi

Eleman Özellikleri			Eğrilik (Rad/m)				Birim Uzama	Moment (Ton.m)	
Eleman ismi	f_{yk} kg/cm ²	N/N ₀	Çekme donatısında akma	Çekme donatısında pekleşme	Kabuk betonunda ezilme	Göbek betonunda ezilme	Maksimum momente karşılık gelen birim uzama	Maksimum moment	Beton dış lifinde $\epsilon=0.003'e$
B1	4200	0	0.0082	0.0338	0.0391	0.0648	0.0100	13.56	12.11
B2	3600	0	0.0082	0.0338	0.0391	0.0647	0.0100	13.55	12.11
B3	3000	0	0.0082	0.0337	0.0390	0.0646	0.0100	13.53	12.11
B4	2200	0	0.0082	0.0337	0.0390	0.0645	0.0100	13.50	12.11
B5	4200	0.25	0.0115	0.0520	0.0133	0.0151	0.0034	21.43	21.41
B6	3600	0.25	0.0115	0.0518	0.0133	0.0151	0.0032	21.37	21.36
B7	3000	0.25	0.0115	0.0515	0.0133	0.0150	0.0032	21.32	21.31
B8	2200	0.25	0.0114	0.0534	0.0132	0.0150	0.0032	21.26	21.25
B9	4200	0.5	0.0194		0.0082		0.0038	22.91	22.53
B10	3600	0.5	0.0193		0.0082		0.0038	22.72	22.37
B11	3000	0.5	0.0210		0.0081		0.0038	22.53	22.22
B12	2200	0.5	0.0208		0.0081		0.0038	22.27	22.01
B13	4200	0.75			0.0057		0.0030	17.27	17.27
B14	3600	0.75			0.0057		0.0030	17.01	17.01
B15	3000	0.75			0.0045		0.0030	16.75	16.75
B16	2200	0.75			0.0045		0.0030	16.39	16.39

Not: Tüm elemanlar için; boyutları 40x40 cmxcm, $f_{ck}=300$ kg/cm², $f_{yk}=4200$ kg/cm², boyuna donatı $\rho=0.011$, etriye:Φ8/15 seçilmiştir.

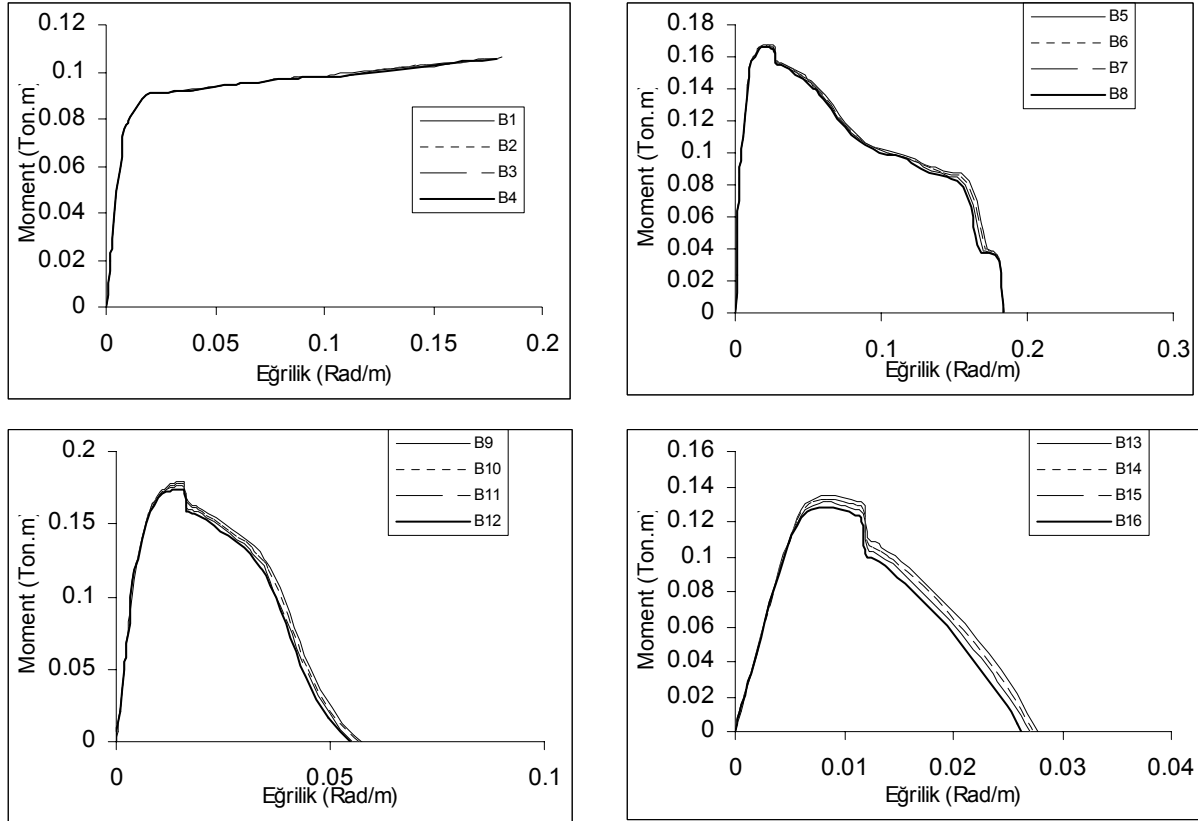
Çizelgedeki boş değerler; incelenen aralıkta karşılık gelen olayın gerçekleşmediğini ifade etmektedir.

4.2. Kolon Etriye Donatısı Akma Dayanımının (f_{wk}) Etkisi

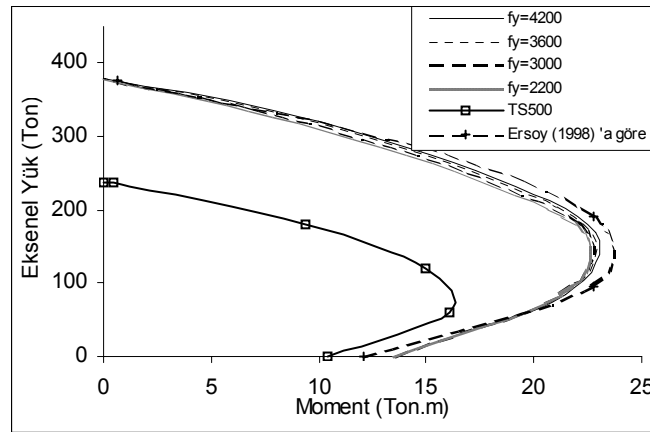
Etriye donatısının akma dayanımının kolon davranışına hiç bir eksenel yük düzeyinde etkisi olmadığı Çizelge 2 ve Şekil 16 ile 17'den açıkça görülmektedir.

4.3. Etriye Sıklığının (s) ve Etriye Miktarının (A_{sw}) Etkisi

Kolonda etriye sıklığının düşük eksenel yük düzeyi için davranış üzerinde etkili olmadığı görülmektedir (Çizelge 3, Şekil 18, 19). Eksenel yük düzeyinin artması durumunda ise, etriye aralığının azalmasının maksimum moment taşıma kapasitesi ve duktilite üzerinde olumlu etkisi vardır. Bu nedenle, etriye seçilirken daha küçük çaplı ama daha sık etriye yerleştirilmesi tavsiye edilmektedir. Ayrıca burada geliştirilen bilgisayar programının boyuna donatıda burkulmayı göz önüne almadığını belirtmekte yarar vardır.



Şekil 16. Etriye donatısı akma dayanımı (f_{ywk}) ile ilgili örneklerin karşılaştırmalı moment eğrilik grafikleri



Şekil 17. Etriye donatısı akma dayanımı (f_{ywk}) ile ilgili örneklerin karşılaştırmalı karşılıklı etkileşim diyagramı

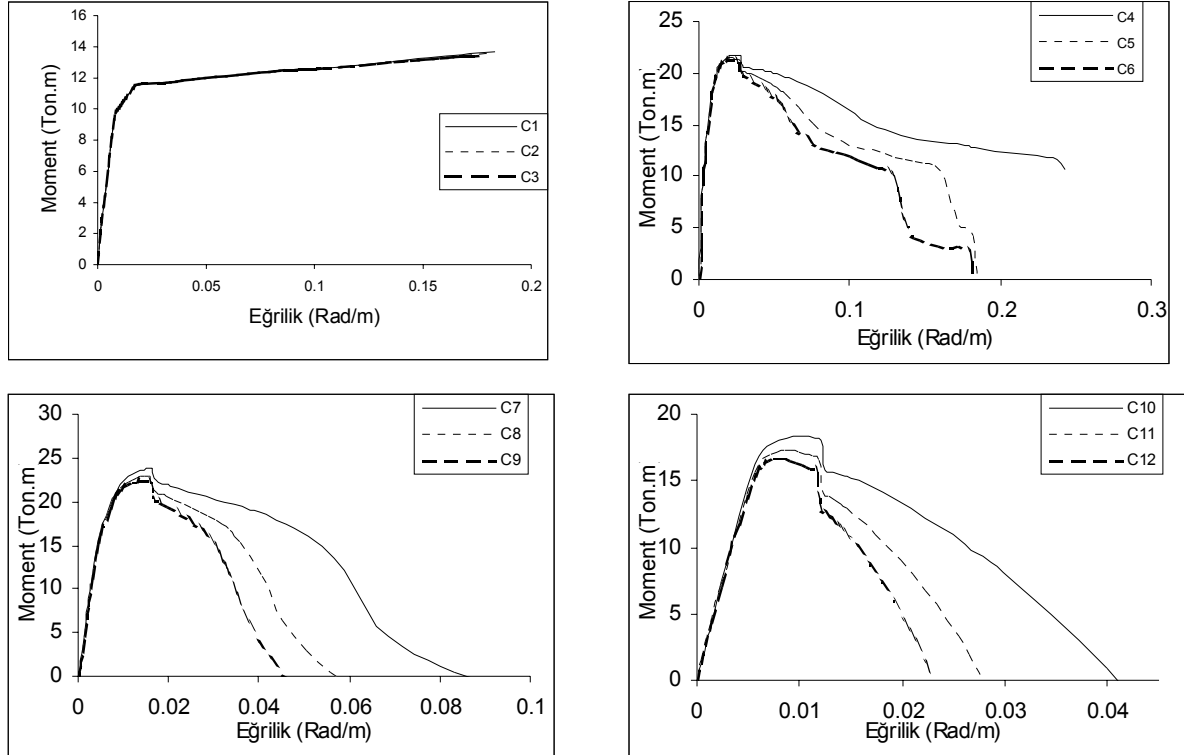
Kolonlarda etriye miktarının artması maksimum moment kapasitesi üzerinde az miktarda artışa neden olurken düktilite üzerinde daha fazla olumlu etkiye sahiptir (Çizelge 4, Şekil 20-Şekil 21). Etriye miktarının artması göbek betonunda ezilmeyi geciktirdiği gözlenmektedir. Ayrıca etriye miktarının davranış üzerindeki etkisi aksinel yük düzeyinin artması ile daha belirginleşmektedir.

Çizelge 3. Kolon davranışına etriye sıklığının (s) etkisi

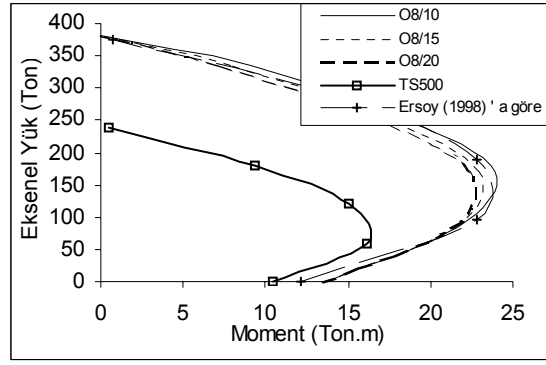
Eleman Özellikleri		Eğrilik (Rad/m)				Birim Uzama	Moment (Ton.m)		
Eleman ismi	Etriye sıklığı s (cm)	N/N ₀	Çekme donatısında akma	Çekme donatısında pekleşme	Kabuk betonunda ezilme	Göbek betonunda ezilme	Maksimum momente karşılık gelen birim uzama	Maksimum moment	Beton dış lifinde $\epsilon=0.003$ 'e karşılık gelen moment
C1	10	0	0.0082	0.0339	0.0393	0.0702	0.0095	13.68	12.12
C2	15	0	0.0082	0.0338	0.0391	0.0648	0.0100	13.56	12.11
C3	20	0	0.0082	0.0338	0.0390	0.0646	0.0100	13.41	12.11
C4	10	0.25	0.0116	0.0495	0.0135	0.0171	0.0036	21.65	21.57
C5	15	0.25	0.0115	0.0520	0.0133	0.0151	0.0034	21.43	21.41
C6	20	0.25	0.0115	0.0531	0.0133	0.0151	0.0032	21.31	21.31
C7	10	0.5	0.0184		0.0093		0.0040	23.88	23.11
C8	15	0.5	0.0194		0.0092		0.0038	22.91	22.53
C9	20	0.5	0.0207		0.0081		0.0036	22.38	22.19
C10	10	0.75			0.0057		0.0034	18.34	18.26
C11	15	0.75			0.0057		0.0030	17.27	17.27
C12	20	0.75			0.0056		0.0028	16.70	16.69

Not: Tüm elemanlar için; eleman boyutları 40x40 cmxcm, $f_{ck}=300 \text{ kg/cm}^2$, $f_{yk}=4200 \text{ kg/cm}^2$, boyuna donatı $\rho=0.011$ seçilmiştir.

Çizelgedeki boş değerler; incelenen aralıkta karşılık gelen olayın gerçekleşmediğini ifade etmektedir.



Şekil 18. Etriye sıklığı (s) ile ilgili örneklerin karşılaştırmalı moment-eğrilik grafikleri



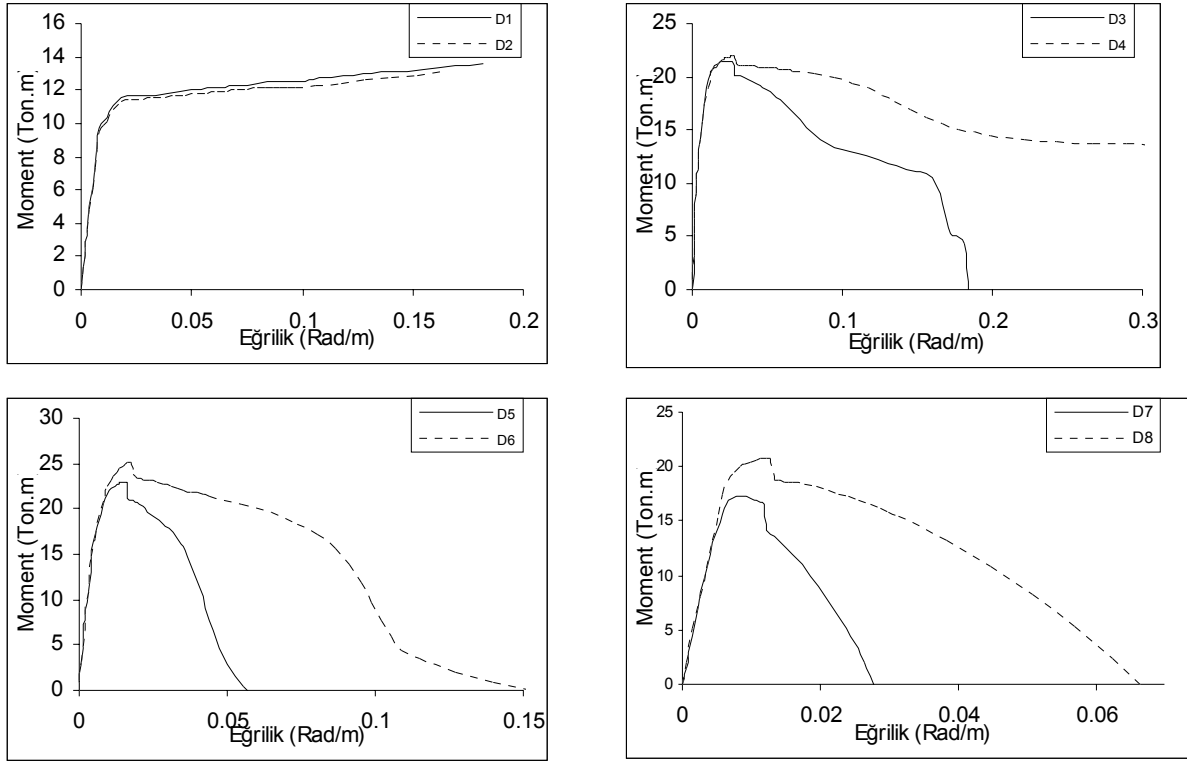
Şekil 19. Etriye sıklığı (s) ile ilgili örneklerin karşılaştırmalı karşılıklı etkileşim diyagramları

Çizelge 4. Etriye miktarının (A_{sw}) etkisi

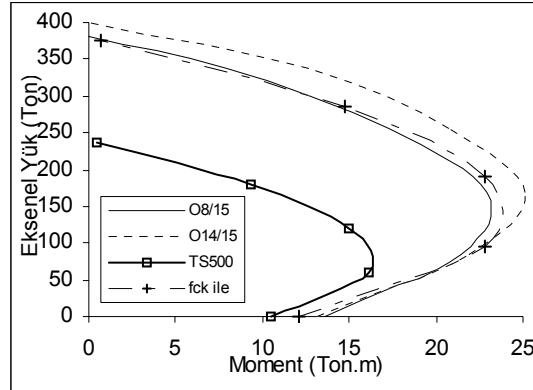
Eleman Özellikleri			Eğrilik (Rad/m)				Birim Uzama	Moment (Ton.m)	
Eleman ismi	Etriye	N/N ₀	Çekme donatısında akma	Çekme donatısında pekleşme	Kabuk betonunda ezilme	Göbek betonunda ezilme	Maksimum momente karşılık gelen birim uzama	Maksimum moment	Beton dış lifinde $\epsilon=0.003$ 'e karşılık gelen moment
D1	Φ 8	0	0.0082	0.0338	0.0391	0.0648	12.11	13.56	0.0100
D2	Φ14	0	0.0082	0.0331	0.0398	0.0710	11.83	13.09	0.0080
D3	Φ 8	0.25	0.0115	0.0520	0.0133	0.0151	21.41	21.43	0.0034
D4	Φ14	0.25	0.0118	0.0475	0.0137	0.0193	21.68	21.93	0.0040
D5	Φ 8	0.5	0.0194		0.0082	0.0111	22.54	22.92	0.0038
D6	Φ14	0.5	0.0164		0.0085	0.0117	24.10	25.12	0.0038
D7	Φ 8	0.75			0.0057	0.0071	17.27	17.27	0.0030
D8	Φ14	0.75			0.0059	0.0076	20.27	20.76	0.0040

Not: Tüm elemanlar için; boyutlar 40x40 cmxcm, $f_c=300$ kg/cm², $f_{yk}=4200$ kg/cm², boyuna donatı $\rho=0.011$., etriye sıklığı 15 cm seçilmiştir.

Çizelgedeki boş değerler; incelenen aralıkta karşılık gelen olayın gerçekleşmediğini ifade etmektedir.



Şekil 20. Etriye miktarı (A_{sw}) ile ilgili örneklerin karşılaştırmalı moment-eğrilik grafikleri



Şekil 21. Etriye miktarı (A_{sw}) ile ilgili örneklerin karşılaştırmalı karşılıklı etkileşim diyagramı

4.4. Boyuna Donatı Oranının (ρ_t) Etkisi

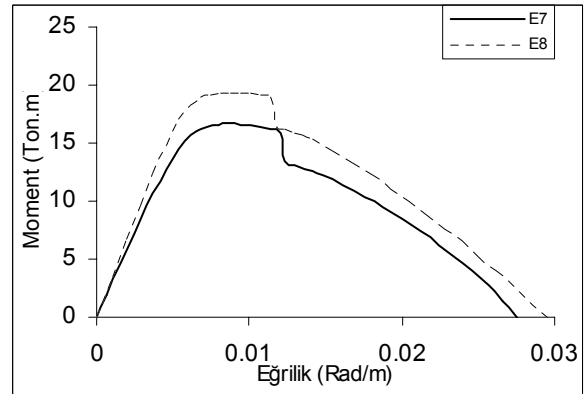
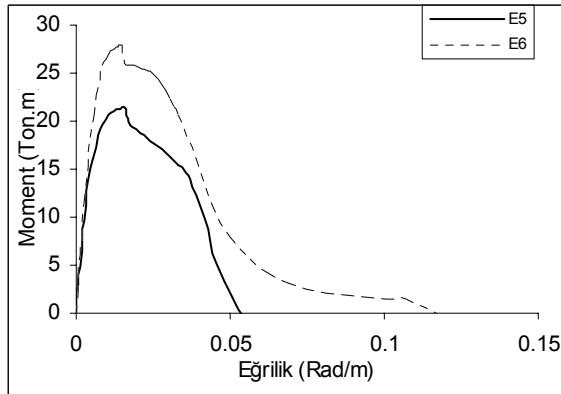
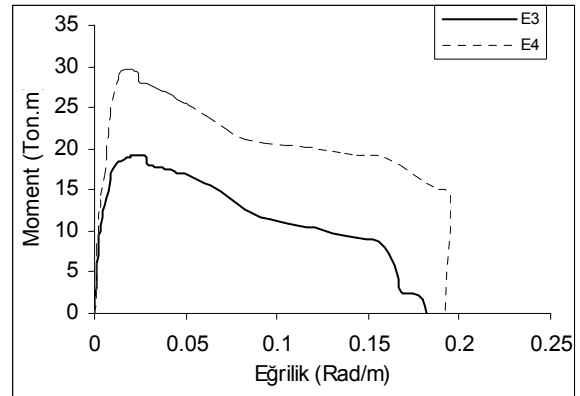
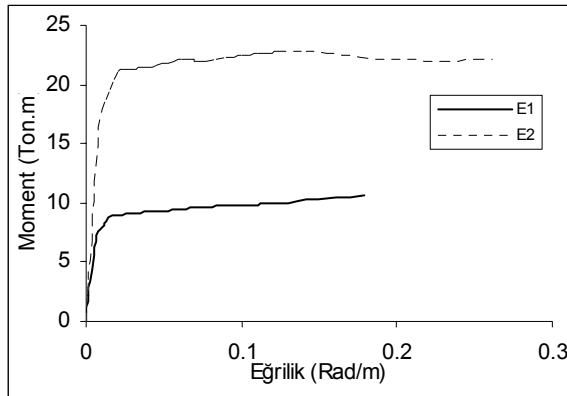
Boyuna donatı oranı, kolon davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Donatı oranında $\pm\%30$ luk bir değişim kolonun maksimum moment taşıma kapasitesinde $\pm\%15$ 'lik bir değişime neden olmaktadır. Kolonun boyuna donatı oranının etkisi, kolon eksenel yükünün az olduğu durumda çok fazla iken, eksenel yükün artması ile azalmaktadır. Boyuna donatı oranı kolonun başlangıç eksenel (axial initial stiffness) rijitliğini de bir miktar etkilemekte, diğer yandan düktiliteyi çok etkilememektedir (Çizelge 5, Şekil 22, 23).

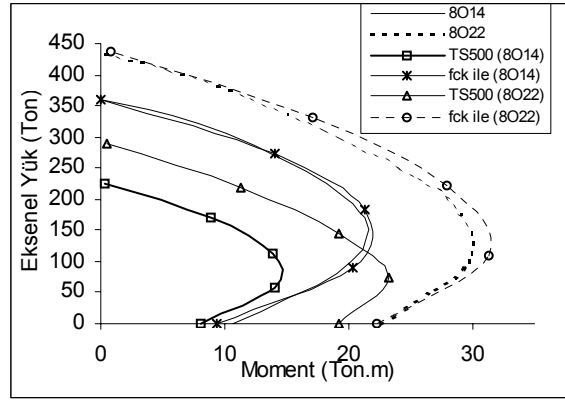
Çizelge 5. Kolon davranışına boyuna donatı oranının (ρ_t) etkisi

Eleman Özellikleri			Eğrilik (Rad/m)				Birim Uzama	Moment (Ton.m)	
Eleman ismi	ρ_t	N/N ₀	Çekme donatısında akma	Çekme donatısında pekleşme	Kabuk betonunda ezilme	Göbek betonunda ezilme	Maksimum momente karşılık gelen birim uzama	Maksimum moment	Beton dış lifinde $\varepsilon=0.003$ 'e karşılık gelen moment
E1	0.008	0	0.0079	0.0348	0.0471	0.0860	0.0080	10.61	9.55
E2	0.020	0	0.0105	0.0371	0.0245	0.0532	0.0125	22.82	21.50
E3	0.008	0.25	0.0122	0.0494	0.0141	0.0178	0.0034	19.11	19.09
E4	0.020	0.25	0.0142		0.0115		0.0032	29.62	29.61
E5	0.008	0.5	0.0165		0.0084		0.0038	21.40	21.11
E6	0.020	0.5	0.0264		0.0077		0.0040	27.92	27.24
E7	0.008	0.75			0.0058		0.0030	16.65	16.65
E8	0.020	0.75			0.0054		0.0032	19.37	19.34

Not: Tüm elemanlar için; eleman boyutları 40x40 cmxcm, $f_{ck}=300$ kg/cm², $f_{yk}=4200$ kg/cm², etriye:Φ8/15 seçilmiştir.

Çizelgedeki boş değerler; incelenen aralıkta karşılık gelen olayın gerçekleşmediğini ifade etmektedir.

Şekil 22. Boyuna donatı oranı (ρ_t) ile ilgili örneklerin karşılaştırmalı moment-eğrilik grafikleri

Şekil 23. Boyuna donatı oranı (ρ_t) ile ilgili örneklerin karşılaştırmalı karşılıklı etkileşim diyagramları

4.5. Kolon Boyuna Donatısı Akma Dayanımının (f_{yk}) Etkisi

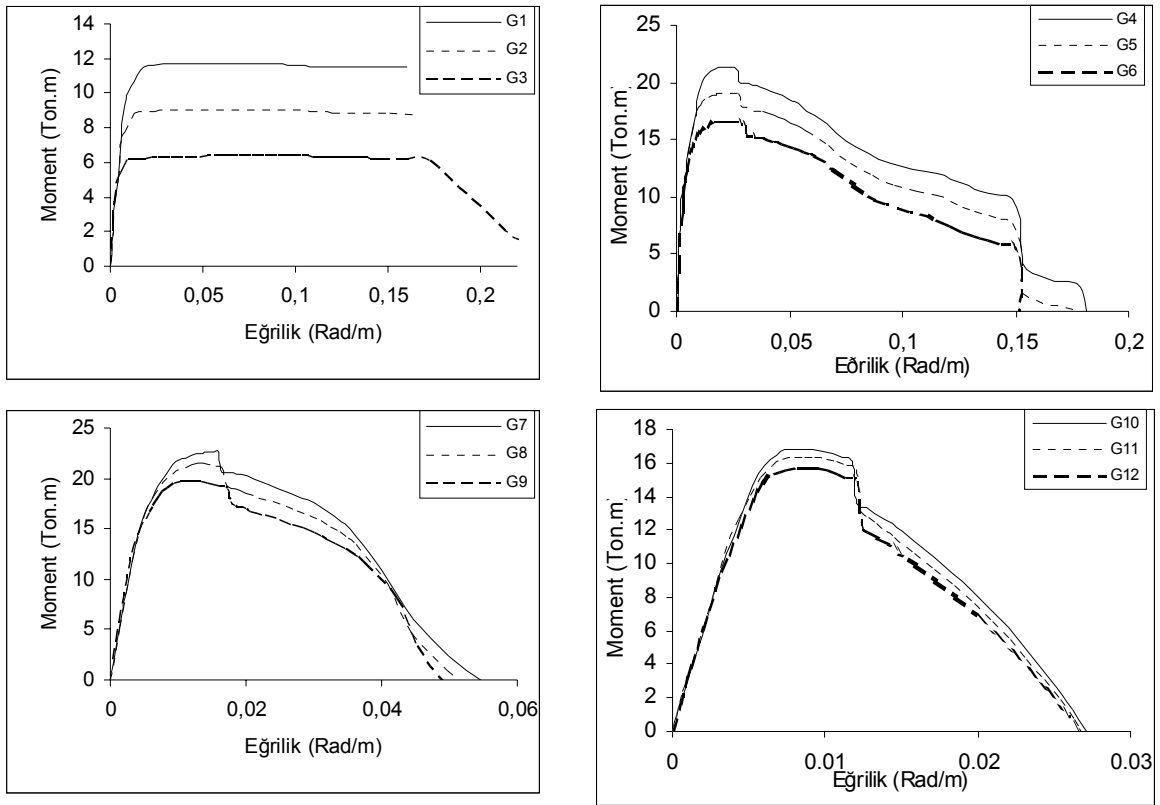
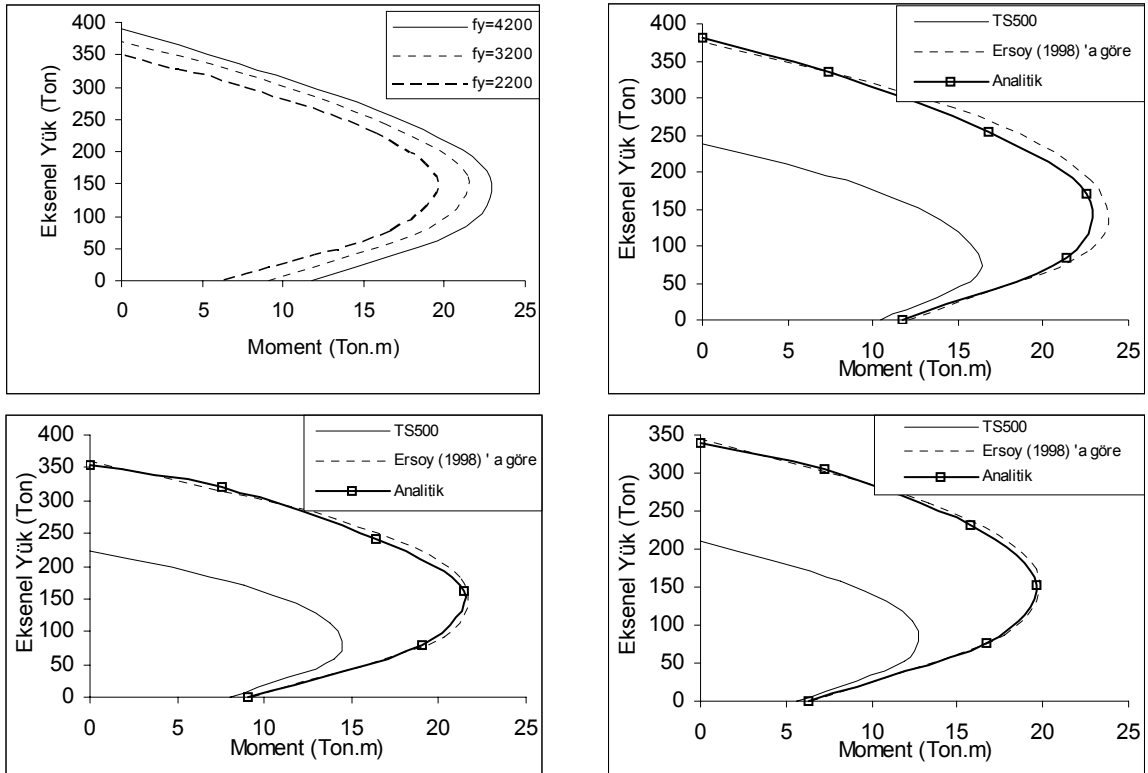
Kolon boyuna donatısı akma dayanımı, aksel yükün olmadığı (eğilme davranışı) durumunda çok etkin bir parametredir. Kolonda aksel yükün artması ile bu etkinlik azalmaktadır. Genel olarak donatı akma dayanımında $\pm\%30$ luk bir değişim maksimum moment kapasitesinde $\pm\%10$ luk bir değişime neden olmaktadır. Ayrıca kolonun başlangıç aksel rijitliği, boyuna donatının akma dayanımından bağımsızdır (Çizelge 6, Şekil 24, 25).

Çizelge 6. Kolon davranışına boyuna donatı akma dayanımının (f_{yk}) etkisi

Eleman Özellikleri			Eğrilik (Rad/m)				Birim Uzama	Moment (Ton.m)	
Eleman ismi	f_{yk} (kg/cm ²)	N/N ₀	Çekme donatısında akma	Çekme donatısında pekleşme	Kabuk betonunda ezilme	Göbek betonunda ezilme	Maksimum momente karşılık gelen birim uzama	Maksimum moment	Beton dış lifinde $\epsilon=0.003$ 'e karşılık gelen moment
G1	4200	0	0.0082	0.0338	0.0393	0.0663	0.0026	11.74	11.73
G2	3200	0	0.0061	0.0251	0.0494	0.0918	0.0024	9.05	9.05
G3	2200	0	0.0057	0.0235	0.0630	0.1261	0.0026	6.33	6.32
G4	4200	0.25	0.0115	0.0521	0.0133	0.0151	0.0032	21.34	21.33
G5	3200	0.25	0.0087	0.0393	0.0142	0.0159	0.0034	19.07	19.05
G6	2200	0.25	0.0075	0.0311	0.0148	0.0164	0.0028	16.69	16.67
G7	4200	0.50	0.0211		0.0081	0.0087	0.0038	22.59	19.88
G8	3200	0.50	0.0137		0.0083	0.0093	0.0032	21.49	21.49
G9	2200	0.50	0.0104		0.0084	0.0094	0.0028	19.67	19.63
G10	4200	0.75	0.0225		0.0056	0.0060	0.0030	16.84	16.84
G11	3200	0.75	0.0151		0.0058	0.0065	0.0030	16.37	16.37
G12	2200	0.75	0.0124		0.0059	0.0067	0.0030	15.78	15.78

Not: Tüm elemanlar için; eleman boyutları 40x40 cmxcm, $f_{ck}=300$ kg/cm², boyuna donatı $\rho=0.011$, etriye: $\Phi 8/15$ seçilmiştir.

Çizelgedeki boş değerler; incelenen aralıkta karşılık gelen olayın gerçekleşmediğini ifade etmektedir.

Şekil 24. Boyuna donatı akma dayanımı (f_{yk}) ile ilgili örneklerin karşılaştırmalı moment-eğrilik grafikleriŞekil 25. Boyuna donatı akma dayanımı (f_{yk}) ile ilgili örneklerin karşılaştırmalı karşılıklı etkileşim diyagramları

4.6. Kolon Aksel Yükle Düzeyinin (N/N₀) Etkisi

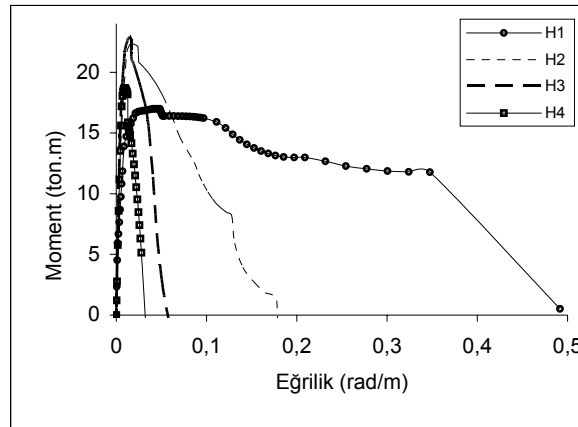
Kolonda aksel yük düzeyi arttıkça süneklik azalmaktadır. Bu nedenle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te kolonlarda aksel yük düzeyi için $0.5x f_{ck} x A_c$ olarak bir üst sınır belirlenmiştir. Aksel yük düzeyinin $0.1x N_0$ dan $0.3x N_0$ 'a çıktığı durumda moment taşıma kapasitesindeki artış yanında düktilitedeki hızlı azalma dikkat çekicidir (Çizelge 7, Şekil 26).

Çizelge 7. Kolon davranışına aksel yük düzeyinin (N/N₀) etkisi

Eleman Özellikleri		Eğrilik (Rad/m)				Birim Uzama	Moment (Ton.m)	
Eleman ismi	N/N ₀	Çekme donatısında akma	Çekme donatısında pekleşme	Kabuk betonunda ezilme	Göbek betonunda ezilme	Maksimum momente karşılık gelen birim uzama	Maksimum moment	Beton dış lifinde $\epsilon=0.003$ 'e karşılık gelen moment
H1	0.1	0.0014	0.0032	0.0022	0.0026	0.0036	16.99	16.89
H2	0.3	0.0022		0.0022	0.0024	0.0030	22.34	22.34
H3	0.5	0.005		0.0021		0.0038	22.91	22.53
H4	0.7			0.0020		0.003	18.69	18.69

Not: • Tüm elemanlar için; boyutlar 40x40 cmxcm, $f_{ck}=300$ kg/cm², $f_{yk}=4200$ kg/cm², boyuna donatı $\rho=0.011$, etriye: $\Phi 8/15$ seçilmiştir.

- Çizelgedeki boş değerler; incelenen aralıkta karşılık gelen olayın gerçekleşmediğini ifade etmektedir.



Şekil 26. Kolon aksel yük düzeyinin etkisi (N/N₀) ile ilgili örneklerin karşılaştırmalı moment-eğrilik grafikleri

4.7. Donatı Pekleşmesinin Etkisi

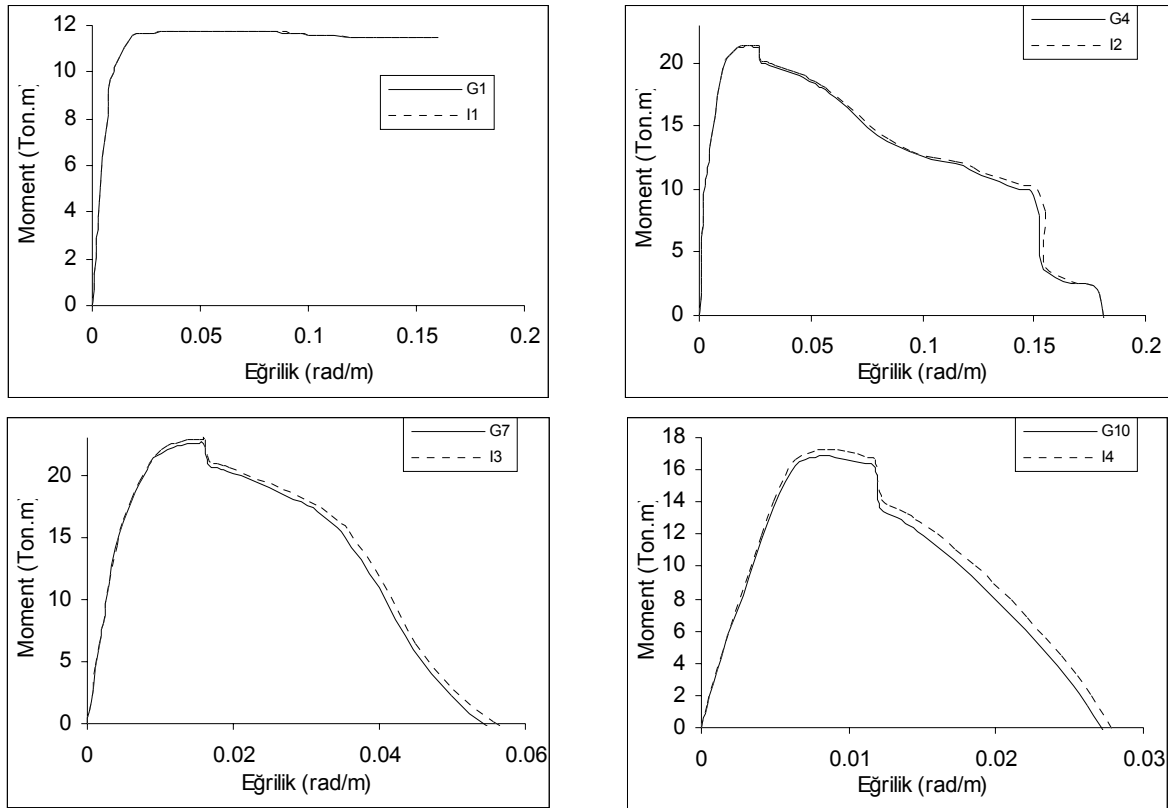
Şekil 27 ve 28'de donatı pekleşmesi ile ilgili incelenen örneklerin karşılaştırmalı moment-eğrilik grafikleri ve karşılıklı etkileşim diyagramları verilmiştir. Donatıda pekleşme aksel yüklü elemanların moment taşıma kapasitesi ve sünekliğine etkisi çok azdır. Donatıda meydana gelen pekleşmenin sadece moment-eğrilik eğrisinin tepe noktasından sonra rijitlik azalmasına olumlu etkisi vardır ve moment kapasitesi hesabında pekleşme etkisi göz ardı edilebilir.

Çizelge 8.Kolon davranışına donatı pekleşmesinin etkisi

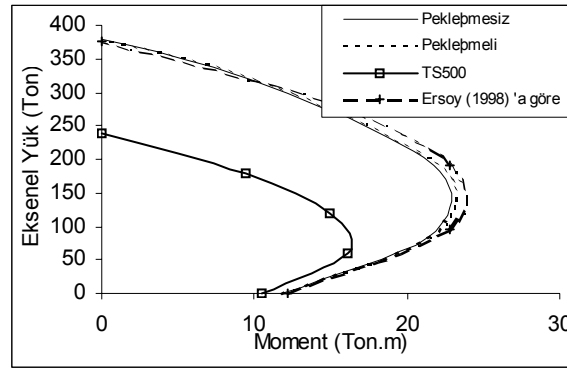
Eleman Özellikleri			Eğrilik (Rad/m)				Birim Uzama	Moment (Ton.m)	
Eleman ismi	f_{ck} (kg/cm ²)	N/N ₀	Çekme donatısında akma	Çekme donatısında pekleşme	Kabuk betonunda ezilme	Göbek betonunda ezilme	Maksimum momente karşılık gelen birim uzama	Maksimum moment	Beton dış lifinde $\varepsilon=0.003$ 'e karşılık gelen moment
I1	Yok	0.00	0.0082		0.0394	0.0718	0.0502	11.74	11.73
I2	Yok	0.25	0.0115		0.0133	0.0151	0.0228	21.43	21.41
I3	Yok	0.50	0.0194		0.0082		0.0153	22.91	22.53
I4	Yok	0.75			0.0057		0.0085	17.27	17.27
G1	Var	0.00	0.0082	0.0338	0.0393	0.0663	0.0026	11.74	11.73
G4	Var	0.25	0.0115	0.0520	0.0133	0.0151	0.0032	21.34	21.33
G7	Var	0.50	0.0211	0.0601	0.0081		0.0038	22.59	19.88
G10	Var	0.75			0.0056		0.0030	16.84	16.84

Not: Tüm elemanlar için; eleman boyutları 40x40 cmxcm, $f_c=300$ kg/cm², boyuna donatı 8Φ16, etriye:Φ8/15 seçilmiştir.

Çizelgedeki boş değerler; incelenen aralıkta karşılık gelen olayın gerçekleşmediğini ifade etmektedir.



Şekil 27. Boyuna donatıda pekleşmenin etkisi ile ilgili örneklerin karşılaştırmalı moment eğrilik grafikleri



Şekil 28. Boyuna donatıda pekleşmenin etkisi ile ilgili örneklerin karşılaştırmalı karşılıklı etkileşim diyagramları

5. SONUÇLAR

Betonarme elemanlarını tasarımını yapan kişiler için, betonarmenin davranışının iyi bilinmesi ve bu davranışı etkileyen parametrelerin etkisinin anlaşılması son derece önemlidir. Betonarme elemanın davranışı, moment-eğrilik ilişkisinden izlenilebilir (Ersoy vd., 1998). Betonarme elemanların kesitlerinin moment-eğrilik ilişkileri gerçekçi malzeme modellerine dayanan bilgisayar programları ile elde edilebilir. Kullanılacak analitik yöntemin gerçeği yansıtması, kullanılan malzeme modellerinin doğruluğuna bağlıdır. Geliştirilen analitik yöntemin geçerliliği deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak ispatlanmalıdır. Bu çalışmada kullanılan programın geçerliliği yazarlar tarafından, Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında çeşitli yüksek lisans çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen yaklaşık 20 adet deney sonuçları üzerinde test edilmiş ve burada iki adet deneysel sonuç ile analitik yöntemden elde edilen moment-eğrilik grafikleri verilmiştir.

Yukarıda özetlenen irdellemeler ışığında şu sonuçlara ulaşılabılır;

Eksenel yükün olmadığı (basit eğilme) durumda, beton basınç dayanımı davranış üzerinde fazlaca etkili değildir. Beton basınç dayanımı kolon eksenel yük düzeyinin artması ile davranış üzerinde daha etkili olmaktadır. Beton basınç dayanımının artması kolonun düktilitesinde azalmaya neden olmaktadır.

Etriye donatısının akma dayanımı kolon davranışına hiç bir eksenel yük düzeyinde etkili olmamaktadır.

Kolondaki etriye sıklığı, düşük eksenel yük düzeyi için davranış üzerinde etkili değildir. Eksenel yük düzeyinin artması durumunda etriye aralığının azalmasının maksimum moment taşıma kapasitesi ve düktilite üzerinde olumlu etkisi vardır.

Kolonlarda etriye miktarının artması maksimum moment kapasitesi üzerinde az miktarda artışa neden olurken, düktilite üzerinde daha fazla olumlu etkiye sahiptir. Etriye miktarının artmasının göbek betonunda ezilmeyi geciktirdiği gözlenmektedir. Ayrıca etriye miktarının davranış üzerindeki etkisi eksenel yük düzeyinin artması ile daha da belirginleşmektedir.

Boyuna donatı oranı, kolon davranışı üzerinde asıl ve önemli bir etkiye sahiptir. Kolon boyuna donatı oranının etkisi kolonda eksenel yük düzeyinin az olduğu durumda çok fazla iken, eksenel yükün artması ile bu etki azalmaktadır. Boyuna donatı oranı düktiliteyi çok fazla etkilememektedir.

Kolon boyuna donatısının akma dayanımı, eksenel yükün olmadığı (eğilme davranışı) durumda çok etkin bir parametredir. Kolonda eksenel yükün artması ile bu etki azalmaktadır.

Kolonda eksenel yük düzeyi arttıkça süneklik de azalmaktadır. Bu nedenle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik'te kolonlarda eksenel yük düzeyi için $0.5x_{f_{ck}}x_{A_c}$ olarak bir üst sınır belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1997): Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ersoy U. (1998): “Betonarme Kiriş ve Kolonların Moment Kapasitelerinin Saptanması”, Teknik Dergi, Cilt 9 Sayı 4, pp.1781-1997.
- Ersoy U., Özcebe G. (1998): “Sarılmış Betonarme Kesitlerde Moment-Eğrilik İlişkisi Analitik Bir İnceleme”, Teknik Dergi, Cilt 9 Sayı 4, pp.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.
- Kent, D.C., Park R. (1971): “Flexural Members with Confined Concrete”, ASCE journal of Structural Division, V. 97 St.7.
- Köken A. (1997) “Experiment for Teaching Reinforced Concrete Behaviour”, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.
- 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.
- TS500 (2000): “Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yağcı A. (1999) “Study on Moment Curvature Relationships in Reinforced Concrete”, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ.