

MEVCUT BETONARME BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

(2007 Deprem Yönetmeliği – Bölüm 7)

Prof.Dr. Zekai Celep
İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi
celep@itu.edu.tr
http://www.ins.itu.edu.tr/zcelep/zc.htm

İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi
Bakırköy ve Kadıköy Temsilciliği
Mesleki Eğitim Kursu
24 ve 25 Nisan 2007

1. Genel bilgiler
 - 1.1. Plastik mafsalsal kabulü
 - 1.2. Statik itme analizi
 - 1.3. Kesit atalet momenti hesabında çatlamış kesit
 - 1.4. Eşit yerdeğiştirme kuralı
2. Mevcut binaların deprem güvenliğinin değerlendirilmesi
 - 2.1. Binalardan bilgi toplanması ve bilgi düzeyleri
 - 2.2. Kesit hasar sınırları ve bölgeleri
 - 2.3. Bina performans düzeyleri
 - 2.4. Deprem hareketi
 - 2.5. Binalar için hedeflenen deprem performans düzeyleri
 - 2.6. Değerlendirme yöntemleri
 - 2.7. Doğrusal elastik eşdeğer deprem yükü yöntemi
 - 2.8. Doğrusal elastik olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi

Örnek 1
Örnek 2

Zekai Celep

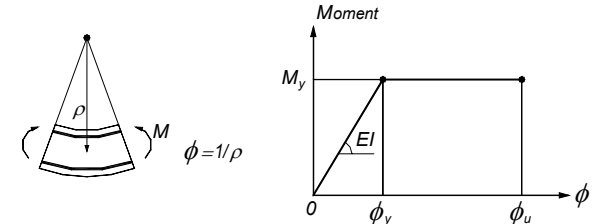
2

1.1. Plastik mafsalsal kabulü:

- Kesitte eğilme momentinin küçük değerlerinde elastik ve büyük değerlerinde elastik ve plastik şekil değiştirmeler meydana gelir.
- Kiriş ve kolon eksen boyu boyunca dağılı olan plastik şekil değiştirmelerin belirli kesitte toplandığının kabul edilmesi *Plastik Mafsalsal* kabulünü oluşturur.
- Plastik mafsalsal taşıyıcı sistem hesaplarında bir kesitte kabul edilirken, betonarme kesit hesaplarında plastik mafsalsal boyunun kabulüne ihtiyaç vardır. Bu boy eleman boyunca moment dağılımına ve kesit yüksekliğine bağlıdır.
- Plastik mafsallar, deprem etkisinde en çok zorlanan kolon ve kirişlerin uçlarında meydana gelir.

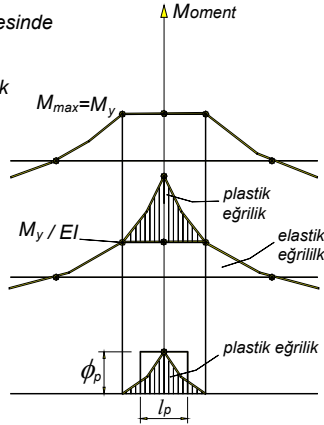
Betonarme kiriş kesitinde eğilme momenti etkisi altında moment-eğrilik bağıntısı

Kirişlerde eğilme momenti - eğrilik ilişkisi



Kiriş mesnet bölgesinde eğrilik değişimi

l_p : Eşdeğer plastik bölge boyu



Betonarme kirişin mesnet bölgesinde eğilme momenti ve eğrilik değişimi ve plastik eğriliklerin düzgün yayılı olarak bir l_p boyunda kabul edilmesi

Betonarme kiriş kesitinde eğilme momenti etkisi altında moment-eğrilik bağıntısı

l_p : plastik mafsallık boyu

ϕ_t : toplam eğrilik

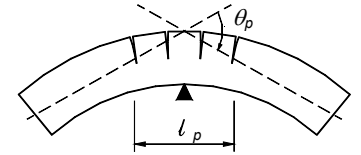
ϕ_p : plastik eğrilik

ϕ_y : akma eğriliği

θ_p : plastik dönme

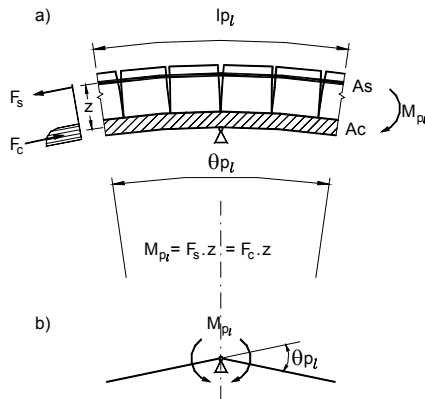
$$\theta_p = \phi_p l_p$$

$$\theta_p = (\phi_t - \phi_y) l_p$$



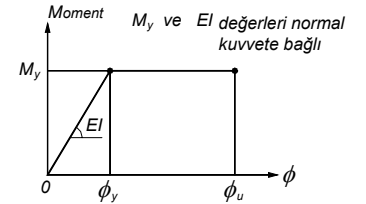
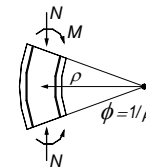
Betonarme kirişin mesnet kesitinde davranış,

Plastik mafsallık kabulü ile plastik dönmelerin bir kesitte yığılı kabul edilmesi



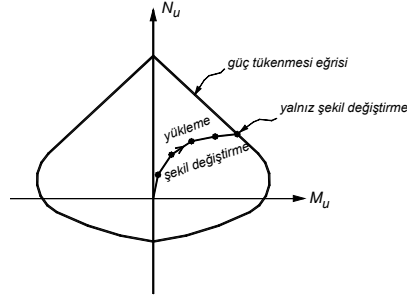
Betonarme kolon kesitinde eğilme momenti etkisi altında moment-eğrilik bağıntısı

Kolonlarda eğilme momenti - eğrilik ilişkisi



Betonarme kolon kesitinde eğilme momenti etkisi altında moment-eğrilik bağıntısı

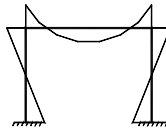
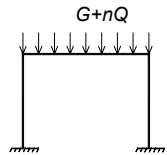
- Elastik ve elastik ötesi şekil değiştirme,
- Güç tükenmesi eğrisine eriştikten sonra, plastik şekil değiştirmeler oluşurken, yüklemeye eğri dışına çıkmaz,



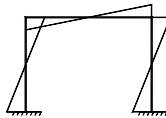
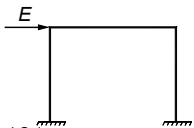
1. 2. Statik itme çözümü:

- Taşıyıcı sistemin elastik ötesi yatay yük kapasitesinin belirlenmesi için yapılan çözümdür.
- Taşıyıcı sistemin elastik ötesi kapasitesi hesaba katılır.
- Yatay yük etkisinde kesitlerde oluşan plastik şekil değiştirmeler plastik mafsallık kabulü ile gözönüne alınır.
- Taşıyıcı sistemin hiperstatiklik derecesinin yüksekliği, plastik mafsalların sayısının çokluğu ve moment kapasitesi yüksekliği oranında sistemin elastik ötesi yatay yük kapasitesi, elastik kapasiteden daha büyük olur.

Statik itme çözümü, taşıyıcı sistemde $G+nQ$ yüklemesi üzerine deprem yüklemesine benzer (birinci titreşim modu ve kütle dağılımı ile orantılı) bir yük dağılımı artırılarak yapılır.



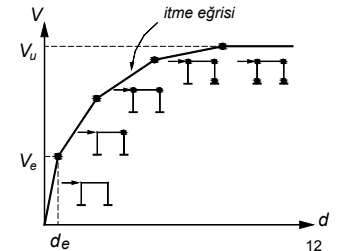
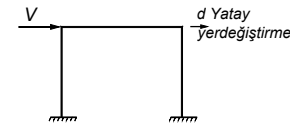
Eğilme momenti
(Düşey yük)



Eğilme momenti
(Deprem)

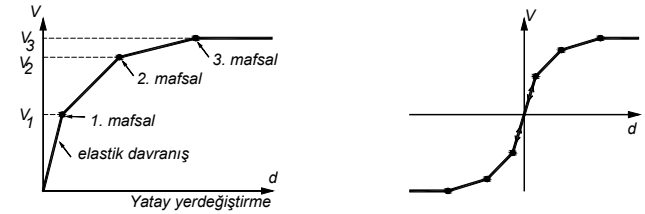
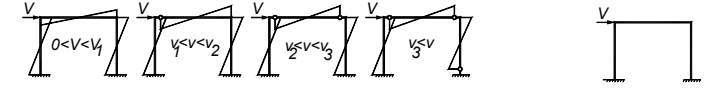
Statik itme yükü arttıkça;

- Sistemin zorlanan kesitlerinde plastik şekil değiştirmeler (plastik mafsallar) meydana gelir.
- Sistem yüklemeye ile yumuşar (daha kolay şekil değiştirme/yer değiştirme yapar).
- En sonunda sistem yük taşıyamaz duruma gelir.

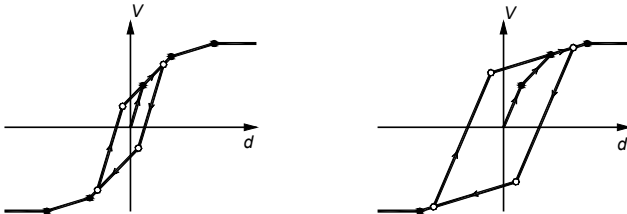


Statik itme yükü arttıkça;

- Plastik şekil değiştirmeler gözönüne alındığı için yatay yük kapasitesi artar. Buna karşılık plastik mafsal kesitlerde elastik ötesi şekil değiştirmeler meydana gelir ve yatay yerdeğıştirmeler artar.
- Plastik şekil değıştirme, donatının akması ve betonda büyük şekil değıştirmelerin oluşması olarak ortaya çıkar ve sınırlı hasar durumuna karşı gelir.
- Elastik ötesi kapasiteden faydalandığı için, kesit plastik şekil değıştirmelerinin ve yatay yerdeğıştirmelerin kabul edilebilir seviyede kaldığının kontrolü gerekir.

Adım adım yükleme ile statik itme çözümü**Statik itme eğrisinin özellikleri:**

- Tekrarlanan deprem yüklemesi altında yerdeğıştirme-kuvvet değışimi, statik itme eğrisini içine alarak çevrimsel biçimde oluşur.
- Bu çevrimsel davranış, statik itme eğrisi ve çevrimsel davranıştan oluşan sönüm olarak basitleştirilebilir.
- Sönüm, ilerleyen yükleme durumlarda daha fazla plastik şekil değıştirmeler oluştuğu için artar.

**1.3. Kesit atalet momenti hesabında çatlamış kesit**

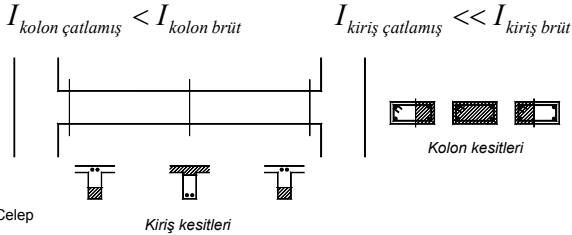
Dış etkiler altındaki taşıyıcı sistemde, kesit atalet momentinin değıeri ve değışiminde,

- Eğilme momentinin eleman boyunca değışimi,
- Şekil değıştirmelerin, dolayısıyla düşey ve yatay yerdeğıştirmelerin değıeri

etkili olur.

Yükler arttıkça kesitlerde çatlamalar ilerler ve atalet momenti azalır ve şekil değıştirmelerle yerdeğıştirmeler de artar.

- Düşey yükler altında, kirişlerde eğilme momenti ve kolonlarda normal kuvvet ile eğilme momenti beraberce etkili olur.
- Deprem yüklemesinde kirişlerde eğilme momenti artarken, kolonlarda eğilme momenti normal kuvvetin yanında etkili olmaya başlar.
- Çatlama; kirişlerde daha fazla etkili olurken, kolonlardaki etkisi mevcut normal kuvvetten dolayı daha sınırlı olur.



1.4. Eşit yerdeğiştirme kuralı

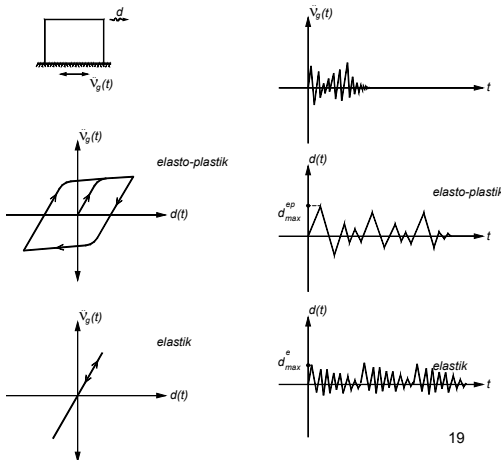
Elastik olan ve olmayan sistemde deprem etkisi altında maksimum yerdeğiştirme;

- Elastik sistemde rijitlik fazla olduğu için, yerdeğiştirme azalır.
- Elastik sistemde çevrimsel sönüm olmadığı için, yerdeğiştirme azalmaz.
- Elastik sistemde deprem hareketine karşı direnme fazla olduğu için, deprem kuvveti ve dolayısıyla yerdeğiştirme artar.
- Elasto-plastik sistemde rijitlik düşük olduğu için, yerdeğiştirme artar.
- Elasto-plastik sistemde çevrimsel sönüm olduğu için, yerdeğiştirme azalır.
- Elasto-plastik sistemde deprem hareketine daha az direnme olduğu için, deprem kuvveti ile, yerdeğiştirme azalır.

Eşit yerdeğiştirme kuralı:
Bina periyodu arttıkça yaklaşım daha iyileşiyor.

Büyük periyotlu binalar
 $d_{\text{max}}^{\text{elastik}} \approx d_{\text{max}}^{\text{elasto-plastik}}$

Küçük periyotlu binalar
 $d_{\text{max}}^{\text{elastik}} < d_{\text{max}}^{\text{elasto-plastik}}$



2. Mevcut binaların deprem güvenliğinin değerlendirilmesi

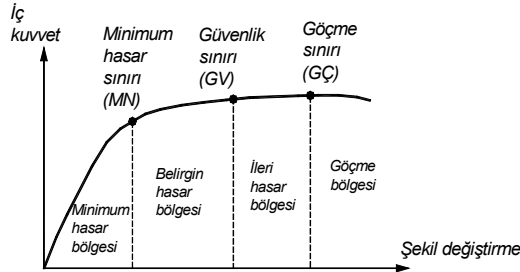
2.1. Binalardan bilgi toplanması ve bilgi düzeyleri

Mevcut binaların taşıyıcı sistem geometrisi, elemanlarının kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılacak, eleman detayları, taşıyıcı sistem geometrisi ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler, projeden, yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örnekleri üzerinde yapılacak deneylerden elde edilecektir.

- **Sınırlı bilgi düzeyi**
Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir. (**Bilgi düzeyi katsayısı: 0.75**)
- **Orta bilgi düzeyi**
Eğer binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Eğer mevcut ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri kontrol edilir. (**Bilgi düzeyi katsayısı: 0.90**)
- **Kapsamlı bilgi düzeyi**
Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin kontrol edilmesi amacıyla yeterli düzeyde ölçümler yapılır. (**Bilgi düzeyi katsayısı: 1.00**)

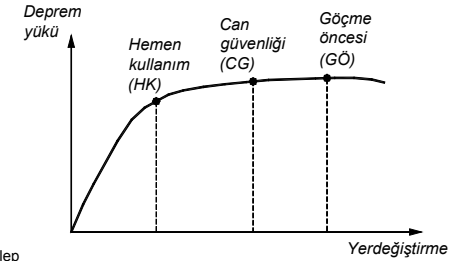
2.2. Kesit hasar sınırları ve bölgeleri

- **Minimum hasar sınırı (MN)**
Kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcına karşı gelir.
- **Güvenlik sınırı (GV)**
Kesitte dayanımın güvenli olarak sağlanabileceği durumda, elastik ötesi davranışın üst sınırına karşı gelir.
- **Göçme sınırı (GÇ)**
Kesitin göçme öncesi davranışının üst sınırına karşı gelir.



2.3. Bina performans düzeyleri

- **Hemen kullanım performans düzeyi (HK)**
- **Can güvenliği performans düzeyi (CG)**
- **Göçmenin önlenmesi performans düzeyi (GÖ)**



Hemen kullanım performans düzeyi (HK)

- Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u belirgin hasar bölgesine geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü minimum hasar bölgesindedir.
- Gevrek elemanlar güçlendirilecektir.
- Binanın güçlendirilmesine gerek yoktur.

Can güvenliği performans düzeyi (CG)

- Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %30'si ve kolonların bir kısmı ileri hasar bölgesine geçebilir.
- Ancak ileri hasar bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20 (en üst katta %40) nin altında olmalıdır.
- Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir.
- Can güvenliği durumunun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki dikey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

Göçmenin önlenmesi durumu performans düzeyi (GÖ)

- Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı Göçme Bölgesi'ne geçebilir. Ancak göçme bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır ve bu elemanların durumu yapının kararlılığını bozmamalıdır.
- Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir.
- Göçmenin önlenmesi durumunun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kat kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.
- Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

Göçme Durumu

- Bina Göçmenin Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır.
- Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

2.4. Deprem hareketi

- Mevcut binaların deprem güvenlik ve performanslarının değerlendirilmesinde gözönüne alınmak üzere, üç farklı deprem etkisi tanımlanmıştır.

Deprem türü	Deprem etkisi	Aşılma olasılığı	Esas alınan zaman aralığı	Ortalama dönüş periyodu
Kullanım (servis) depremi	~ 0.50	% 50	50 yıl	72 yıl
Tasarım depremi (Yeni konutlar binaları için gözönüne alınan deprem)	1.00	% 10	50 yıl	474 yıl
En büyük deprem (~Yeni toplumsal önemli binalar için gözönüne alınan deprem)	~ 1.50	% 2	50 yıl	2475 yıl

2.5. Binalar için öngörülen deprem performans hedefleri

- Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans hedefi olarak tanımlanır.
- Yapısal performansı, bir yapının taşıyıcı elemanlarının performans düzeyleri oluşturur.
- Bina performans düzeyleri, bir bina için verilen deprem etkisi altında beklenen hasarın sınır durumlarıdır.

Binalar için hedeflenen deprem performans hedefleri

Binanın kullanım amacı ve türü	Deprem 50 yılda aşılma olasılığı		
	% 50	% 10	% 2
Deprem sonrası hemen kullanımı gereken binalar Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık, belediye binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar ve müzeler Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb	-	HK	CG
İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri, vb.	HK	CG	-
Tehlikeli madde içeren binalar Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar, vb.	-	HK	GÖ
Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, bina türü endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

Zekai Celep

29

2.6. Değerlendirme yöntemleri

a. Doğrusal elastik yöntem uygulamaları:

- *Eşdeğer deprem yükü yöntemi*
- Mod birleştirme yöntemi

b. Doğrusal elastik olmayan yöntem uygulamaları:

- *Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi*
- *Artımsal mod birleştirme yöntemi*
- *Zaman tanım alanında hesap yöntemi*

Zekai Celep

30

2.7. Depremde bina performansının doğrusal elastik yöntem ile belirlenmesi

a. Eşdeğer deprem yükü yöntemi:

- Bodrum üzerindeki toplam yüksekliği 25m den az,
- Toplam kat adedi 8 i aşmayan,
- Burulma düzensizlik katsayısı 1.4 den küçük,
- *Bodrum üzerindeki kat adedi 2 den fazla olan binalarda, eşdeğer deprem yükü $\lambda = 0,85$ ile azaltılır.*

b. Mod birleştirme yöntemi:

Tüm binalarda uygulanabilir.

Zekai Celep

31

Depremde bina performansının doğrusal elastik *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ile belirlenmesi

- Bu doğrusal yöntemde dayanım esas alınır.
- Güç tükenmesi türleri
 - Sünek olan (eğilme momentinin kritik olduğu elemanlar)
 - Sünek olmayan / Gevrek olan (kesme kuvvetinin ve basınç kuvvetinin kritik olduğu elemanlar)

Zekai Celep

32

Depremde bina performansının doğrusal elastik Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenmesi

- Sünek güç tükenmesi:

Güç tükenmesi sünek olan elemanların kesitlerinin eğilme *Etki/Artık kapasite oranı* r , sadece azaltılmamış ($R_a = 1$) deprem etkisi altında hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine oranıdır. Bu değer ilgili sınır değerle karşılaştırılması ile, kesit hasar bölgeleri belirlenir. Bulunan sonuçlardan bina için performans değerlendirilmesi yapılır.

Yeni yapılar için:
$$M_{G+Q} + \frac{M_E}{R_a} \leq M_r$$

Mevcut yapılar için:
$$\frac{M_E}{M_r - M_{G+Q}} \leq r$$

Depremde bina performansının doğrusal elastik Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenmesi

- Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır.

M_E : Deprem etkisi ile oluşan eğilme momenti

M_D : Düşey yüklerden oluşan eğilme momenti

M_K : Eğilme momenti kapasitesi

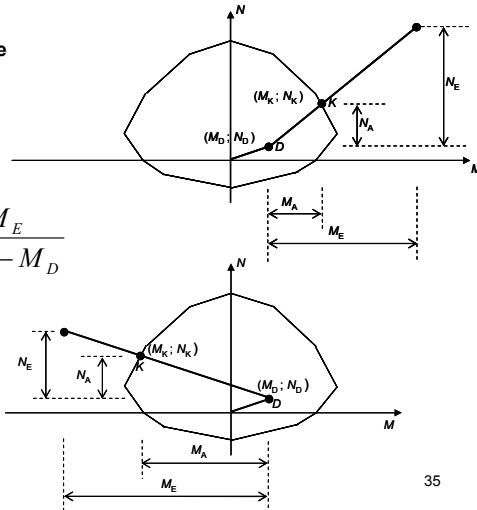
$M_K - M_D$: Artık moment kapasitesi

Etki/Kapasite oranı = Deprem etkisi / Artık kapasite

$$r = \frac{M_E}{M_r - M_{G+Q}} = \frac{M_E}{M_K - M_D}$$

Etki/Kapasite oranı =
Deprem etkisi / Artık kapasite

$$r = \frac{M_E}{M_r - M_{G+Q}} = \frac{M_E}{M_K - M_D}$$



Depremde bina performansının doğrusal elastik Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenmesi

- Sünek olmayan / Gevrek güç tükenmesi:

Güç tükenmesi sünek olmayan elemanların kesitlerinin *etki/artık kapasite oranı* r , düşey yükler ve azaltılmamış ($R_a = 1$) deprem etkisi ortak etkisi altında hesaplanan toplam kesit kesme kuvveti ve basınç kuvvetinin TS500 de verilen kesme kuvveti ve basınç kuvveti kapasitesine oranıdır.

Bu değer ilgili sınır değerle karşılaştırılması ile, kesit hasar bölgeleri belirlenir. Bulunan sonuçlardan bina için performans değerlendirilmesi yapılır.

Depremde bina performansının doğrusal elastik Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenmesi

V_E / N_E : Deprem etkisi ile oluşan kesme kuvveti / basınç kuvveti

V_D / N_D : Düşey yüklerden oluşan kesme kuvveti / basınç kuvveti

$V_{r \max} / N_{r \max}$: TS500 de verilen üst sınır

Etki/Kapasite oranı = (Düşey yükler + Deprem etkisi) / TS500deki üst sınır

$$r = \frac{V_D + V_E}{V_{r \max}} \quad r = \frac{N_D + N_E}{N_{r \max}}$$

$$V_{r \max} = 0.22 f_{cm} b_w d \quad N_{r \max} = 0.50 f_{cm} b h$$

Depremde bina performansının doğrusal elastik Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenmesi

- Kiriş, kolon ve perde kesitleri ve güçlendirilmiş yığma dolgu duvarları için hesaplanan etki/kapasite oranları, ilgili sınır değerler ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir.

Görelî kat ötelemesi sınırları

Görelî kat ötelemesi oranı	Performans düzeyi		
	Hemen kullanım (HK)	Can güvenliği (CG)	Göçmenin önlenmesi (GÖ)
(δ i max) / hi	0.01	0.03	0.04

Betonarme kirişler ve kolonlarda hasar sınırlarını tanımlayan Etki/Kapasite oranı (r) nin sınır değerlerinin bağlı olduğu parametreler:

a. Kirişlerde çekme donatısının dengeli donatının üzerinde bulunması sünek güç tükenmesinin ortaya çıkmasında olumsuz etkili olacak ve r nin sınır değerini azaltacaktır.

b. Kirişlerde basınç donatısının bulunması sünek güç tükenmesinin ortaya çıkmasında olumlu etkili olacak ve r nin sınır değerini arttıracaktır.

c. Kiriş ve kolonlarda etkilerin büyük olduğu bölgelerin sargılı olması güç tükenmesinin sünek olmasını sağlayacak ve r nin sınır değerini arttıracaktır.

d. Kiriş ve kolonlarda kesme kuvvetinin artması sünek güç tükenmesinin ortaya çıkmasında olumsuz etkili olacak ve r nin sınır değerini azaltacaktır.

e. Kolonlarda normal kuvvetin artması sünek güç tükenmesinin ortaya çıkmasında olumsuz etkili olacak ve r nin sınır değerini azaltacaktır.

Betonarme kirişlerde hasar sınırlarını tanımlayan Etki/Kapasite oranları (r)

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.0	Var	≤ 0.65	3	7	10
≤ 0.0	Var	≥ 1.30	2.5	5	8
≥ 0.5	Var	≤ 0.65	3	5	7
≥ 0.5	Var	≥ 1.30	2.5	4	5
≤ 0.0	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≤ 0.0	Yok	≥ 1.30	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≤ 0.65	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	4

Betonarme kolonlarda hasar sınırlarını tanımlayan Etki/Kapasite oranları (r)

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N_K}{A_c f_{cm}}$	Sargılama	$\frac{V_c}{b_w d f_{ctm}}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
≥ 0.7	-	-	1	1	1

Depremde bina performansının doğrusal elastik Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenmesi

1. Mevcut taşıyıcı sistem $G+nQ$ kullanma yükleri altında çözülerek kesit etkileri hesap edilir.
2. Taşıyıcı sistemin giriş uç kesitlerinin pozitif ve negatif eğilme momenti kapasiteleri hesaplanır.
3. Taşıyıcı sistemin $G+nQ$ altında oluşan kolon normal kuvvetleri altındaki kolon kesit eğilme momenti kapasiteleri hesaplanır.
4. Bütün kolon ve kirişleri kesme kuvveti ve normal kuvvet kapasiteleri TS500 ifadeleri esas alınarak hesaplanır. Bu değerler mevcut değerlerle karşılaştırılarak güç tükenmesinin sünek veya gevrek olduğuna karar verilir.

Depremde bina performansının doğrusal elastik Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenmesi

5. Sünek veya gevrek olma durumuna göre r Etki/Kapasite oranları ilgili tanımlardan hesaplanır. Bu değerler tablolardan verilen sınır değerlerle karşılaştırılarak kesitin bulunduğu hasar bölgesi belirlenir.
6. Kiriş ve kolonların uç kesitleri için belirlenen hasar bölgeleri esas alınarak, taşıyıcı sistemin verilen deprem etkisindeki deprem performansı belirlenir. Ayrıca görel kat ötelemesi sınırları kontrol edilir.
7. Belirlenen performans düzeyinin verilen bina için kabul edilip edilmeyeceği kontrol edilir.

2.8. Depremde bina performansının doğrusal elastik olmayan yöntemler ile belirlenmesi

- a. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi:
 - Toplam kat adedi 8 i aşmayan,
 - Burulma düzensizlik katsayısı 1.4 den küçük,
 - Deprem doğrultusundaki birinci titreşim moduna ait etkin kütle oranı 0.70 den büyük,
- b. Artımsal mod birleştirme yöntemi:
Tüm binalarda uygulanabilir.
- c. Zaman tanım alanında hesap yöntemi
Tüm binalarda uygulanabilir.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

- Bu doğrusal olmayan yöntemde şekil ve yerdeğiştirmeler esas alınır.
- Depremin talep ettiği yatay yüke kadar taşıyıcı sistem elastik ötesi davranış da gözönüne alınarak kadar adım adım yüklenir (*Statik İtme Analizi*). Son itme adımında deprem etkisinin iç kuvvet dağılımı, şekil değiştirme ve yerdeğiştirme talebi hesaplanır.
- Bulunan iç kuvvetler kullanılarak elemanların güç tükenme durumları belirlenir:
 - Sünek olan (eğilme momentinin kritik olduğu elemanlar)
 - Sünek olmayan / Gevrek olan (kesme kuvvetinin ve basınç kuvvetinin kritik olduğu elemanlar)

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

- *Sünek güç tükenmesi (Plastik şekil değiştirme talepleri hesap edilerek, şekil değiştirme kapasiteleri karşılaştırılır.)*

Deprem etkisinin talep ettiği beton ve donatı için birim uzama/kısalma değerleri ilgili sınır kapasite değeriyle karşılaştırılarak, kesit hasar bölgeleri belirlenir. Bulunan sonuçlardan bina için performans değerlendirilmesi yapılır.

- *Sünek olmayan güç tükenmesi (İç kuvvet talepleri hesap edilerek, iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılır.)*

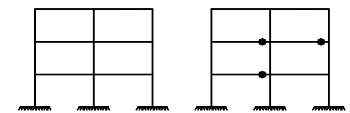
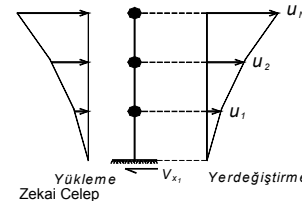
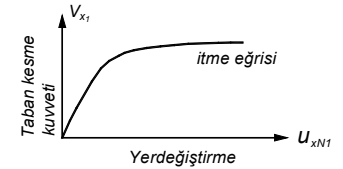
Deprem etkisinin talep ettiği iç kuvvet değerleri ilgili sınır kapasite değeriyle karşılaştırılarak, kesit hasar bölgeleri belirlenir. Bulunan sonuçlardan bina için performans değerlendirilmesi yapılır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde kullanılan kabuller:

- Plastik şekil değiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığının kabul edilmesi ve plastik mafsalları kabulünün kullanılması
- Plastik mafsalları boyu kabulü: $L_p = 0.5 h$
- Plastik mafsalların, deprem etkisinde en çok zorlanan kolon ve kirişlerin uçlarına, perdelerde ise her katta kat seviyesinde yerleştirilmesi
- Plastik mafsalları kesitlerinin güç tükenmesi çizgilerinin (yüzeylerinin) tanımlanması ve bunların doğrusallaştırılması
- Betonarme tablalı kesitlerde tabladaki beton ve donatının hesaba katılması
- Betonarme elemanlarda çatlamış kesit eğilme rijitliklerinin hesaba katılması

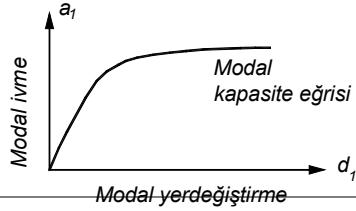
Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

- Birinci modu esas alan statik itme analizinin yapılması



Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

- Statik itme eğrisinin kapasite diyagramına dönüştürülmesi



$$a_1^{(i)} = \frac{V_{xi}^{(i)}}{M_{x1}} \quad d_1^{(i)} = \frac{u_{xNi}^{(i)}}{\phi_{xN1} \Gamma_{x1}}$$

$$M_{x1} = \frac{\left(\sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj} \right)^2}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj}^2} \quad \Gamma_{x1} = \frac{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj}}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj}^2}$$

49

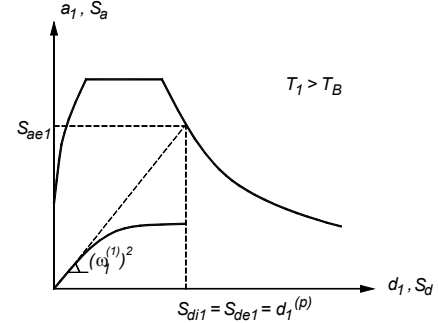
Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

- Modal yerdeğiştirme talebinin belirlenmesi / Eşit yerdeğiştirme kuralının kullanımı:

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1}$$

$$C_{R1} = 1$$

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{\omega_1^2} = \frac{S_{ae1}}{(2\pi/T_1)^2}$$



Zekai Celep

50

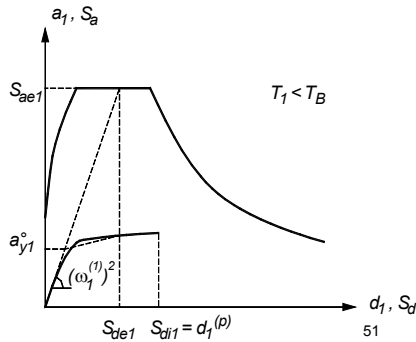
Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

- Modal yerdeğiştirme talebinin belirlenmesi / Düzeltilmiş eşit yerdeğiştirme kuralının kullanımı:

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1}$$

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) T_B / T_1}{R_{y1}} \geq 1$$

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}}$$

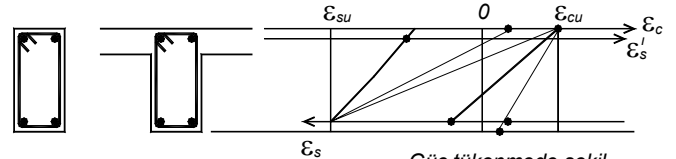
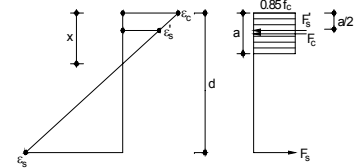


51

Zekai Celep

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

- Bulunan modal yerdeğiştirme talebinden, taşıyıcı sisteme ait iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekil değıştirme talebi belirlenir.



Güç tüketmede şekil değıştirme profilleri

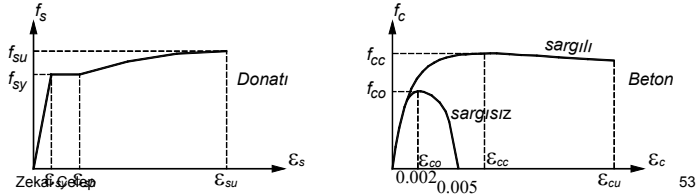
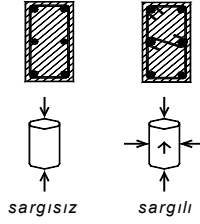
Zekai Celep

52

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

- Moment-eğrilik bağıntılarının belirlenmesinde kullanılacak donatı ve beton için gerilme-şekil değiştirme bağıntıları

Donatı	f_{sy} (MPa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su} (MPa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550



53

Kesit hasar sınırlarına karşı gelen beton ve donatı birim uzama/kısalma kapasiteleri

Kesit hasar sınırları	Beton birim kısalması		Çelik birim uzama / kısalması
	Sargısız	Sargılı	
Minimum hasar sınırı (MN)	0.0035	0.0035	0.010
Güvenlik sınırı (GV)	0.0035	0.0135	0.040
Göçme sınırı (GÇ)	0.0040	0.0180	0.060

Zekai Celep

54

Depremde bina performansının doğrusal elastik olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenmesi

- Mevcut taşıyıcı sistem G+nQ kullanma yükleri altında çözülerek kesit etkileri hesap edilir.
- Taşıyıcı sistemin giriş uç kesitin pozitif ve negatif eğilme moment kapasiteleri hesaplanır.
- Taşıyıcı sisteme birinci titreşim modu ile orantılı yatay yük etkisinde statik itme eğrisi elde edilir. Bulunan bu eğri modal kapasite eğrisine dönüştürülür.
- Deprem talebini yerdęiştirme-ivme spektrumu çizilir. İki eğri kullanılarak binanın performans noktası elde edilir.

Zekai Celep

55

Depremde bina performansının doğrusal elastik olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenmesi

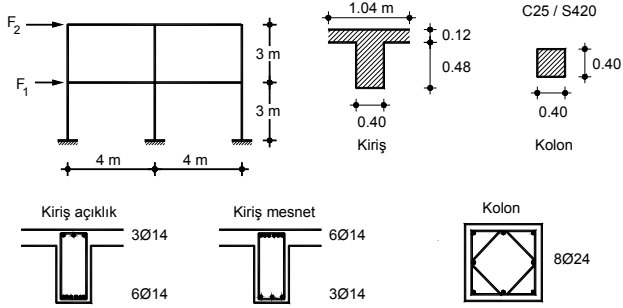
- Performans noktasındaki bulunan modal yerdęiştirme talebinden, taşıyıcı sisteme ait iç kuvvet, yerdęiştirme ve şekil yerdęiştirme talebi belirlenir.
- Bulunan şekil yerdęiştirmeler, kesit hasar sınırlarına karşı gelen beton ve donatı şekil yerdęiştirmeleri ile karşılatılarak kesitin bulunduğu hasar bölgesi belirlenir.
- Kiriş ve kolonların uç kesitleri için belirlenen hasar bölgeleri esas alınarak, taşıyıcı sistemin verilen deprem etkisindeki deprem performansı belirlenir. Ayrıca görel kat ötelemesi sınırları kontrol edilir.
- Belirlenen performans düzeyinin verilen bina için kabul edilip edilmeyeceği kontrol edilir.

Zekai Celep

56

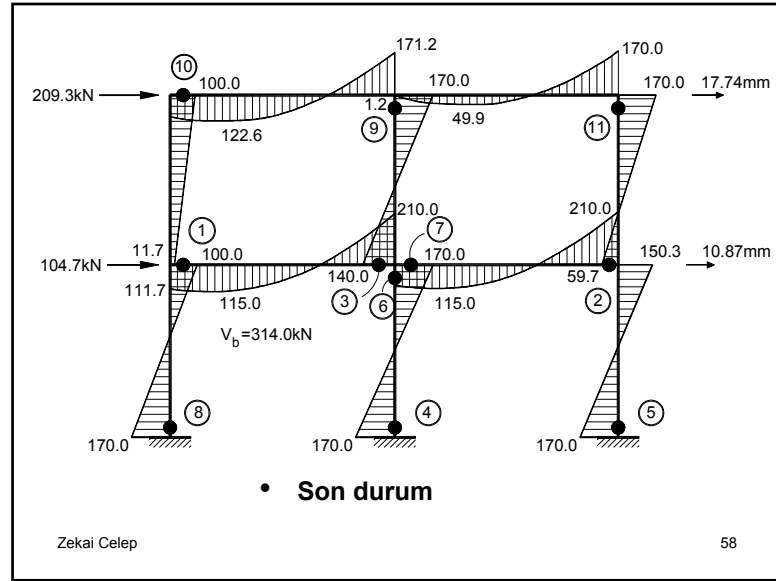
Örnek 1 : Artımsal statik itme analizine örnek

• Çerçeve örneği



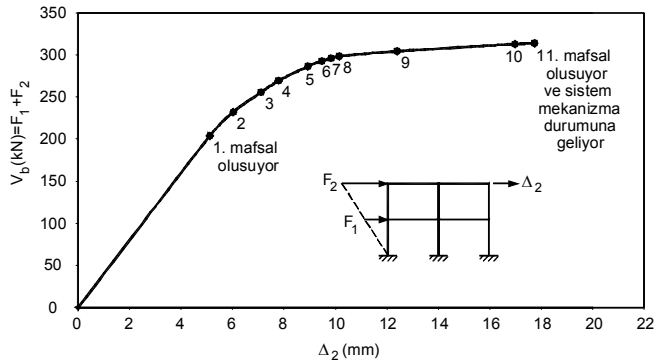
Zekai Celep

57



Zekai Celep

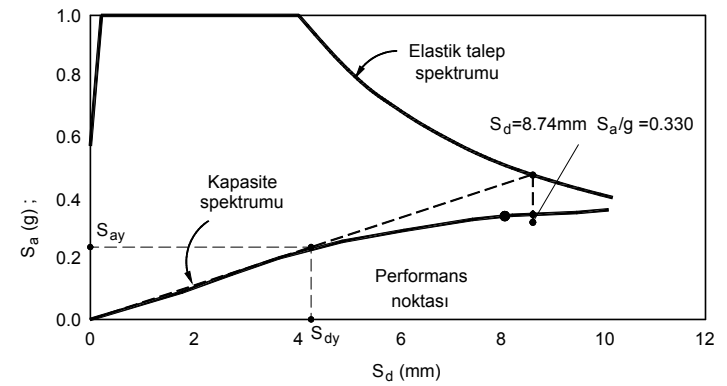
58



• Yatay yerdeğiştirme- yük değişimi

Zekai Celep

59

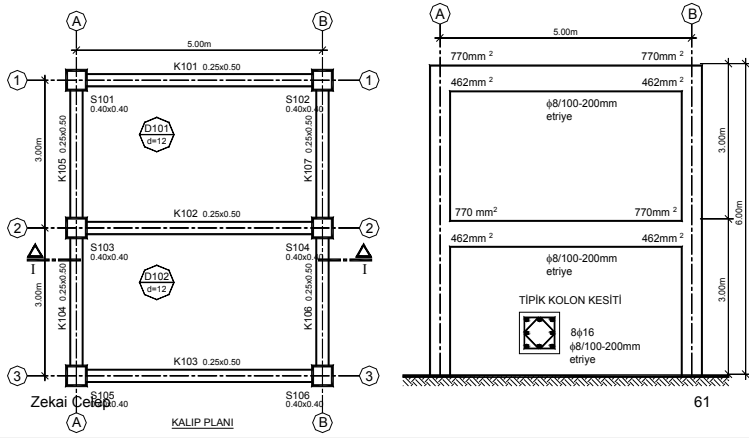


• Performans noktasının bulunması

Zekai Celep

60

Örnek 2:



61

Taşıyıcı sistem bilgileri:

Kolonlar	: 0.40m×0.40m	$d' = 0.04m$	
Kiriş	: 0.25m/0.50m	$d' = 0.04m$	
Döşeme	: 0.12m		
Kaplama	: 1.5kN/m ²		
Hareketli yük	: 3.5kN/m ²		
Malzeme	: C20 / S220		
Deprem bölgesi	: $A_o = 0.4$		
	: $f_{cm} = 20MPa$	$f_{ym} = 220MPa$	
	: $f_{ctm} = 1.6MPa$	$E_c = 28GPa$	
Zemin sınıfı B	: $T_A = 0.15s$	$T_B = 0.60s$	

Kat ağırlıkları:

$q_1 = 3.5kN/m^2 \times 3m = 10.5kN/m$
 $g_1 = 0.50m \times 0.25m \times 25kN/m^3 = 3.13kN/m$

$G_1 = G_2 = 3.13kN/m \times 5m + 13.5kN/m \times 2m + 13.3kN/m \times 1.5m = 62.90kN$
 $Q_1 = Q_2 = 10.5kN/m \times 2m + 10.5kN/m \times 1.5m = 36.75kN$
 $W_1 = W_2 = G_1 + nQ_1 = 62.90 + 0.3 \times 36.75 = 73.93kN$
 $W = W_1 + W_2 = 147.26kN$

Zekai Celep

62

Kiriş kesiti kapasitesi:

Kesme kuvveti:

$V_r = 0.8V_{cr} + V_w = 0.8 \times 0.65 f_{ctm} b_w d + A_{sw} f_{yw} d/s$

$V_r = 0.8 \times 0.65 \times 1.6 \times 250 \times 460 + 50 \times 2 \times 220 \times 460 / 200$

$V_r = 146.28kN$

$V_{rmax} = 0.22 f_{cm} b_w d = 0.22 \times 20 \times 250 \times 460$

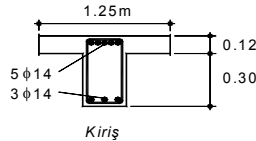
$V_{rmax} = 506.00kN$

Kolonda normal kuvvet etkisi:

$N_D / (A_c f_{cm}) = 29140 / (400 \times 400 \times 20) = 0.009$

$N_D / (A_c f_{cm}) = 58280 / (400 \times 400 \times 20) = 0.018$

Kiriş ve kolonlarda atalet momenti : 0.40 I_{brüt}



63

Zekai Celep

Kiriş kesiti kapasitesi:

Negatif moment:

$0.85 f_{cm} b_w a = A_s f_{ym}$

$0.85 \times 20 \times 250 a = 770 \times 220 \quad a = 40mm$

$M_r = A_s f_{ym} (d - 0.5a) = 770 \times 220 (460 - 20)$

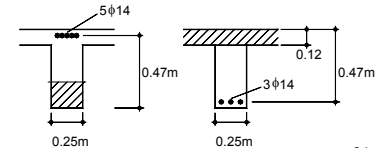
$M_r = 74.54kNm$

Pozitif moment:

$0.85 \times 20 \times 1250 a = 462 \times 220 \quad a = 5mm$

$M_r = A_s f_{ym} (d - 0.5h_r) = 462 \times 220 (470 - 2.5)$

$M_r = 46.50kNm$



Zekai Celep

64

Kolon kesiti kapasitesi:**Kesme kuvveti (normal kuvvet etkisi ihmal edilerek):**

$$V_r = 0.8 V_{cr} + V_w = 0.8 \times 0.65 f_{ctm} b_w d + A_{sw} f_{ywm} d/s$$

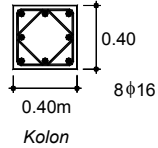
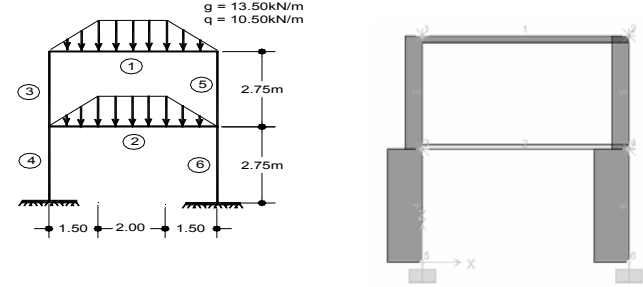
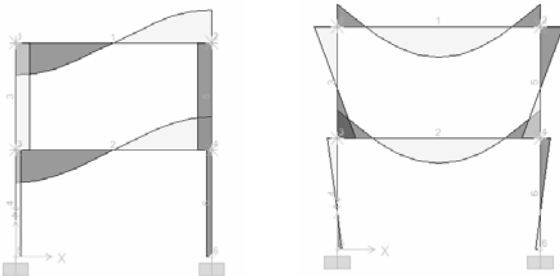
$$V_r = 0.8 \times 0.65 \times 1.6 \times 400 \times 360 + (50 \times 2 + 2 \times 50 / \sqrt{2}) 220 \times 360 / 200$$

$$V_r = 187.41 \text{ kN}$$

Normal kuvvet:

$$N_{r \max} = 0.5 f_{cm} b h = 0.5 \times 20 \times 400 \times 400$$

$$N_{r \max} = 1600 \text{ kN}$$

**Düşey yükler altında çözüm:****Yükleme ve normal kuvvet değişimi:****Düşey yükler altında çözüm:****Kesme kuvveti ve eğilme momenti değişimi:****Düşey yükler altında çözüm:**

<i>Düşey yükler altındaki iç kuvvetler (G + Q)</i>			
Eleman	Normal kuvvet (kN)	Kesme kuvveti (kN)	Eğilme momenti (kNm)
Kiriş 1 (sol/sağ uç)	-	±42.00	-27.88
Kiriş 2 (sol/sağ uç)	-	±42.00	-34.60
Kolon 3 (alt/üst uç)	-42.00	18.36	+22.62 / -27.88
Kolon 4 (alt/üst uç)	-84.00	6.51	+5.92 / -11.98
Kolon 5 (alt/üst uç)	-42.00	18.36	+22.62 / -27.88
Kolon 6 (alt/üst uç)	-84.00	6.51	+5.92 / -11.98

Doğrusal elastik hesap (Eşdeğer deprem yükü):

$$T_1 = 0.226s \quad R_a = 1 \quad I = 1 \quad A_o = 0.4$$

$$S(T_1 = 0.226s) = 2.5 \quad \lambda = 1.00$$

$$A(T_1) = A_o I S(T_1) = 0.4 \times 1.0 \times 2.5 = 1.00$$

$$V_t = \lambda W A(T_1) / R_a = 1.00 \times 147.86 \times 1.00 / 1.0$$

$$V_t = 147.86 \text{ kN}$$

$$\Delta F_N = 0.0075 N V_t = 0.0075 \times 2 \times 147.86 = 2.22 \text{ kN}$$

Kat kütleleri ve yükseklikleri eşit olduğu için, kat deprem kuvvetleri:

$$F_1 = (V_t - \Delta F_N) / 3 = 48.55 \text{ kN} \quad F_2 = 2 F_1 + \Delta F_N = 99.31 \text{ kN}$$

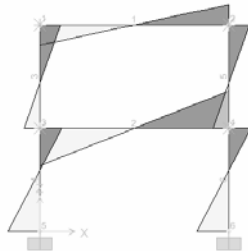


Deprem yükleri altında çözüm:

Deprem yükleri altındaki iç kuvvetler (E)			
Eleman	Normal kuvvet (kN)	Kesme kuvveti (kN)	Eğilme momenti (kNm)
Kiriş 1 (sol/sağ uç)	-	±30.76	±76.90
Kiriş 2 (sol/sağ uç)	-	±56.91	±142.26
Kolon 3 (alt/üst uç)	-49.66	±30.71	±56.67 / ± 76.90
Kolon 4 (alt/üst uç)	-73.94	±87.66	±120.74 / ±82.59
Kolon 5 (alt/üst uç)	-49.66	±30.71	±56.67 / ± 76.90
Kolon 6 (alt/üst uç)	-73.94	±87.66	±120.74 / ±82.59

Deprem yükleri altında çözüm:

Yükleme ve normal kuvvet değişimi:



Doğrusal elastik hesap (Eşdeğer deprem yükü):

Kiriş mesnet kesitleri:

Kiriş ve yükleme	Mr (kNm)	Md = Mg+q (kNm)	Me (kNm)	r = Me/(Mr-Md)
Kiriş 1 G+Q+E	+46.50	-27.88	+76.90	76.90/(46.50+27.88)=1.03
Kiriş 1 G+Q-E	-74.54	-27.88	+76.90	76.90/(74.54-27.88)=1.64
Kiriş 2 G+Q+E	+46.50	-34.60	+142.26	142.26/(46.50+34.60)=1.75
Kiriş 2 G+Q-E	-74.54	-34.60	-142.26	142.26/(74.54-34.60)=3.56

Eğilme momenti kapasitelerine karşı gelen kesme kuvveti:

Kiriş 1 ve 2:

$$(M_r \text{ sol} + M_r \text{ sağ})/\ell_n + V_{dy} =$$

$$= (46.50 + 74.54)/4.60 + 42.00 = 68.31 \text{ kN} < V_r = 146.28 \text{ kN}$$

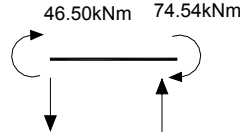
Dengeli donatı oranı:

$$x/d = \varepsilon_{cu} / (\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}) = 3 / (3 + 1.1) = 0.732$$

$$\rho_b = 0.85 f_{cm} k_x k_1 / f_{ym} = 0.85 \times 20 \times 0.732 \times 0.85 / 220 = 0.04808$$

Zekai Celep

73



Kirişlerde donatı oranı

Kesit	A _s (mm ²)	A _s ' (mm ²)	ρ _b %	ρ = A _s '/(b _w d) (%)	ρ' = A _s /(b _w d) (%)	(ρ - ρ') / ρ _b
1	707	462	4.806	0.615	0.402	+0.0443
2	462	707	4.806	0.402	0.615	-0.0443

Kirişlerde kesme kuvveti etkisi oranı

Kiriş	V _{g+q} (kN)	V _e (kN)	(V _{g+q+e})/(b _w d f _{ctm})
1	42.00	30.76	(42000+30760)/(250×460×1.6)=0.395
2	42.00	56.91	(42000+56910)/(250×460×1.6)=0.538

Zekai Celep

74

Kolonda karşılıklı etki diyagramı:

$$N_o \text{ basınç} = 0.85 \times 20 \times 400 \times 400 \times 1608 \times 220 = 3074 \times 10^3 \text{ N}$$

$$N_o \text{ çekme} = 1608 \times 220 = 354 \times 10^3 \text{ N}$$

Dengeli durum:

$$x/d = \varepsilon_{cu} / (\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y) = 3 / (3 + 1.1) = 0.732$$

$$x = 0.732 \times 360 = 264 \text{ mm}$$

$$a = 0.85 \times 264 = 224 \text{ mm}$$

$$F_c = 0.85 \times 20 \times 400 \times 224 = 1523 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\varepsilon_s' = \%0.3 \times (264 - 40) / 264 = \%0.255$$

$$F_s' = F_s = 603 \times 220 = 133 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\varepsilon_s'' = \%0.3 \times (264 - 200) / 264 = \%0.727$$

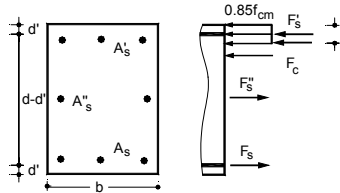
$$F_s'' = 402 \times 145 = 58.29 \times 10^3 \text{ N}$$

$$N_r = 1523 + 58290 = 1581 \times 10^3 \text{ N}$$

$$M_r = 133 \times (0.400 - 0.080) + 1523 \times (0.200 - 0.112) = 176.6 \text{ kNm}$$

Zekai Celep

75



$$\sigma_s' = 220 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s'' = 0.727 \times 200 = 145 \text{ MPa}$$

Kolon üst ucunda

Noktalarından

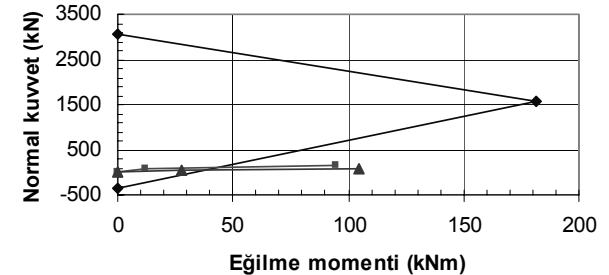
Ng+q, Mg+q ve

N_r, M_r

Ng+q+e, Mg+q+e

kapasite hesabı

Karşılıklı etki diyagramı (kolon üst uç)



Zekai Celep

◆ Karşılıklı etki ■ Kat 1 ▲ Kat 2

	Kat 1					Kat 2				
	g+q	e	g+q+e	Kapasite	r	g+q	e	g+q+e	Kapasite	r
N (kN)	84.00	73.94	157.94	113.00	2.55	42.00	49.66	91.66	48.30	7.88
M (kNm)	11.98	82.59	94.57	44.40	2.55	27.88	76.90	104.78	37.60	7.91

Kolon üst kesitlerinde $r = N_e / (N_r - N_{g+q})$ $r = M_e / (M_r - M_{g+q})$

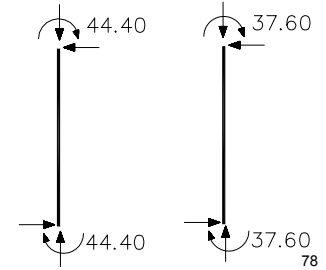
Kolonlarda normal kuvveti etkisi oranı

Kolon	N _{kg+q+e} (kN)	N _{g+q+e} / (A _c f _{cm})
Kat 1	118.00	118000 / (400×400×20) = 0.0369
Kat 2	45.90	45900 / (400×400×20) = 0.0143

Kolonlarda eğilme momenti kapasitelerine karşı gelen kesme kuvveti:

$$\begin{aligned} \text{Kat 1: } (M_r \text{ alt} + M_r \text{ üst}) / \ell_n &= \\ &= 2 \times 44.40 / 2.50 = \\ &= 35.52 \text{ kN} < V_r = 187.40 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kat 2: } (M_r \text{ alt} + M_r \text{ üst}) / \ell_n &= \\ &= 2 \times 37.60 / 2.50 = \\ &= 30.80 \text{ kN} < V_r = 187.40 \text{ kN} \end{aligned}$$



Birleşim bölgesi kontrolü (kuşatılmamış):

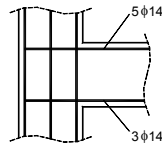
$$V_r = 0.45 b_w h_c f_{cm} = 0.45 \times 250 \times 400 \times 20 = 900 \times 10^3 \text{ N}$$

$$V_r = 1.25 A_s f_{ym} = 1.25 \times 770 \times 220 = 212 \times 10^3 \text{ N} < V_r = 900 \text{ kN}$$

Yatay yerdeğiştirme kontrolü:

$$\delta_1 / h_1 = 8.51 \text{ mm} / 3000 \text{ mm} = 0.00284$$

$$\delta_2 / h_2 = (16.88 - 8.51) \text{ mm} / 3000 \text{ mm} = 0.00274$$



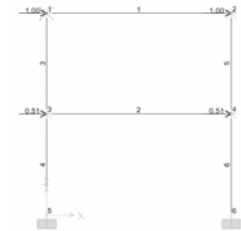
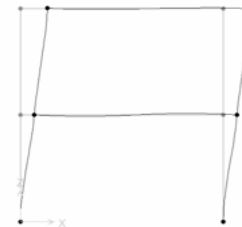
Doğrusal olmayan hesap (Artımsal eşdeğer deprem yükü):

Taşıyıcı sistem çözümünde çatlamış kesit atalet momenti gözönüne alınacaktır:

$$\text{Kiriş} : 0.40 I_{\text{brüt}} \quad \text{Kolon} : 0.40 I_{\text{brüt}}$$

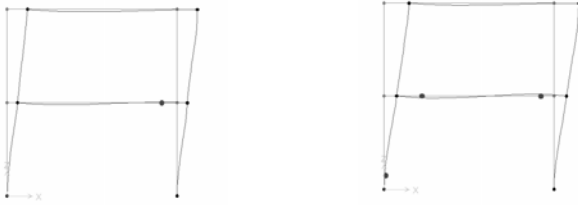
$$\text{Birinci titreşim mod şekli: } \phi_1 = [0.506, 1.000] \quad T_1 = 0.226 \text{ s}$$

Kat ağırlıkları eşit olduğu için mod genlikleri ile orantılı itme kuvveti uygulanacaktır.



Statik itme çözümü:

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban kesme kuvveti (kN)	Plastik mafsalsayısı
1	6.0	52.8	1
2	10.5	75.2	3

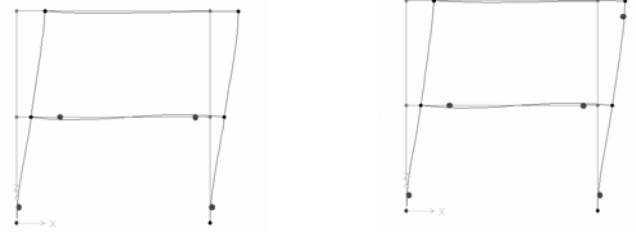


Zekai Celep

81

Statik itme çözümü:

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban kesme kuvveti (kN)	Plastik mafsalsayısı
3	12.2	79.6	4
4	14.4	81.5	5

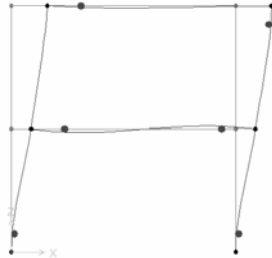


Zekai Celep

82

Statik itme çözümü:

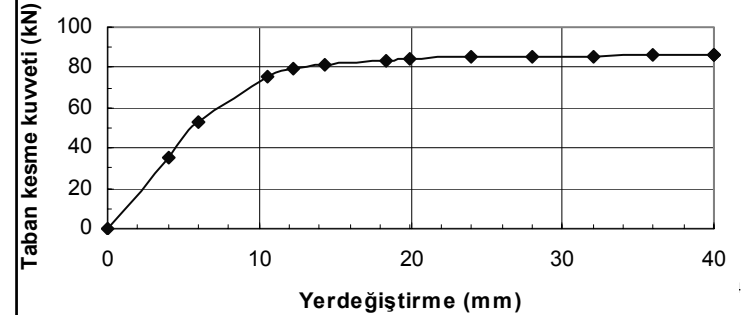
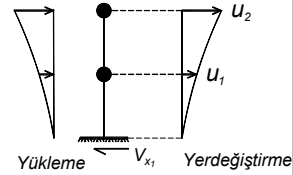
Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban kesme kuvveti (kN)	Plastik mafsalsayısı
5	20.0	84.6	6



Zekai Celep

83

Statik itme eğrisi



- a1 : Spektral ivme
 Vb1 : Taban kesme kuvveti u1: En üst kat yerdeğiřtirmesi
 d : Spektral yerdeğiştirme

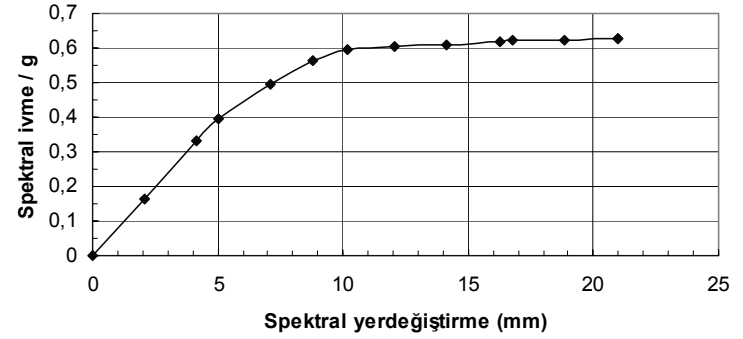
$$M_1 = \varphi^T \mathbf{m} \varphi = 0.506^2 \times 7.536 + 7.536 = 9.465 kNms^2 / m$$

$$L_1 = \varphi^T \mathbf{m} \mathbf{1} = 0.506 \times 7.536 + 7.536 = 11.349 kNms^2 / m$$

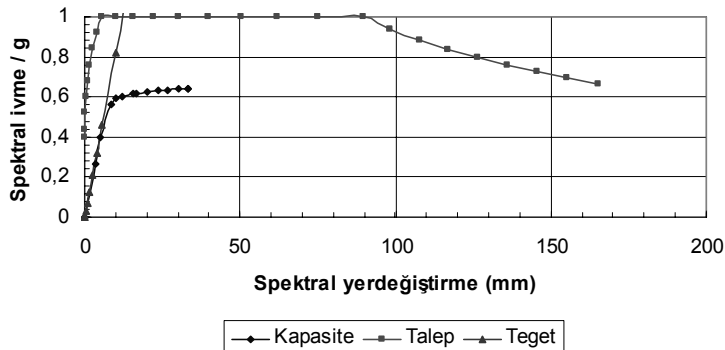
$$\Gamma_1 = L_1 / M_1 = 1.199 \quad M_1^* = \Gamma_1 L_1 = 13.608 kNs^2 / m$$

$$d_1 = \frac{u_1}{\varphi_{N1} \Gamma_1} \quad a_1 = V_{b1} / M_1^*$$

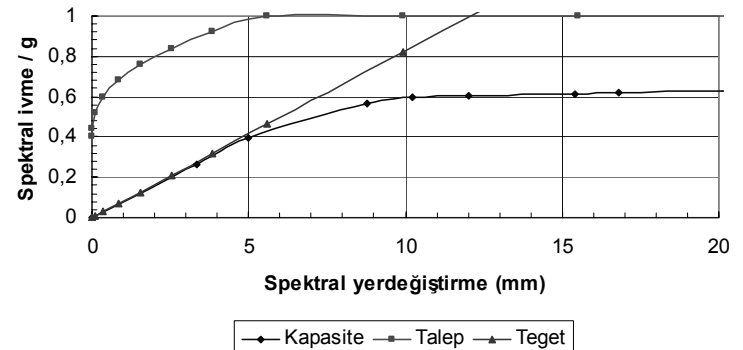
Spektral kapasite eğriři



Spektral kapasite eğriři



Spektral kapasite eğriři



$$R_y = g / (0.6g) = 1.67$$

$$CR1 = [1 + (1.67-1) \times 0.6/0.226] / 1.67 = 1.664$$

$$Sd1 = 1.664 \times 12.53 = 20.85 \text{ mm}$$

$$u1 = 20.85 \times 1.119 = 25.0 \text{ mm}$$

$$S_{d11} = C_{R1} S_{d1}$$

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) T_B / T_1}{R_{y1}} \geq 1$$

$$R_{y1} = \frac{S_{d11}}{a_{y1}}$$

Plastik mafsalsal dönmeleri

Eleman	Uç	Normal kuvvet (kN)	Moment (kNm)	Plastik dönme (radyan)
Kiriş 1	Sol	0	+46.72	0.000903
Kiriş 1	Sağ	0	-71.74	-
Kiriş 2	Sol	0	+47.23	0.003086
Kiriş 2	Sağ	0	-76.13	0.004234
Kolon 3	Alt	-5.45	-46.72	-
Kolon 3	Üst	-5.45	-37.48	-
Kolon 4	Alt	-9.91	+67.05	0.003011
Kolon 4	Üst	-9.91	-37.48	-
Kolon 5	Alt	-52.83	+36.71	-
Kolon 5	Üst	-52.83	-71.74	0.001781
Kolon 6	Alt	-106.64	+80.22	0.002723
Kolon 6	Üst	-106.04	-19.07	-

Kiriş kesitlerinin akma eğrilikleri:

Negatif eğilme momenti:

$$A_s = 770 \text{ mm}^2 \quad \rho = \% 0.655$$

$$A_s' = 462 \text{ mm}^2 \quad \rho' = \% 0.393$$

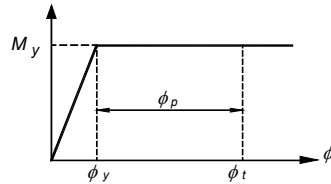
$$n = E_s / E_c = 200/28 = 7.14$$

$$e_y = f_{ym} / E_s = 220/200000 = 0.0011$$

$$d = 460 \text{ mm} \quad d' = 30 \text{ mm}$$

$$kx = [(\rho + \rho')^2 n^2 + 2(\rho + \rho' d'/d) n]^{1/2} - (\rho + \rho') n = 0.248 \quad x = 114 \text{ mm}$$

$$\phi_y = e_y / (d-x) = 0.0011 / (0.460 - 0.114) = 3.179 \times 10^{-3} \text{ radyan/m}$$



Pozitif eğilme momenti:

$$A_s = 462 \text{ mm}^2 \quad \rho = \% 0.393$$

$$A_s' = 770 \text{ mm}^2 \quad \rho' = \% 0.655 \quad kx = 0.189 \quad x = 87 \text{ mm}$$

$$\phi_y = e_y / (d-x) = 0.0011 / (0.460 - 0.087) = 2.949 \times 10^{-3} \text{ radyan/m}$$

Kolon kesitlerinin Ng+q+e normal kuvveti altındaki akma eğrilikleri:

$$N_{g+q+e} = \frac{1}{2} b x \sigma_c + A_s' \sigma_s' - A_s f_y - A_s'' \sigma_s''$$

$$N_{g+q+e} = \frac{1}{2} b x \frac{\epsilon_y}{d-x} x E_c + A_s' \frac{\epsilon_y}{d-x} (x-d') E_s - A_s f_y - A_s'' \frac{\epsilon_y}{d-x} \left(\frac{h}{2} - d'\right) E_s$$

$$b=h=400 \text{ mm} \quad d=360 \text{ mm} \quad f_{ym}=220 \text{ MPa} \quad n=7.14$$

$$A_s = A_s' = 603 \text{ mm}^2 \quad A_s'' = 402 \text{ mm}^2$$

Kolon 3	Ng+q+e = -7.91 kN	
	x = 83 mm	$\phi_y = 3.97 \times 10^{-3} \text{ radyan/m}$
Kolon 4	Ng+q+e = -9.91 kN	
	x = 84 mm	$\phi_y = 3.99 \times 10^{-3} \text{ radyan/m}$
Kolon 5	Ng+q+e = -352.83 kN	
	x = 92 mm	$\phi_y = 4.10 \times 10^{-3} \text{ radyan/m}$
Kolon 6	Ng+q+e = -106.64 kN	
	x = 101 mm	$\phi_y = 4.25 \times 10^{-3} \text{ radyan/m}$

$$\theta_{\text{plastik}} = \phi_{\text{plastik}} \times 0.5 h$$

$$h_{\text{kiriş}} = 0.50m$$

$$h_{\text{kolon}} = 0.40m$$

Eleman	Uç	Plastik dönme (radyan)×1000	Plastik eğrilik (1/m)×1000	Akma eğriliği (1/m)×1000	Toplam eğrilik (1/m)×1000
Kiriş 1	Sol	0.903	3.61	3.18	6.79
Kiriş 1	Sağ	-	-	-	-
Kiriş 2	Sol	3.086	12.34	3.18	15.52
Kiriş 2	Sağ	4.234	16.94	2.95	19.89
Kolon 3	Alt	-	-	-	-
Kolon 3	Üst	-	-	-	-
Kolon 4	Alt	3.011	15.06	3.99	19.05
Kolon 4	Üst	-	-	-	-
Kolon 5	Alt	-	-	-	-
Kolon 5	Üst	1.781	8.91	4.10	13.01
Kolon 6	Alt	2.723	13.62	4.25	17.87
Kolon 6	Üst	-	-	-	-

93

Zekai Celep

$$N = 0.85 b a f_{cm} - A_s \sigma_s + A'_s \sigma'_s - A''_s \sigma''_s$$

Eleman	Uç	Toplam eğrilik (1/m)×1000	N (kN) *	a (mm)	x (mm)	ε _c ×1000	ε _s ×1000
Kiriş 1	Sol	6.79	-	5	7	0.05	3.08
Kiriş 2	Sol	15.52	-	5	7	0.11	7.03
Kiriş 2	Sağ	19.89	5.45	40	47	0.94	8.22
Kolon 4	Alt	19.05	9.91	23	28	0.52	6.33
Kolon 5	Üst	13.01	52.83	28	33	0.42	4.26
Kolon 6	Alt	17.87	106.64	33	39	0.70	5.73

Zekai Celep

94

- Bulunan beton ve donatı birim kısalma (ve uzama) değerleri ilgili sınırlarla kıyaslanarak elemanların hasar bölgeleri belirlenir.
- Her iki yöntemde de bu değerlerden binanın performans durumu yönetmelikteki şartlar kullanılarak tespit edilir.

Zekai Celep

95

İlgili yayınlar:

- N.Aydinoğlu, Z. Celep, E. Özer, H. Sucuoğlu; *Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik - Örnek Kitabı*; Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara 2007.
- Z. Celep, N. Kumbasar; *Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı* (Bölüm 11: Performans kavramına dayalı tasarım), Beta Yayıncılık, 2004 İstanbul.
- F. Naeim; *The seismic design handbook*, Kluwer Academic Publishers, Boston 2001.
- ATC-40: *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*, Applied Technology Council, California 1996.
- *Deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara 2007.
- FEMA-273: *NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington 1997.
- FEMA-274: *NEHRP Commentary on the seismic rehabilitation of buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington 1997.
- FEMA-276: *Example applications of NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington 1999.
- FEMA-356: *Prestandard and commentary for seismic rehabilitation of buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington 1997.

Zekai Celep

96