

**KUVVETLİ KOLON VE ZAYIF KİRİŞLİ BETONARME ÇERÇEVELERİN
EŞDEĞER YATAY DEPREM YÜKLERİ ALTINDA DOĞRUSAL OLMAYAN
DAVRANIŞLARINA İLİŞKİN BİR ÇALIŞMA**

**A STUDY ON THE NONLINEAR BEHAVIOUR OF REINFORCED
CONCRETE FRAMES WITH STRONG COLUMNS AND WEAK BEAMS
UNDER EQUIVALENT LATERAL SEISMIC LOADS**

Gürbüz Aydemir¹ , M.Nuray Aydınoğlu²

SUMMARY

Nonlinear performance of typical frames designed for strong column - weak beam concept in accordance with new draft Turkish Earthquake Resistant Design Code are investigated. In a limited scope of studies , an attempt is made to check the viability of reduction factors (R) used to reduce the linear elastic seismic loads to the equivalent ones used in code based earthquake analysis. Nonlinear analysis is performed with monothonic lateral loads distributed in accordance with first vibration mode , assumed as inverted triangular. It is confirmed through limited number of examples that the typical frames designed for strong column - weak beam concept possess sufficient overstrength capacity. It is foreseen that in the near future such relatively simple nonlinear analyses may become a common practice in engineering process in order to assure the realistic failure mechanism of framed systems.

ÖZET

Yeni Türkiye Deprem Yönetmeliği taslağında yer alan kuvvetli kolon - zayıf kiriş ilkesine göre tasarımı yapılan basit çerçeve sistemlerinin performansı, yönetmeliğe uygun olarak ters üçgen şeklinde dağıtılan deprem yüklerinin adım-adım artırılması ile ve doğrusal olmayan hesap yöntemi ile incelenmiştir. İncelenen sınırlı sayıda örnek çerçevede kuvvetli kolon - zayıf kiriş ilkesine göre yapılan tasarımın, plastik mafsalların istenildiği gibi kirişlerde oluşmasını sağladığı gözlenmiştir. Bu ilkeye göre tasarlanmış sistemlerde eşdeğer deprem yüklerinin saptanması için kullanılan R katsayısının (R=7.5) çerçevelerde yeteri kadar yedek dayanım kapasitesi oluşturabileceği anlaşılmaktadır.

¹ İnş. Müh., Yüksek Lisans öğrencisi, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Ana Bilim Dalı

² Prof. Dr., Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Ana Bilim Dalı

GİRİŞ

Yapıların depreme dayanıklı tasarımında göz önüne alınan yer hareketi, belirli bir süre içinde ve belirli bir aşılma olasılığı ile meydana gelebilecek en büyük depreme karşı gelmektedir. Bu "büyük" depremin etkisi altında taşıyıcı sistemin göçmeden ayakta kalabilmesi, sistemde oldukça önemli ölçüde enerji yutulmasını gerektirir.

Betonarme ve çelik çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistemler uygun bir biçimde tasarlandıklarında, diğer sistemlere oranla çok daha fazla enerji yutabilirler; yani daha sünek davranabilirler. Son yirmi yıl içinde yapılan teorik ve deneysel çalışmalar, çerçeve sistemlerde sünek davranışın temel koşulunun "kuvvetli kolon - zayıf kiriş" düzenlemesi olduğunu kanıtlamıştır. Kolonlara oranla daha zayıf olarak boyutlandırılan kirişlerin uç bölgelerine oluşması sağlanan plastik mafsallaşma ile büyük miktarda enerji yutulabilmekte, ancak bunun gerçekleşebilmesi için bu bölgelerde kayma göçmesini önleyecek önlemler alınması gerekmektedir. Öte yandan, eksenel kuvvetin varolması nedeniyle fazla miktarda enerji yutulamayan kolonlarda mafsallaşmanın önlenmesi ile sistemde kat göçmesi veya toptan göçmenin önüne geçilmekte; böylece depreme dayanıklı tasarımın temel ilkesi olan insan hayatını koruma ilkesi gerçekleştirilmiş olmaktadır.

Günümüzde kuvvetli kolon - zayıf kiriş ilkesi, son 10-15 yıl içinde hazırlanmış belli başlı deprem yönetmeliklerinin hemen hepsinde betonarme çerçevelerin sünek tasarımının ön koşulu olarak yer almaktadır (Örneğin American Concrete Institute 1989, Eurocode 8-1993, Canadian Standarts Association 1984, "Design of Concrete Structures for Buildings CAN3-A23.3"). Bu ilke yürürlükteki Japon yönetmeliğinde (Building Standard Law 1981) açık olarak yer almamakla birlikte Japon pratiğinde giderek daha yaygın olarak kullanılan AIJ (Architectural Institute of Japan 1994) tasarım kurallarında sünek tasarımın tek ilkesi olarak uygulanmaktadır. Kuvvetli kolon - zayıf kiriş ilkesi son bir yıl içinde hazırlık çalışmaları yoğun olarak sürdürülen yeni Türkiye Deprem Yönetmeliği taslağında da (Deprem Mühendisliği Türk Milli Komitesi 1994) sünek tasarımın ön koşulu olarak belirtilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, yönetmelik taslağına göre tasarımı yapılan betonarme çerçeve sistemlerde, yönetmelikte eşdeğer deprem yüklerini tanımlamak için kullanılan "taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)" değerlerinin geçerliliğini irdelemektir.

EŞDEĞER DEPREM YÜKLERİ

Diğer modern yönetmeliklerde olduğu gibi (IAEE 1992), yeni yönetmelik taslağında da hesaba esas alınacak "eşdeğer deprem yükleri", elastik ivme spektrumunun belirli bir azaltma katsayısı (yönetmelikteki tanımı ile "R: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı") 'na bölünmesi ile elde edilmektedir. Elastik ivme spektrumunun ordinatı olan spektral ivme, yönetmelik taslağında

$$A = A_0 \cdot I \cdot S \quad (1)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Burada A_0 deprem bölgelerine göre değeri 0.10g ile 0.40g arasında değişen "etkin yer ivmesi"ni (g: Yerçekimi ivmesi), I bina önem katsayısını,

S ise spektrum katsayısını göstermektedir. Yönetmelik taslağında tanımlanan iki ana analiz yönteminden biri olan "eşdeğer yatay yük yöntemi" için S katsayısı aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır :

$$T_1 \leq T_b \text{ için } S = 2.5 \quad (2a)$$

$$T_1 > T_b \text{ için } S = 2.5 (T_b / T_1)^{0.8} \geq 0.7 \quad (2b)$$

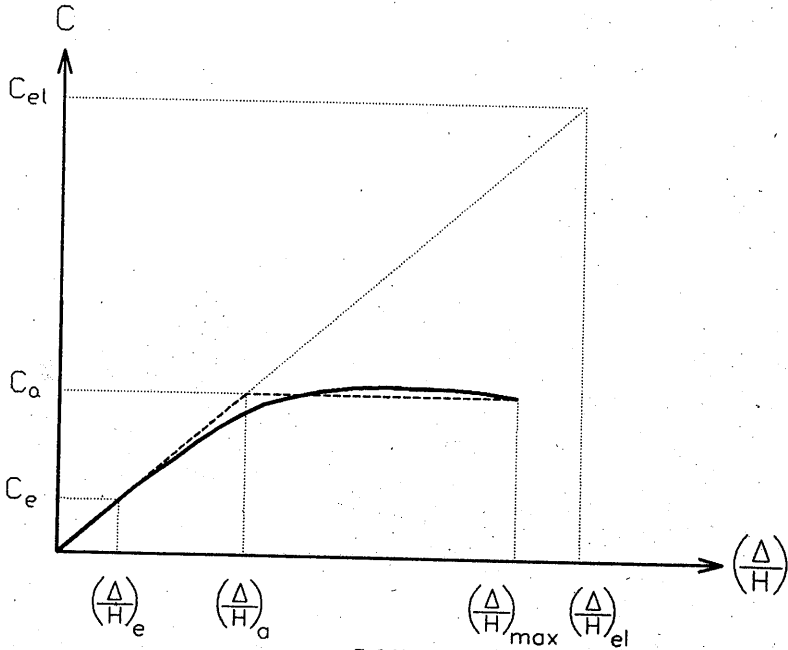
Burada T_1 , binanın birinci doğal titreşim periyodunu (saniye), T_b ise yerel zemin koşullarına göre belirlenen karakteristik periyodu (saniye) göstermektedir.

Yönetmelik taslağında tanımı yapılmamış olmakla birlikte, sistemin doğrusal elastik davranışına karşı gelen "elastik deprem katsayısı" , C_{el} ;

$$C_{el} = A / g \quad (3)$$

şeklinde tanımlanabilir. Ancak taşıyıcı sistemde meydana gelmesi beklenen enerji yutulmasını gözönüne almak üzere, Denklem 3 ile tanımlanan elastik deprem katsayısı, taslakta R ile simgelenen "taşıyıcı sistem davranış katsayısı"na bölünerek, deprem hesabında esas alınacak "eşdeğer deprem katsayısı" , C_e aşağıdaki şekilde elde edilir ,

$$C_e = C_{el} / R \quad (4)$$



Şekil 1

(Aydınöglü 1995) 'ten alınan ve tipik olarak bina taşıyıcı sisteminin en üst kattaki yerdeğiştirmesi ile deprem katsayısı arasındaki doğrusal olmayan "gerçek" ilişkiyi

gösteren grafik bağıntı Şekil 1'de verilmiştir. Şekildeki eğri kesikli çizgi ile gösterildiği biçimde elasto-plastik bir bağıntı olarak idealleştirilebilir. Burada C_a taşıyıcı sistemin "yük taşıma kapasitesi"ni ifade etmektedir. Şekil 1'den süneklik azaltma katsayısı aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$R_s = C_{e1} / C_a \quad (5)$$

Öte yandan, Şekil 1'den görüldüğü üzere deprem hesabında esas alınan eşdeğer deprem katsayısı C_e , taşıyıcı sistemin kapasitesine karşı gelen C_a deprem katsayısına oranla daha küçük bir değerdir. C_a 'nın C_e 'ye oranı ; taşıyıcı sistemin yedek kapasitesini ifade eden "yedek dayanım katsayısı" olarak

$$D_y = C_a / C_e \quad (6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Şekil 1, Denklem 5 ve 6'dan

$$R = R_s \times D_y \quad (7)$$

bağıntısı elde edilebilir. Görüldüğü gibi R katsayısı, sadece sistemdeki sünekliği ifade etmemekte, aynı zamanda sistemde mevcut bulunan yedek dayanım kapasitesini de içermektedir.

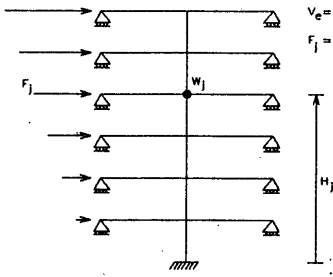
Taslak yönetmelikte olduğu gibi, eşdeğer deprem katsayısını tek bir azaltma katsayısı (R) ile ifade eden tüm yönetmeliklerdeki temel problem, Denklem 6 ile tanımlanan ve Denklem 7'de R'nin içinde bir çarpan olarak yer alan yedek dayanım katsayısı D_y 'deki belirsizliktir. Bu çalışmada aşağıda tanımlanan kuvvetli kolon - zayıf kiriş çerçeve sistemi yardımı ile bu sorunun cevabı araştırılmaktadır.

ANALİZDE GÖZÖNÜNE ALINAN SİSTEM

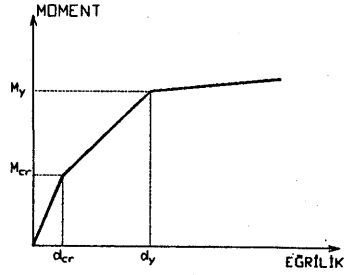
Bu çalışmada ele alınan taşıyıcı sistem, teorik olarak sonsuz açıklıklı düzlem çerçeve sistemini temsil eden tek bir kolon eksenini ile bu eksen üzerindeki kat kolonlarına birleşen kirişlerden oluşmaktadır. Sonsuz açıklıklı çerçevelerde kirişlerdeki moment-sıfır noktaları kiriş ortalarında olacağından, analiz edilecek sistemi Şekil 2'de görüldüğü gibi idealleştirmek mümkündür. Bu sistem esas alınarak, Şekil 4,5,6,7'de verilen, sırası ile 4,6,8 ve 10 katlı çerçeve sistemleri, TS500 ile birlikte yukarıda belirtilen kuvvetli kolon - zayıf kiriş yaklaşımı ve deprem yönetmeliği taslağına göre projelendirilmiştir. Hesap "eşdeğer yatay yük yöntemi" ve sistemin birinci doğal titreşim periyodunda tüm kütlesi ile titreşeceği varsayımı ile yapılmıştır.

Katlara dağılımı Şekil 2'de gösterilen deprem yüklerini tanımlayan deprem katsayısı C_y yük parametresi olarak alınıp sıfırdan itibaren adım-adım artırılarak, hakim olarak birinci modda titreşen sistemin doğrusal olmayan davranışını belirlemek mümkündür.

Bu çalışmada çerçeve sistemlerin doğrusal olmayan hesabı IDARC2D adlı bilgisayar programı ile yapılmıştır (Kunnath & Reinhorn 1994). Bu program eşdeğer statik yüklerin adım-adım artırılarak gözönüne alınması yanında, yarı-statik tekrarlı yükler ve zaman tanım alanında deprem yükleri altında çerçevesel ve perdeli-çerçevesel sistemlerin iki boyutlu doğrusal olmayan hesabını yapmak üzere hazırlanmıştır.



Şekil 2



Şekil 3

Programda kiriş veya kolon uçlarında plastik mafsallar tanımlanmakta, mafsalların arasındaki bölgede doğrusal olmayan davranış ise moment diyagramına bağlı olarak yayılı bir biçimde gözönüne alınmaktadır. Kolon ve kirişlerin moment eğrilik bağıntıları Şekil 3'te görüldüğü gibi ya dışarıdan giriş bilgisi olarak verilmekte ya da kesit boyutları, malzeme özellikleri ve donatı miktarı ve dağılımı verildiğinde program tarafından hesaplanmaktadır.

Gözönüne alınan 4,6,8 ve 10 katlı basit çerçeve sistemler ve bunların taslak yönetmeliğe göre hesabına ilişkin tüm bilgiler Şekil 4,5,6,7'de verilmiştir. Bu şekillerin sol üstündeki eğri yukarıda genel olarak Şekil 1'de verilen eğriye karşı gelmektedir. Sistemde C_e 'ye karşı gelen yük altındaki çatlakların ve ilk plastik mafsallın oluşumu ile bina ötelenme oranının %2 'ye ulaştığı durumdaki mafsallaşma düzeni şekil üstlerinde gösterilmiştir. Denklem 5 ve 6 'dan hesaplanan süneklik azaltma katsayısı ve yedek dayanım katsayısı şekillerin yanında verilmiştir. Bu iki katsayının çarpımı (Denklem 7), taslak yönetmelikte sünek çerçeve sistemler için verilen $R = 7.5$ değerine eşit olmaktadır. Sayfanın sol alt tarafında ise her kata ait ötelenme oranı ile o kata etkiyen kat kesme kuvveti, üstteki katların toplam ağırlığına göre normalize edilerek verilmiştir. Bu şekillerde, yönetmeliğe göre hesapta kullanılan kat kesme kuvvetleri ayrıca gösterilmiştir. Ayrıca yukarıda denklemlerle verilen tüm parametreler her bir sistem için hesaplanmıştır.

SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Bu çalışmada yapılan sınırlı sayıda çözümle genel sonuçlar çıkarmak doğru olmamakla birlikte, aşağıdaki hususları belirtmek mümkündür :

1) Kuvvetli kolon - zayıf kiriş ilkesi ve taslak yönetmelikteki diğer kurallara göre tasarımı yapılan çerçevelerde hedeflenen amaç gerçekleşmiş, plastik mafsallar istenildiği gibi kirişlerde oluşmuştur. Alt kat kolonunun temele birleşim noktasındaki mafsallın oluşmasını önlemek mümkün değildir. Ancak bu durum sistemin stabilitesi bakımından bir sorun yaratmamaktadır.

2) Kolonlarda ani kesit değişimlerinin yapıldığı katlar veya bunlara komşu katlarda kolon üstlerinde plastik mafsalların (son durumda) oluştuğu gözlenmektedir. Ani kesit değişimlerinde daha rijit olan alt kattaki kolona daha fazla moment gelmesi nedeni ile bu durum normal karşılanmalıdır. Çünkü plastikleşme alt kattaki rijit kolonun sadece üst ucunda olmaktadır ve herhangi bir "kat geçmesi" söz konusu değildir. Bu konu çalışmanın ileriki aşamalarında daha ayrıntılı olarak araştırılacaktır.

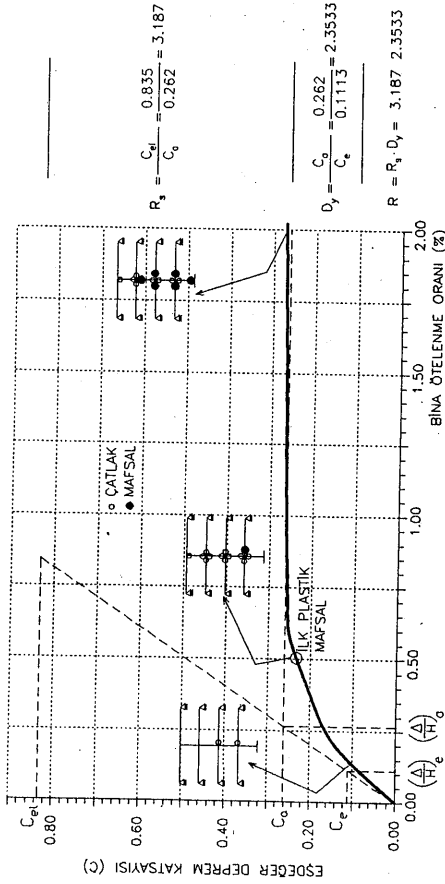
3) İncelenen sınırlı sayıdaki örnekten, süneklik azaltma katsayısının $R_s \cong 3.2 \sim 4.1$ arasında değiştiği gözlenmektedir. Yedek dayanım katsayısı ise $D_y \cong 1.8 \sim 2.4$ arasında değişmektedir. Kat sayısı arttıkça birinci doğal periyod artmakta, eşdeğer yatay yükler azalmakta (Bkz. Denklem 2), buna göre tasarlanan sistemlerin yedek dayanım kapasitesi de doğal olarak azalmaktadır. Ayrıca deneyimli mühendislerin ilk bakışta görecekları gibi özellikle 8 ve 10 katlı sistemlerde kolon boyutları "zorlanmıştır". Kasıtlı olarak yapılan bu zorlamaya rağmen $D_y \cong 2$ civarında bir yedek dayanım elde edilebilmiştir. Araştırmanın ileri aşamalarında bu konu da ayrıntılı olarak incelenecektir.

4) Kullanılan bilgisayar programının kapasite sınırları nedeni toplam göçme durumu elde edilememiş ve hesap bina ötelenme oranının %2 'ye ulaştığı noktada kesilmiştir. Ancak kat ötelenme oranlarının hesabın kesildiği noktada alt katlarda %3 dolaylarına kadar çıkmasına rağmen üstteki katlarda %0.5 'in altına kadar indiği görülmektedir. Ancak yönetmeliğe göre hesaplanan ve tanımlanan sınır koşullarını sağlayan göreceli kat ötelenme oranlarının bütün durumlarda emniyetli tarafta kaldığı gözlenmektedir.

5) Bu çalışmada belirtilen yük artımı yöntemi, basitliğine oranla taşıyıcı sistemin davranışına ilişkin çok değerli bilgiler elde edilebilmesini sağlamaktadır. Japon pratiğinde 31m'den daha yüksek binalar için zorunlu olarak kullanılan bu ve buna benzer yöntemlerin (Aydınöğlü 1995) geliştirilecek bilgisayar programları ile ülkemizde de üç boyutlu bina taşıyıcı sistemlerinin deprem güvenliklerinin belirlenmesi için kullanılmasının tasarım süreci içinde giderek yaygınlaşması umulmaktadır.

KAYNAKLAR

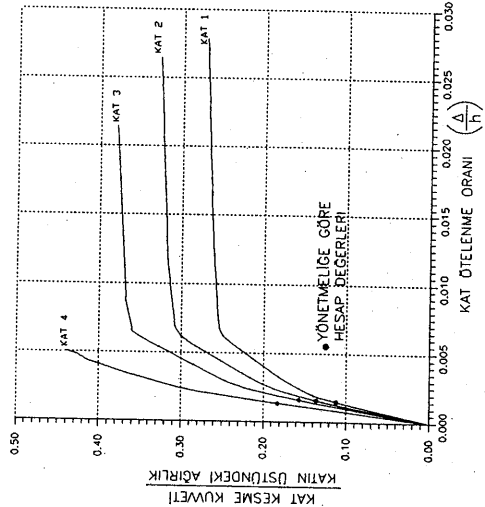
- 1) American Concrete Institute - ACI (1989), "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-89)", ACI Committee 318
- 2) Architectural Institute of Japan (1994), "AIJ Structural Design Guidelines for Reinforced Concrete Buildings", Tokyo
- 3) Building Standard Law - Japan (1981), Ministry of Construction, Japan
- 4) Eurocode 8 (1993), "Earthquake Resistant Design of Structures, Part 1-1,1-2,1-3", Second Draft
- 5) Kunnath-S.K., Reinhorn A.M., (1994), "IDARC2D: Inelastic Damage Analysis of RC Building Structures, Version 3.1", University of Buffalo, New York
- 6) Aydınöğlü M.N., (1995), "Depreme Dayanıklı Bina Tasarım Yönetmeliklerinde Temel Yaklaşımlar", Üçüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı'na sunulmak üzere teslim edilen bildiri.
- 7) Otani S., (1992), "Concept Behind Ultimate Strength Design Guidelines for Reinforced Concrete Buildings in Japan", 3rd Meeting of the US-Japan Joint Technical Coordinating Committee on Precast Seismic Structural Systems", San Diego, California.
- 8) Uang C.M., (1991), "Establishing R(or R_w) and C_d Factors for Buildings Seismic Provisions", ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 117, No.1, pp.19-28



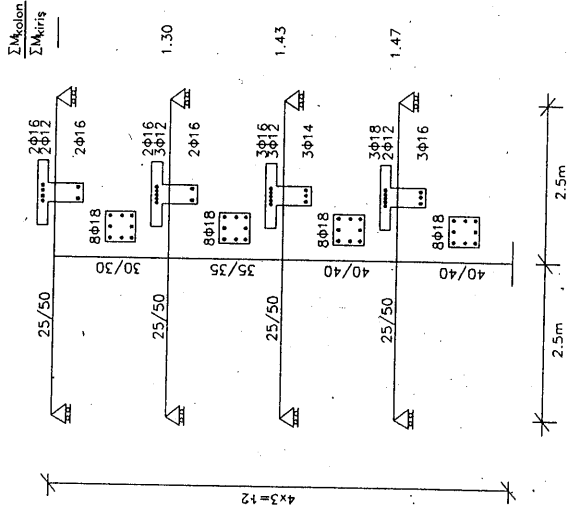
$$R_s = \frac{C_d}{C_o} = \frac{0.835}{0.262} = 3.187$$

$$D_y = \frac{C_o}{C_e} = \frac{0.262}{0.1113} = 2.3533$$

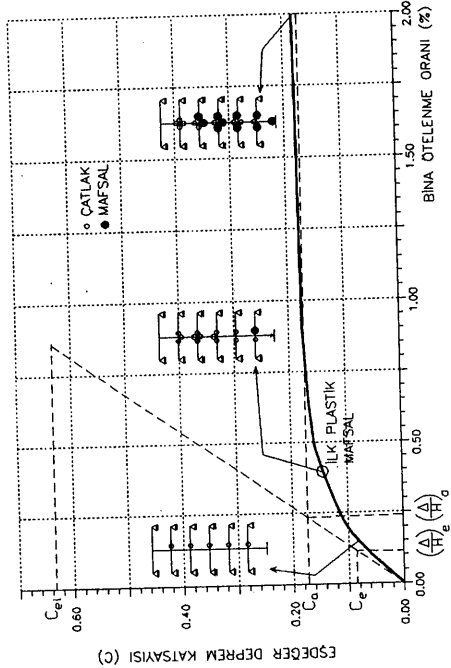
$$R = R_s \cdot D_y = 3.187 \cdot 2.3533 = 7.5$$



- KAT SAYISI = 4
 BETON = C25
 DONATI = S420
 TOPLAM DÖŞEME YÜKÜ $q = 6 \text{ kN/m}^2$
 EK DÖŞEME YÜKÜ $p = 3.5 \text{ kN/m}^2$
 EK YÜK KATSAYISI $n = 0.30$
 TİPKİ ÇERÇEVE ARALIĞI = 4 m
 $A_o = 0.49$
 $I_o = 0.49n$
 $T_1 = 0.5018n$
 $S = 2.088$
 $R = 7.5$
 $C_d = 0.835$
 $C_e = \frac{0.835}{7.5} = 0.1113$
- $R_s =$ SÜNEKLİK AZALTMA KATSAYISI
 $D_y =$ YEDEK DAYANIM KATSAYISI
 $R = R_s \cdot D_y =$ TOPLAM AZALTMA KATSAYISI



ŞEKİL 4



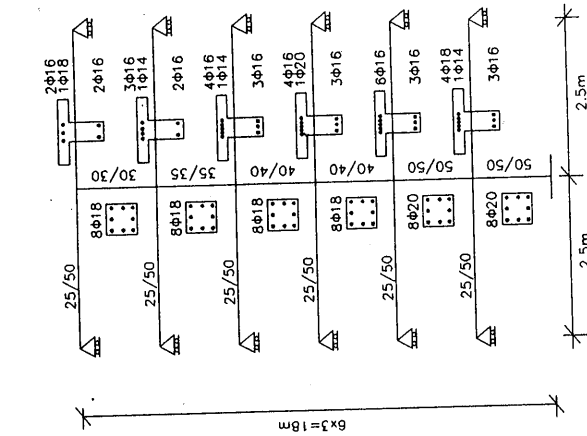
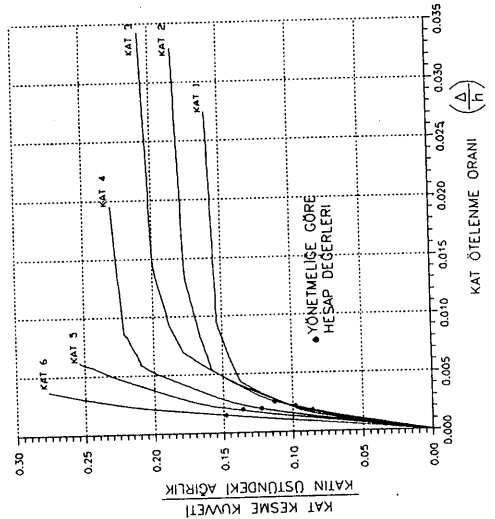
$$R_s = \frac{C_d}{C_e} = \frac{0.6391}{0.1775} = 3.652$$

$$D_y = \frac{C_y}{C_e} = \frac{0.1775}{0.08521} = 2.054$$

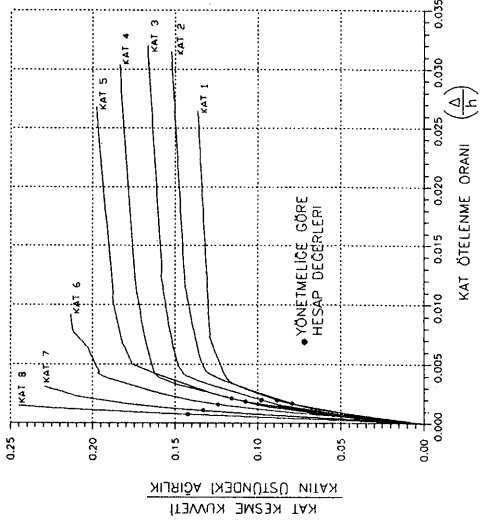
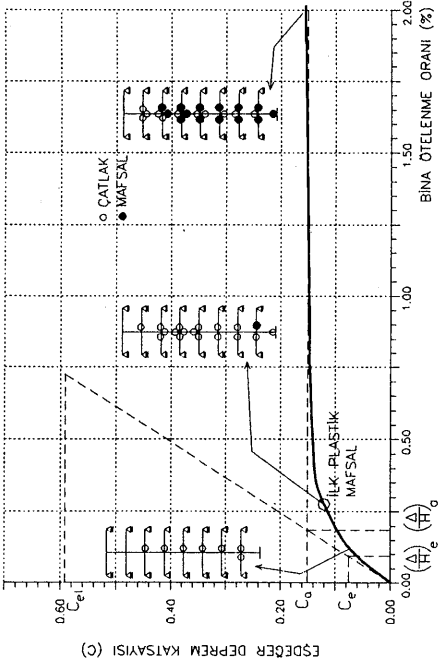
$$R = R_s \cdot D_y = 3.652 \cdot 2.054 = 7.5$$

KAT SAYISI = 6
 BETON = C25
 DONATI = S420
 TOPLAM DÖŞEME YÜKÜ $g = 6\text{KN/m}^2$
 EK DÖŞEME YÜKÜ $p = 3.5\text{KN/m}^2$
 EK YÜK KATSAYISI $n = 0.30$
 TIRIK GERÇEVE APALIĞI = 4m
 $A_0 = 0.4g$
 $I_b = 0.45n$
 $I = 1$
 $T_1 = 0.70sn$
 $S = 1.5978$
 $R = 7.5$
 $C_{ef} = 0.6391$
 $C_e = \frac{0.6391}{7.5} = 0.08521$

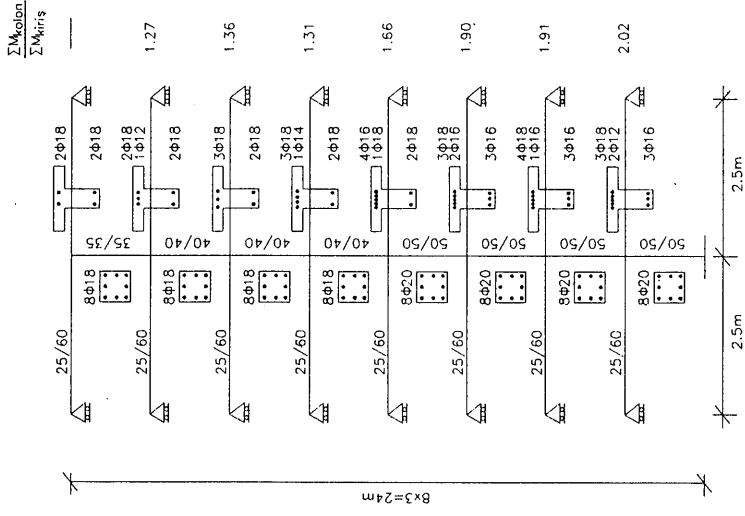
D_y = YEDEK DAYANIM KATSAYISI
 R = $R_s \cdot D_y$ = TOPLAM AZALTMA KATSAYISI



SEKİL 5

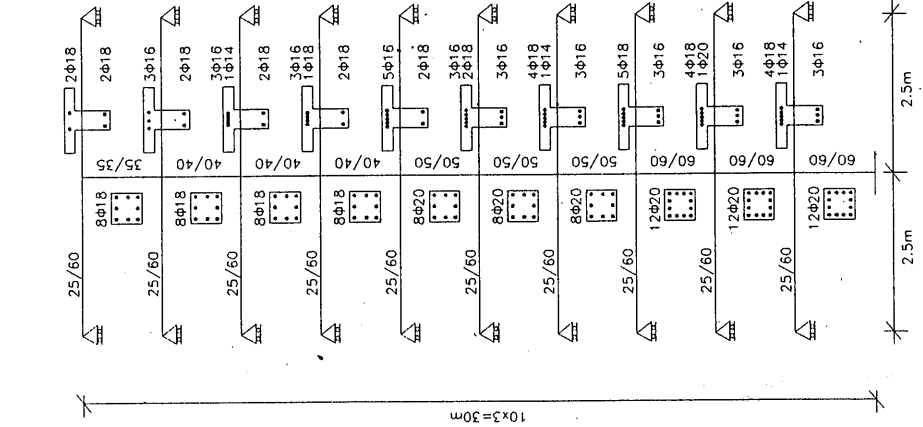


KAT SAYISI = 8
 BETON = C25
 DONATI = S420
 TOPLAM DÖŞEME YÜKÜ $q = 6 \text{ kN/m}^2$
 EK DÖŞEME YÜKÜ $p = 3.5 \text{ kN/m}^2$
 EK YÜK KATSAYISI $\alpha = 0.30$
 TIPIK ÇERÇİVE ARALIĞI = 4m
 $A_0 = 0.4g$
 $I_b = 0.4sn$
 $I_t = 1$
 $T_1 = 0.769sn$
 $S = 1.482$
 $R = 7.5$
 $C_e = 0.5928$
 $C_u = \frac{0.5928}{7.5} = 0.07904$
 $R_s =$ SÜNEKLİK AZALTIMA KATSAYISI
 $D_y =$ YEDEK DAYANIM KATSAYISI
 $R = R_s \cdot D_y =$ TOPLAM AZALTIMA KATSAYISI



ŞEKİL 6

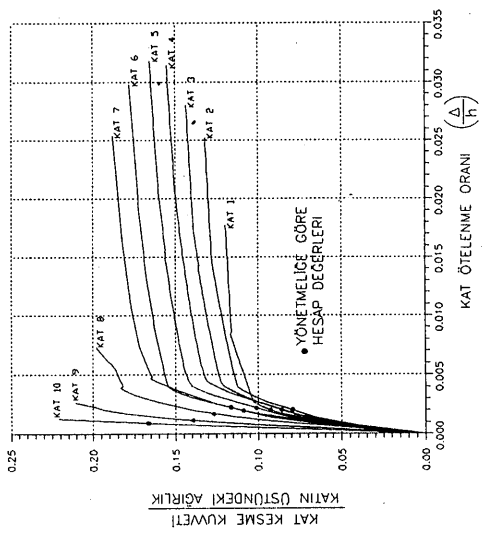
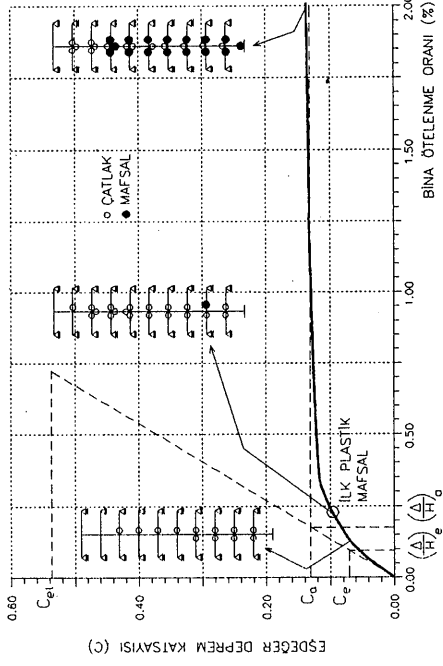
$\frac{\sum M_{kolon}}{\sum M_{kirinç}}$



$$R_s = \frac{C_d}{C_o} = \frac{0.538}{0.131} = 4.107$$

$$D_y = \frac{C_o}{C_c} = \frac{0.131}{0.0717} = 1.827$$

$$R = R_s \cdot D_y = 4.107 \cdot 1.827 = 7.5$$



KAT SAYISI = 10
 BETON = C25
 DONATI = S420
 TOPLAM DÖŞEME YÜKÜ $g = 6\text{KN/m}^2$
 EK DÖŞEME YÜKÜ $p = 3.5\text{KN/m}^2$
 EK YÜK KATSAYISI $n = 0.30$
 TIPIK ÇERÇEVE ARALIĞI = 4m
 $A_p = 0.4g$
 $I_p = 0.45n$
 $I = 1$
 $T_1 = 0.8688n$
 $S = 1.345$
 $R = 7.5$
 $C_d = 0.538$
 $C_e = \frac{0.538}{7.5} = 0.0717$
 $R_s =$ SÜNEKLİK AZALTIMA KATSAYISI
 $D_y =$ YEDEK DAYANIM KATSAYISI
 $R = R_s \cdot D_y =$ TOPLAM AZALTIMA KATSAYISI

ŞEKİL 7