

YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞINA DÜŞÜK DAYANIMLI BETONUN ETKİSİ
VE SORGO TEMEL EĞİTİM OKULU ÖRNEĞİ

Nejat BAYOLKE
Deprem Araştırma
Dairesi,Bayındırlık
ve İskan Bakanlığı
ANKARA

M.Sülfü AŞIK
Deprem Mühendis-
liği Araştırma
Merkezi,ODTÜ
ANKARA

Ali HURATA
Deprem Araştırma
Dairesi,Bayındırlık
ve İskan Bakanlığı
ANKARA

ÖZET

Türkiye'de depremlerde betonarme yapıların hasar görmesi ve yıkılmasının en önemli nedeni beton dayanımının projede öngörülenden daha düşük olmasıdır.Bu durum çeşitli depremlerde sık sık gözlenmiştir.En son örnek 5 Mayıs ve 6 Haziran 1986 Doğanşehir (Malatya) Depremlerinin ilkinde hasar gören ve ikincisinde yıkılan Sürgü Temel Eğitim Okuludur. Yıkılma nedeni projede öngörülen B225 beton dayanımının gerçekleştirilmemiş olmasıdır. Okulun yapılmış durumu ile depremde hasar görüp yıkılmasına yol açan deprem kuvvetleri ve yıkılma mekanizması incelenmektedir.Yapıda ilk hasar $C = 0.12-0.14$ arasında bir eşdeğer statik yatay kuvvet katsayısının etkimesi ile iç aks kolonlarında başlamıştır.Beton dayanımı istenilen düzeyde ve kolon etriyeleri yeterli olsa idi ilk kesme kırılması için gereken yatay kuvvet katsayısı çok daha büyük olacaktı. Yetersiz enine donatı ve düşük beton dayanımı kolonlarda ve kolon giriş ek yerlerinde deprem enerjisinin tüketilmesine de olanak vermemiştir.

1. GİRİŞ

Depremlerde betonarme yapıların hasar görmesi beklenmektedir.Bu depreme dayanıklı yapı kavramının bir sonucudur.Özellikle şiddetli depremlere betonarme yapılar kalıcı deformasyonlar yaparak karşı koyarlar.Bu,yapının ekonomik ömrü içinde olacak en büyük depremi hasarla atlatması sonucunu doğurmaktadır. Bu tür hasar yapıda can kaybına yol açmayan ve mal kaybını en alt düzeyde tutan bir hasardır. Yapının onarılıp yeniden kullanımına ekonomik açıdan izin veren hasardır.Bu tür hasar "Deprem Yönetmeliğine Göre Beklenen Düzeyde Hasar" olarak nitelenebilir (Bayülke 1989). Depreme

dayanıklı yapı yönetmeliklerine göre yapılmış betonarme yapılardan deprem şiddetine göre beklenen hasar düzeyleri Şekil-1'de verilmektedir.

Ancak ülkemizdeki betonarme yapılarda geçen 20-30 yıl içinde gözlenmiş deprem hasarı yukarıda tanımlanan beklenen düzeyde hasar'ın hemen her zaman üzerinde olabilmektedir. Aslında betonarme yapılarımızın gerçek proje ve yapım koşulları dikkate alınınca oluşan hasarı da bir tür beklenen düzeyde hasar olarak nitelemek gerekir. Yönetmeliklerdeki kurallara göre yapılmamış yapılardan yönetmeliğe göre beklenen düzeyde hasar beklemek gerçekçi değildir.

Betonarme yapılarımızda beklenen düzeyin üzerinde hasar nedenleri kısaca iki grupta toplanabilir (Bayülke 1989): 1-Yapı depremin hemen odak noktasındadır. Yönetmeliklerde yapılara depremde gelen yükler depremin en az 20-30 km uzakta bir odağı olduğu varsayımına göredir. Bu durumda da yapıya beklenenden daha büyük deprem yükleri gelmiştir; Ya da yapının bulunduğu yerin deprem tehlikesi gerçek tehlikeden daha küçük alınmıştır. Kusur deprem bölgeleri haritasındadır. 2- Yapı hem tasarımda hem de uygulamada depreme dayanıklı yapı yönetmeliğine ve diğer yapım yönetmeliklerine uyulmadan yapılmıştır. Ülkemizde şimdiye kadar depremlerde gözlenen betonarme yapı hasarı hemen çoğunlukla tasarım ve uygulamada yönetmeliklere uyulmaması sonucu ortaya çıkmaktadır.

Uygulamada betonun projede öngörülen dayanımda olmaması ve betonarme yapı elemanlarında deprem titreşim enerjisini tüketmede en büyük rolü olan enine donatı sıklaştırmasının yapılmamış olması deprem hasarının en önemli nedenleridir. Ersoy (1986) "Depremde yıkılan veya önemli hasar gören yapıların tümünde düşük beton dayanımının önemli rol oynadığı yapılar çalışmalarla saptanmıştır" derken bu gerçeği belirtmektedir.

2. ÜLKEMİZDE ÜRETİLEN BETONUN DAYANIMI

Bu konuda çok sayıda çalışma yoktur. İMO İstanbul Şubesinin yaptığı bir araştırma (1972) ve İmar ve İskan Bakanlığının (1966) Ankara'da az sayıda yapıda yaptığı bir başka araştırma bulunmaktadır. İMO İstanbul Şubesinin araştırmasında (1972) B160 betonunun ortalama küp dayanımı 97 ± 40 kg/cm², B225 betonunun ise 171 ± 29 kg/cm² çıkmıştır. İmar ve İskan Bakanlığının araştırmasında (1966) ise B225 betonlarının silindirik dayanımı 193 ± 33 , B160 betonlarının ise 111 ± 27 kg/cm² olarak ölçülmüştür. Tarafımızca 1979-1983 yılları arasında yapılan incelemelerden B160 olarak üretilmiş betonların basınç dayanımı 90-120 kg/cm² olarak bulunmuştur. Kısaca ülke-

mizde üretilen B160 betonlarının çoğu durumda 90-100 kg/cm² kadar bir basınç dayanımı olduğunu kabul etmek oldukça gerçekçidir.

3. DEPREMLERDE HASAR GÖREN BETONARME YAPILARDAKİ DURUM

Betonarme yapılardaki beton dayanımının yetersizliği birçok depremde gözlenmiştir:

1967 Mudurnu Vadisi Depreminde Sakarya Valilik Binası'ndaki hasarda beton dayanımının yetersizliği önemli bir rol oynamıştır (Anadol ve Diğerleri 1972).

1971 Bingöl depreminde enkaz durumuna dönüşen Lise Dershane bloğunda B160 dayanımında olması gereken beton dayanımı ancak 80 kg/cm² kadar olabilmıştır (Karaesmen 1972). Yine bu depremde 4-katlı Betonarme Sağlık Okulu Yatakhaneşi tümü ile yıkılırken beton dayanımının çok kötü olduğu belirlenmiştir (Deprem Araştırma Dairesi 1972).

1974 İzmir Depreminde ağır hasar gören İzmir Karşıyaka'daki Akkum Apartmanında da hasar, beton dayanımının projesinde öngörülen B160'dan çok daha aşağıda olmasından kaynaklanmaktadır (Ergünay ve Diğerleri 1974). Son olarak da bu bildirinin ilerdeki bölümlerinde ayrıntılı olarak incelenecek olan Sürgü Temel Eğitim Okulu örneği gösterilebilir (Bayülke ve Diğerleri 1986).

Burada sıralanan örneklerin az olduğu ileri sürülebilir. Ancak 1923'den bu yana Türkiye'de olan büyük depremler ya betonarme yapıların yaygın olarak yapılmadığı yıllarda, ya da bu tür yapıların az olduğu kırsal alanlarda olduğundan betonarme yapılarımız şiddetli deprem deneyinden henüz geçmemiştir.

Betonarme yapılarda dayanım yetersizliğinden dolayı felakete yol açan göçmelerin yanında tasarımda burulma etkilerinin dikkate alınmamasının ve yine yapım sırasında donatı, etriye, yetersizliğinin yol açtığı hasarlar da önemlidir. Ancak yapının tümü ile yıkılmasında baş rol beton dayanımının düşüklüğüdür.

4. BETON DAYANIMININ YETERSİZ OLUŞUNUN GETİRDİKLERİ

Betonarme yapıların en önemli taşıyıcı elemanı olan kolonlar düşey yüklere ek olarak kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri taşırlar. Önce düşük beton dayanımının kolonun moment-eksenel yük taşıma gücüne, sonra da kesme kuvveti taşıma gücüne olan etkisi incelenecektir.

4.1 Düşük Basıncı Dayanımının Moment-Eksenel Yük Taşıma Gücüne Etkisi

Şekil-2'de 30x30 cm en kesitli, B160 betonu ve 4 Ø16 boyuna donatısı olan kolonun moment-eksenel yük eğrisi verilmektedir. Bu kolona taşıtılan eksenel yük

$$N = 0.85 F_B B^2 F_C C / EK$$

formülünden hesaplanır. F_B beton alanı, F_C donatı alanı, ve beton silindirik basınç dayanımı ve donatı akma sınırındadır. EK emniyet katsayısı olup 2.5'a eşittir (TS-500'ün son baskısında 3.0 olmuştur). Kolona taşıtılan yük 50 tondur. Kolonun taşıyabileceği en büyük eksenel yük ise 125 tondur. Eğer beton dayanımı gerçekte 80 kg/cm² ise kolonun taşıyabileceği en büyük eksenel yük 80 ton olmakta ve kolonun bu durumda 50 ton yük taşıırken emniyet katsayısı 80/50 = 1.6'ya düşmektedir. Yapı kendi ağırlığını ve hareketli yükleri bu düşük emniyet katsayısında bile bir problem olmadan taşımaktadır. Düşey yüklerden dolayı zaman içinde gelişen kırılmalar kolon emniyet katsayısı 1.2-1.3 ve daha düşük ise oluştuklarından beton dayanımı projede öngörülenin yarısı kadar olan bir yapıda bile düşey yüklerden dolayı kırılma olmayabilmektedir.

Ancak depremde durum değişmektedir. Kolonun depremden gelen yatay yükler altında kırılma biçimi eksenel yük düzeyine bağlıdır. Kolonun taşıdığı eksenel yük, eksenel dengeli kırılma yükünden az ise moment etkisi altında çekme, daha çok ise basıncı kırılması olacaktır. Basıncı kırılması hem daha küçük bir yatay yük altında hem de gevrek ve ani olmakta ve depremin enerjisi tüketilmeden kolon tahrip olmaktadır (Bayülke 1989). Bu nedenle basınç kırılması kolonlar için çok sakıncalıdır.

Şekil-2'den görüleceği gibi 50 t eksenel yük taşıyan ve 160 kg/cm² basınç dayanımlı betonla üretilen kolon salt eksenel yüklemde çekme kırılması bölgesinde iken, kolonda beton dayanımı 80 kg/cm²'e düşerse bu kez aynı eksenel yük altında basınç kırılması olacak ve moment taşıma gücü de % 30 azalacaktır. Beton dayanımının projedekinden küçük olması yalnızca moment taşıma gücünün daha küçük olması ile kalmamakta, kırılmanın biçiminin de çok daha tehlikeli olan ve belkide yapının afet boyutunda göçmesine yol açan basınç kırılmasına neden olmaktadır.

4.2 Beton Dayanımının Kesme Kuvveti Taşıma Gücü ve Aderansa Etkisi

Betonarme yapı elemanlarında oluşan kesme kuvvetleri beton ve enine donatı olan etriyeler veya fret, tarafından taşınır. Betonun taşıyacağı kesme gerilmesi ile kesitte beton ve donatının birlikte taşıyabileceği en büyük kesme gerilmesi beton basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak tanımlanır. Kolon eksenel yükü betonun taşıyabileceği kesme gerilmesini

bir miktar artırabilir. Kolon betonun taşıyabileceği kesme gerilmesi $0.572 / f'_c$ olarak kabul edilebilir (Bayülke 1989). Bu durumda B160 için betonun taşıyabileceği kesme gerilmesi 6.8 kg/cm^2 'dir. Dayanım yarıyarıya azalır ise beton 4.8 kg/cm^2 taşıyabilir, yaklaşık % 30 azalma olmaktadır.

Düşük dayanımlı betonun bir başka etkisi donatının ankrajı üzerinde görülmektedir. Düşük dayanımlı betonun donatılara yapışması da zayıflamaktadır. Beton ile donatı arasındaki yapışma betonun çekme dayanımına bağlıdır (Ersoy 1985). Betonun çekme dayanımı da basınç dayanımı ile ilgili olarak belirtilir. TS-500'e göre betonun çekme dayanımı $1.1 / f'_c$ olarak verilmektedir. B160 ve 80 için çekme dayanımları 13.9 ve 9.8 kg/cm^2 olmaktadır.

4.3 Düşük Dayanımlı Betonun Deprem Davranışına Etkisi

Betonarme yapılarda rijit olan kolon ya da kiriş uçlarında mafsallaşma ile şiddetli depremin enerjisi tüketilmektedir (Bayülke 1989). Sünek bir mafsallaşma için kiriş ve kolon boyuna donatısı ile beton arasında tam bir aderans ile donatıdaki gerilmelerin betona aktarılması gerekir. Boyuna donatı betondan sıyrılmamalıdır. Şekil-3. Düşük dayanımlı betonda kesme etkisinden dolayı daha düşük bir yük düzeyinde çatlama ve paralanma başlar, donatı paralanmış betondan kolayca sıyrılır. Donatının akma sınırına ulaşmadan betondan sıyrılması, kolon ve kiriş uçlarında geliştirilebilecek maksimum moment kapasitesine ulaşmadan ek yerinin enerji tüketme gücünün azalması ve taşıma işlevinin daha hafif depremlerde yitirilmesi demektir.

5. SORGO TEMEL EĞİTİM OKULUNUN ÖZELLİKLERİ VE DEPREM HASARI

Taşıyıcı sistem planı Şekil-4'de verilen 3 katlı okulun betonu B225 olarak öngörülmüştür. Ancak depremden sonra yapılan bir incelemede dayanımın 70 kg/cm^2 kadar olduğu gözlenmiştir (Bayülke ve Diğerleri 1986). 5 Mayıs 1986 günü olan 5.8 magnitütlü deprem yapıdan 24 km uzaktadır. Depremde yapının zemin kat B2 ve C5 kolonlarında kesme kırılması, C2 kolonunun alt ucunda basınç kırılması olmuştur. C4 ve C5 kolonları arasındaki dolgu duvarı yıkılırken C-aksı dolgu duvarlarında X-biçiminde kesme çatlakları oluşmuştur. Yapıda deprem hasarı Doğu-Batı yönünde olmuştur. Çünkü yapının Kuzey-Güney yönünde perde duvarı vardır ve deprem yapıdan yaklaşık Batı 20 derece Güney doğrultuda olmuştur. Yapının depremden sonra

ölçülmüş periyodu ile hasarsız durumda analitik yöntemlerle hesaplanmış periyodu arasında uzun yönde % 50, kısa yönde % 25 artış olmuştur. Yapının ciddi bir biçimde onarılması ve zemin kat kolonlarının mantolama ile takviyesi önerilmiştir.

Ancak bu işlemlere başlanılmadan 6 Haziran günü 5.6 magnitudlü ve daha yakında (14.5 km) ikinci bir deprem olmuştur. Bu deprem de yine aynı doğrultuda olmuştur. Bu depremde yapının zemin katı tümü ile yıkılmıştır. (Bayülke ve Diğerleri 1986)

Bu iki depremin kuvvetli yer hareketi Gölbaşı'ndaki SMA-1 ivme ölçeri ile kaydedilmiş ve 0.052 ve 0.034 g olarak ölçülmüştür. Ölçülen ivmelerin Campbell (1981) tarafından verilen ilişki ile uyumlu olduğu görülmüş ve bu ilişki kullanılarak Okula gelen ivmelerin 0.100-0.125 g kadar olabileceği anlaşılmıştır.

5.1 Deprem Hasarının İrdelenmesi

Yapının yalnızca uzun yönünde (Doğu-Batı) gelen deprem kuvvetlerinden etkilendiği kabul edilmektedir. Bu yönde iç aks kolonlarına (B ve C aksları) ait Moment-Eksenel yük eğrileri beton basınç dayanımının 70,100 ve 195 kg/cm² olduğu varsayımlarına göre hesaplanmıştır. Şekil-5,6,7,8 ve 9.

Yapı uzun doğrultuda yıkıldığı için dış ve iç aks kolonlarının bu yöndeki toplam yatay taban kesme kuvvetinden alacakları pay hesaplanmıştır. Bu kolonlara gelen eksenel yükler dikkate alınarak bu eksenel yükler altında moment taşıma kapasiteleri beton basınç dayanımlarına bağlı olarak hesaplanmıştır. Kat yüksekliği olarak 3.20 m. ve giriş derinliği olarak iç akslarda 60 cm dış akslarda 70 cm alınmış, kolonların büküm... noktaları kolon serbest boyunun yarısı alınarak eğilme kırılması için gereken kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Daha sonra o kolonun kırılması için gereken yapı taban kesme kuvveti hesaplanmıştır. Bu taban kesme kuvveti de yapının ağırlığı olan 2600 tona bölünerek kolonların kırılması için gereken yapı taban kesme kuvveti katsayıları hesaplanmıştır. (Tablo-1)

Tablo-1 Kolonlarda Hasar İçin Gereken Taban

Kesme Kuvveti Katsayıları

Beton Dayanımları

Kolon	B70	B100	B225
Dış Aks Köşe	0.315	0.354	0.388
Dış Aks İç	0.331	0.389	0.502
Orta Aks Kenar	0.265	0.296	0.343
	0.127	0.155	0.171
Orta Aks	0.168	0.197	0.207
	0.219	0.252	0.265

Diğer bir deyişle yapıya gelen taban kesme kuvveti katsayısı, C katsayısı, 0.127'yi aştığı zaman, beton dayanımı 70 kg/cm² ise, C2 kolonunda eğilmeden basınç kırılması olması söz konusudur. Yapının deprem hasarının B ve C aksı kolonlarında başlaması beklentisi 5 Mayıs depreminde gerçekleşmiştir. Eğer beton dayanımı öngörülen düzeyde olsa idi kolonda kırılma için gereken taban kesme kuvveti katsayısı 0.22, bir diğer deyişle % 70 daha büyük olacaktı; bu da okula geldiği varsayılan ivme 0.100-0.125 g'den fazla olduğu için bu tür bir kırılma olmayacaktı.

5.2 Kesme Kırılması için Gereken Yatay Kuvvet Katsayıları

Kolon betonunun taşıdığı kesme gerilmesi beton silindir basınç dayanımı f'_c ye bağlı olarak $= 0.572 f'_c$ formülünden beton basınç dayanımının 70, 100 ve 195 kg/cm² değerleri için 4.8, 5.7 ve 8 kg/cm² olmaktadır. Kolon etriyelerinin taşıyabileceği kesme gerilmesi ise $= (2 A_s f_y) / (C_b d)$ ile hesaplanabilir. Burada A_s etriye donatısının enkesit alanı, b etriye aralığı, d etriyelerin sardığı basınç ve çekme tarafındaki kolon boyuna donatıları arasındaki mesafe, f_y etriye donatısının akma gerilmesidir. Sürgü Temel Eğitim Okulunda kolonların enine donatısı ortalama Ø8/30 cm olarak gözlenmiştir. Bu durumda $A_s = 0.502 \text{ cm}^2$, $f_y = 2.4 \text{ ton/cm}^2$, $b = 30 \text{ cm}$ ve $d = 54$ veya 44 cm olmaktadır.

Betonun katkısı da dikkate alınınca kolonların toplam kesme kuvveti taşıma kapasitesi $V = (\text{beton donatı}) b$ formülünden hesaplanabilir. Bu durumda 30x60 ve 30x50 boyutundaki kolonların kesme kuvveti taşıma kapasitesi beton basınç dayanımlarına göre

Kolon	B70	B100	B225
30x50	9.90	11.30	15.70
30x60	11.30	13.00	18.00

ton olmaktadır. B yada C aksında 30x60'lık bir kolonda kesme kırılması için gereken en küçük taban kesme kuvveti katsayısı $11.3 \text{ ton} / 0.041 = 273 \text{ ton}$ ve C katsayısı cinsinden $273 \text{ ton} / 2600 \text{ ton} = 0.105$ olmaktadır. Beton dayanımlarına göre kesme kırılması için gereken yatay taban kesme kuvveti katsayıları:

	B70	B100	B225
Dış aks Kolonları (payı % 0.8)	0.476	0.543	0.755
İç Aks Kolonları (Payı % 4.13)	0.105	0.121	0.167

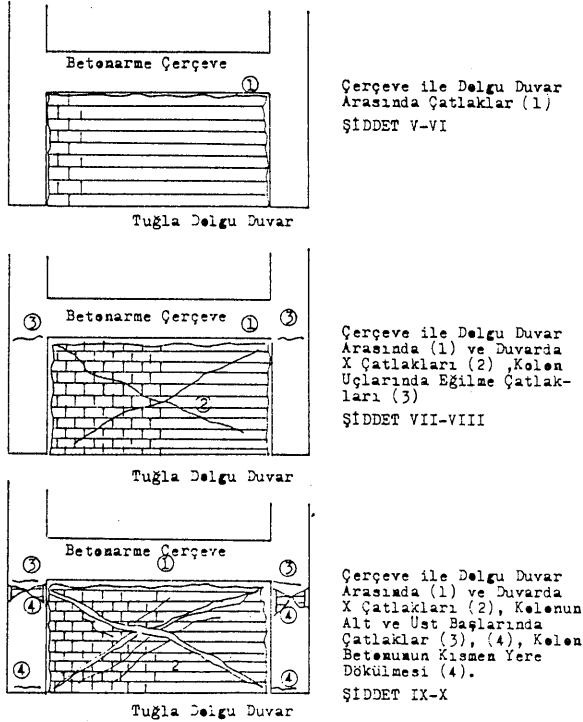
İç aks kolonlarının betonun düşük dayanımlı olmasından dolayı kesme kırılması ile hasar görmesi için gereken yatay kuvvet katsayısı $C=0.105$ 'e kadar inmektedir. Bu durumda ilk depremde yapıdaki B2 ve C5 kolonlarında kesme kırılması olması betonun düşük dayanımlı olmasının sonucudur.

6. YIKILMANIN OLUŞUM MEKANİZMASI VE SONUÇ

Buraya kadar verilen hesaplar ilk depremdeki hasarın, betonun düşük dayanımlı olmasından kaynaklandığını göstermektedir. C2 kolonunda basınç kırılması, C5 ve B2 kolonlarında kesme kırılması olmuştur. Kırılmanın başlamasından sonra yıkılmaya kadar oluşan davranış kolon ve kiriş uçlarının mafsallaşma kapasitesine bağlıdır. Şekil-10'da sünek ve kırılğan yapı elemanları ve yapıların tek yönlü ve tersinir yüklemeler altındaki yük-deformasyon eğrileri verilmektedir. Beton basınç dayanımı yüksek, kiriş ve kolon boyuna donatıları sık etriyelerle bağlanmış, dolayısı ile betonu kısıtlanmış yapı elemanları düktil davranarak daha çok enerji tüketirler. Beton basınç dayanımı az ise donatı ile beton arasındaki aderans hemen yitirilmekte, boyuna donatı betondan sıyrılmakta, sık etriyelerle bağlanmamış boyuna donatılar burkulmakta ve yapı elemanı hızla kırılmakta donatı kopmakta ve mafsallaşma ile enerji tüketimi, bir devirden sonra elemanın kopması ile bitmekte ve yapı göçmektedir. İlk depremde zayıflayan Okul Binası, merkezi daha yakın daha kuvvetli gelen ikinci depremde ek yerlerinin süratle mekanizmallaşması sonucu yıkılmıştır. Eğer yapı B225 dayanımında beton ile yapılmış ve $\varnothing 8/15$ cm etriye ile donatılmış olsa idi, kırılma için en az iki kat daha büyük yatay kuvvet gerekecek, yapı hasar görse bile yıkılmayacaktı.

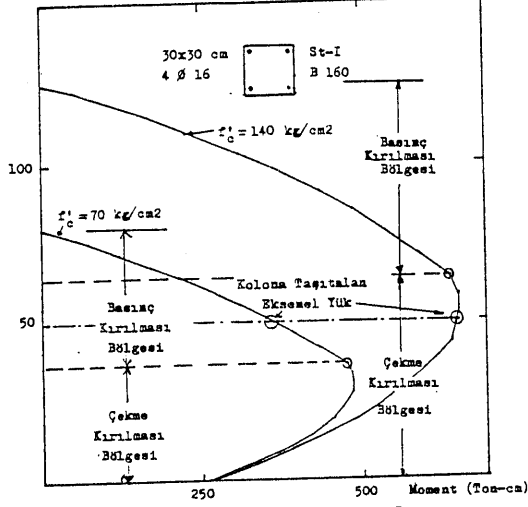
KAYNAKLAR

- Anadol,K., Arıoğlu,O. ve Arıoğlu,E. (1972) "1967 Akyazı Depreminde Ağır Hasar Gören Sakarya Valilik Binası Onarım ve Takviye Projesi" Türkiye'de Deprem Sorunu ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, ODTÜ-Ankara, Tübitak
- Bayülke,N., Büyükköse,N., İnönü,E., Gencoğlu,S., Koşan,U., Hürata,A. ve Yılmaz,R. (1986) " 5 Mayıs ve 6 Haziran 1986 Doğanşehir (Malatya) Deprem-leri Raporu" Deprem Araştırma Dairesi,Ankara
- Bayülke,N. (1989) "Depremler ve Depreme Dayanıklı Betonarme Yapılar" Teknik Yayınevi,Ankara
- Deprem Araştırma Dairesi (1972) "22 Mayıs 1971 Bingöl Depremi Raporu" Ankara
- Ergünay,O., Gencoğlu,S. ve Bayülke,N. (1974) "1 Şubat 1974 İzmir Depremi Raporu" Deprem Araştırma Enstitüsü,Ankara
- Ersoy,U. (1985) "Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı" TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası,Ankara
- İMO İstanbul Şubesi (1972) "Betonarme Betonlu Araştırması"
- (1966) "Ankara'da Yapılan 4 Adet Konut İnşaatında Beton Mukavemet-lerinin Deney Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi" İmar ve İskan Bakanlı-ğı, Yapı Malzemesi Genel Müdürlüğü Yayın No.5 T.23, Ankara

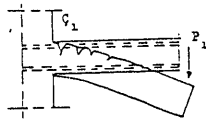


Şekil-1 Betonarme Çerçeve Hasar Aşamaları

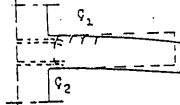
EKSENEL YÜK (Ton)



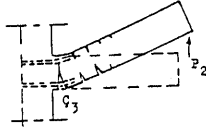
Şekil-2 Eksenel Yük-Moment Karşılıklı Etki Diyagramı



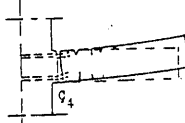
a) İlk Yükleme, Kalıcı Deformasyonlar



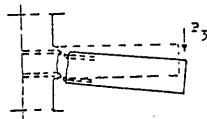
b) Boşaltma, Çatlaklar tam Olarak Kapanmıyor, Üst donatıda kalıcı uzamalar



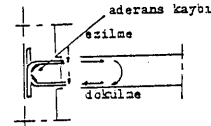
c) Ters Yünlü Yükleme İlk Yüklemedeki çatlaklarda kapanma, yeni daha büyük çatlaklar



d) Boşaltma, Birinci yükleme devresinin sonu. Alt ve üst çatlaklar birleşir.

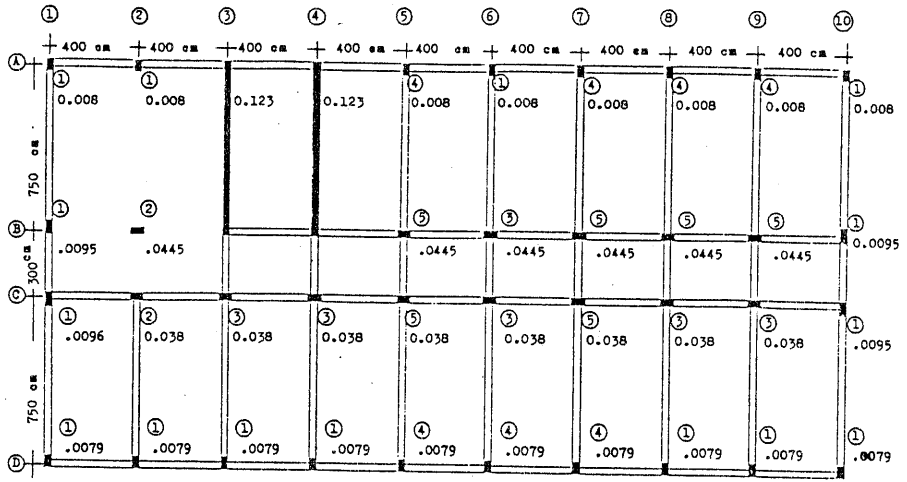


e) Yeni bir yükleme devresi öncesi durumu. Taahhüt donatısının kama etkisi ile kesme kuvveti taşınır

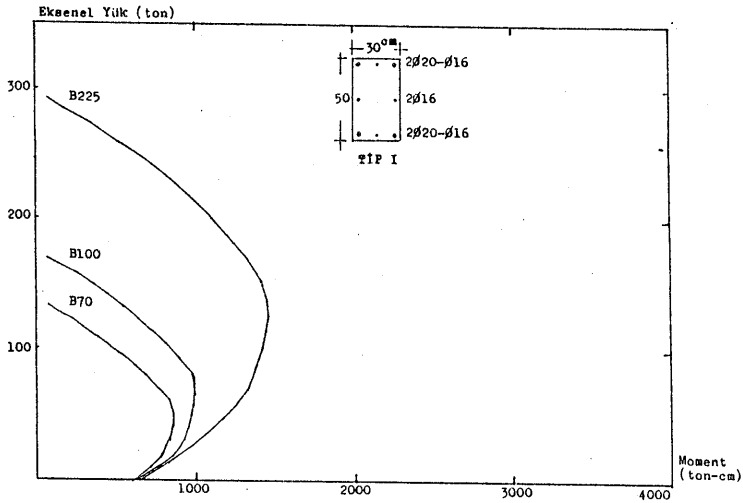


f) Daha sonraki yükleme sırasında kırık betonunda ezilme ve dökülme, donatının aderansının azalması

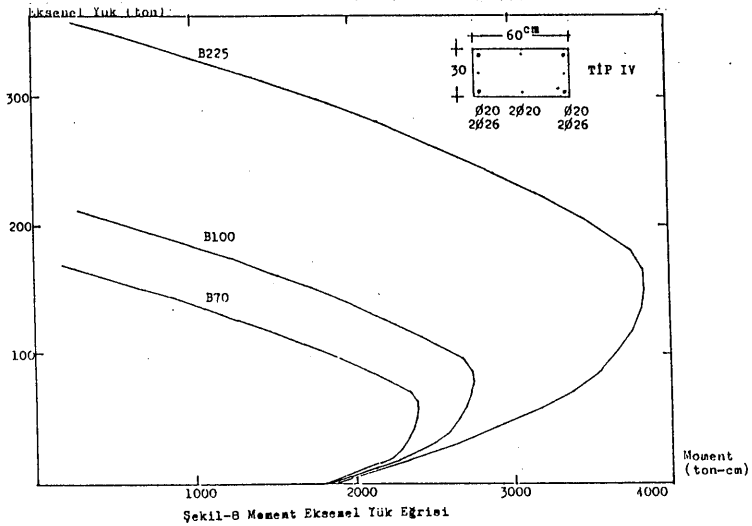
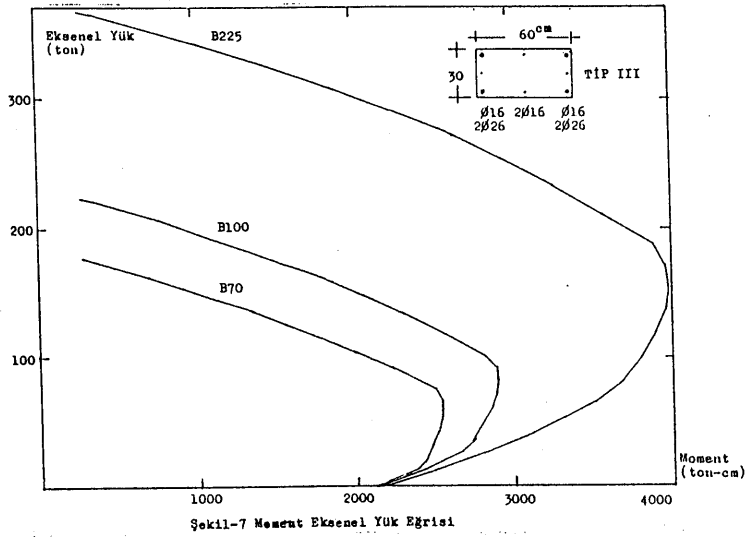
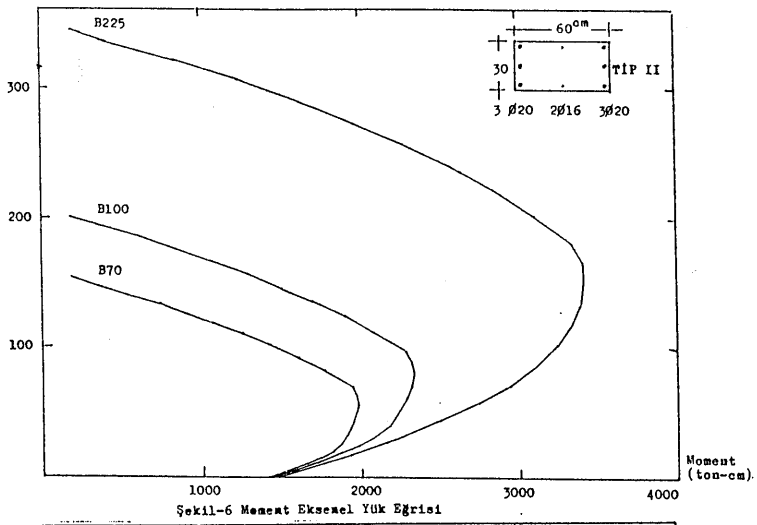
Şekil-3 Tersinir Yükleme Durumunda Kırık Uçlarından Kalıcı Deformasyonları ve Davranışını (Bresler 1973)

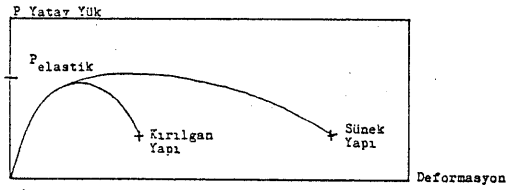
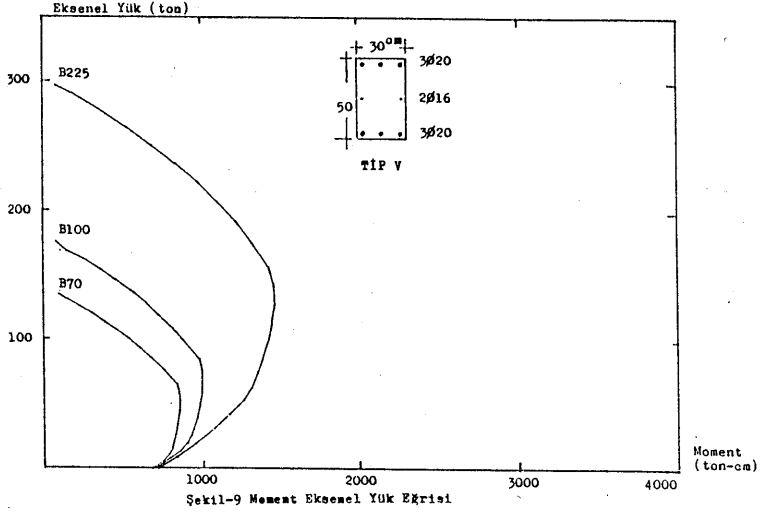


Şekil-4 Temel Eğitim Okulu Kalıp Planı, Kolen Tipleri, Kolen Yatay Yük Taşıma Payları

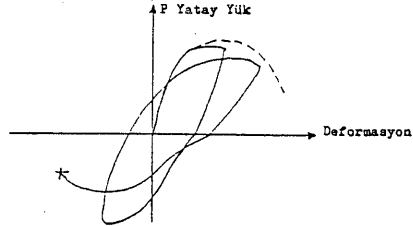


Şekil-5 Moment Eksenel Yük Eğrisi

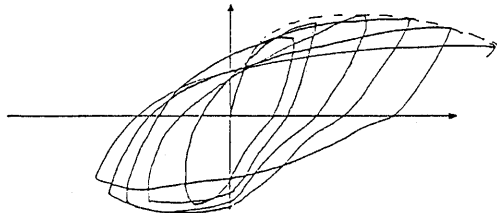




a) Sünek ve Sünek olmayan yapıların tek yönlü Yükleme altında Yük-deformasyon eğrisi



b) Sünek olmayan yapının tersinir yükleme altında Yük-deformasyon Eğrisi



c) Sünek yapının tersinir yükleme (deprem gibi) altında Yük-deformasyon Eğrisi

Şekil-10 Duktıl ve Duktıl Olmayan (Kırılğan) Yapıların Yatay Yük-Deformasyon Eğrileri