

MEVCUT BETONARME BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

(2007 Deprem Yönetmeliği – Bölüm 7)

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

İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi
Meslekçi Eğitim Kursu
11 Eylül 2008

1. Genel bilgiler
 - 1.1. Deprem yükü azaltma katsayısı
 - 1.2. Plastik mafsal kabulü
 - 1.3. Statik itme analizi
 - 1.4. Kesit atalet momenti hesabında çatlamış kesit
 - 1.5. Eşit yerdeğiştirme kuralı
 - 1.6. Sünek ve gevrek güç tükenmesi
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

06.10.2008

2

1. Genel Bilgiler

Deprem Yönetmeliği (2007)

- Bölüm 1. Genel hükümler
- Bölüm 2. Hesap kuralları (önemli değişiklik yok, basitleştirici değişiklikler var)
- Bölüm 3. Betonarme binalar (önemli değişiklik yok, basitleştirici değişiklikler var)
- Bölüm 4. Çelik binalar (yeniden yazıldı, uygulama açıklamaları getirildi)
- Bölüm 5. Yığma binalar (önemli değişiklik yok, basitleştirici değişiklikler var)
- Bölüm 6. Zemin (değişiklik yok)
- Bölüm 7. Mevcut binaların değerlendirme ve güçlendirilmesi (tamamen yeni)

06.10.2008

3

1.1. Deprem yükü azaltma katsayısı

- Binaların deprem güvenliğinin sağlanmasında tasarım depremi gözönüne alınmakta ve elastik ötesi kapasite de hesaba katılmaktadır.
- Elastik ötesi kapasite kapasitenin artırılması yerine, talebin (deprem yükünün) azaltılması şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Ra Deprem yükü azaltma katsayısı

- Taşıyıcı sistemin hiperstatiklik derecesi ile artar (yerinde dökme betonarme yapıda prefabrik yapıya göre daha büyük),
- Taşıyıcı sistemde kritik kesitin sayısı ile artar (çerçevesel yapıda perdeli yapıya göre daha büyük),
- Taşıyıcı eleman sünekliği ile artar (yüksek süneklikteki yapıda normal süneklikteki yapıya göre daha büyük),
- Kolon ve kiriş uç kesitlerinde özel deprem etriye kullanılması ile artar,

06.10.2008

4

Yeni yapılarda tek bir Ra kullanılır:

- Taşıyıcı sistem ve elemanları yönetmelikte öngörülen kurallara uygun olarak boyutlandırılır ve donatılandırılır,
- Taşıyıcı sistem elemanlarının elastik ötesi davranış ve kapasiteleri birbirine benzer ve yakındır,

Mevcut yapılarda her bir eleman için farklı Ra kullanılır:

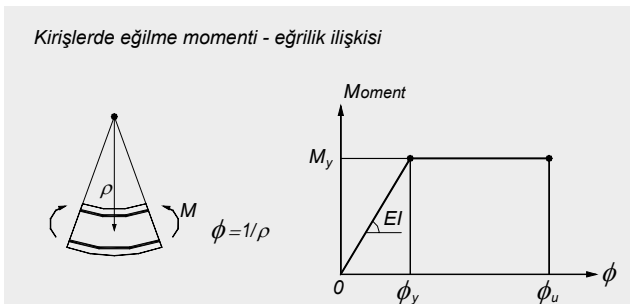
- Taşıyıcı sistem ve elemanları farklı şekilde düzenlenmiştir,
- Taşıyıcı sistem elemanlarının elastik ötesi davranış ve kapasiteleri birbirinden farklı olabilir,
- Kolon ve kiriş uç kesitlerinde özel deprem etriye kullanılması ile artar,

1.2. Plastik mafsallı kabulü:

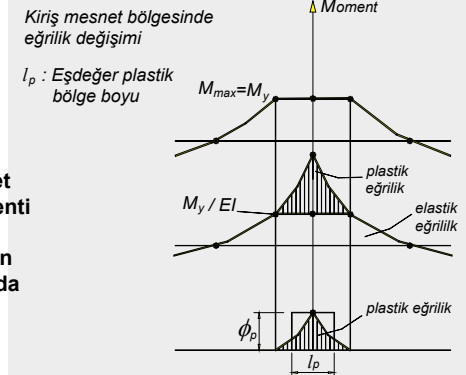
- Kesitte eğilme momentinin küçük değerlerinde elastik ve büyük değerlerinde elastik ve plastik şekil değiştirmeler meydana gelir.
- Kiriş ve kolon eksenli boyunca dağılı olan plastik şekil değiştirmelerin belirli kesitte toplandığının kabul edilmesi *Plastik Mafsallı* kabulünü oluşturur.
- Plastik mafsallı taşıyıcı sistem hesaplarında bir kesitte kabul edilirken, betonarme kesit hesaplarında plastik mafsallı 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

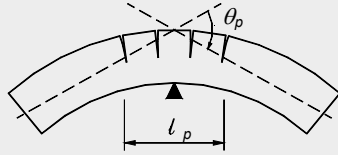


Betonarme kirişin mesnet bölgesinde eğilme momenti ve eğrilik değişimi ve plastik eğriliklerin düzgün yayılı olarak bir l_p boyunda kabul edilmesi



Betonarme kiriş mesnetinde plastik mafsals oluşumu

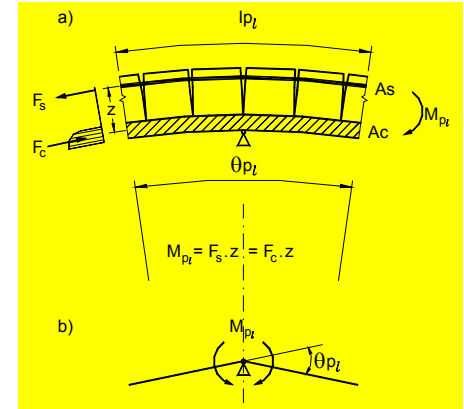
- $\ell_p =$ Plastik mafsals boyu
 $\phi_p =$ Plastik eğriligi
 $\phi_y =$ Akma eğriligi
 $\phi_t =$ Toplam eğrilik
 $\theta_p = \phi_p \ell_p =$ Plastik dönme
 $\theta_p = \phi_y \ell_p =$ Akma dönmesi
 $\theta_t = \phi_t \ell_p =$ Toplam dönmesi



06.10.2008

Betonarme kirişin mesnet kesitinde davranış,

Plastik mafsals kabulü ile plastik dönmelerin bir kesitte yığılı kabul edilmesi

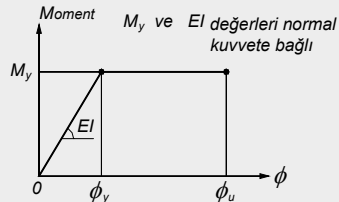
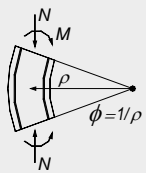


06.10.2008

10

Betonarme kolon kesitinde eğilme momenti etkisi altında moment-eğrilik bağıntısı

Kolonlarda eğilme momenti - eğrilik ilişkisi

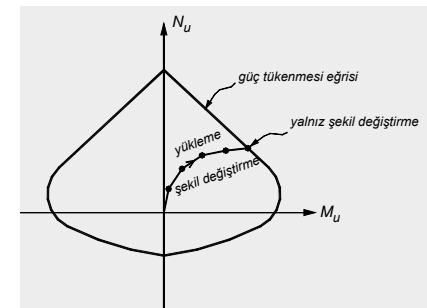


06.10.2008

11

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, yüklemde eğri dışına çıkılmaz,



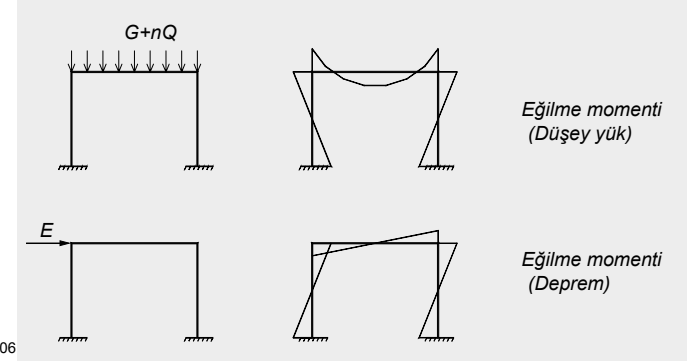
06.10.2008

12

1.3. Statik itme çözümü:

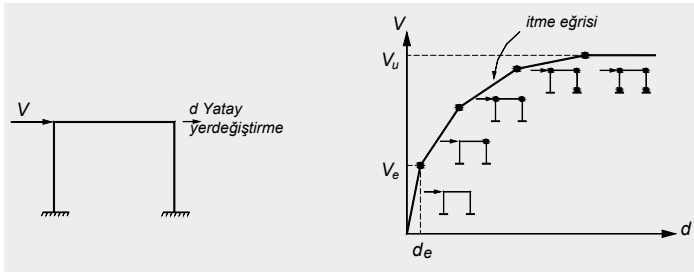
- Taşıyıcı sistemin elastik ötesi yatay yük kapasitesinin belirlenmesi için yapılan çözümdür.
- Taşıyıcı sistemin elastik ötesi kapasitesi hesaba katılır.
- Yatay yük etkisinde kesitlerde oluşan plastik şekil değiştirmeler plastik mafsallık kabulü ile gözönüne alınır.
- Taşıyıcı sistemin hiperstatiklik 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.



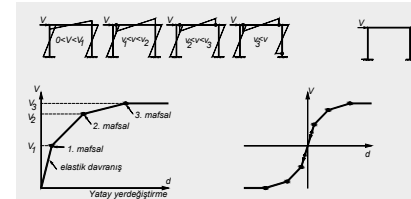
Statik itme yükü arttıkça;

- 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.



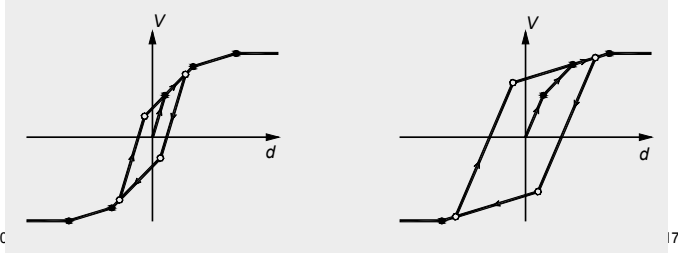
Statik itme yükü arttıkça;

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



Statik itme eğrisinin özellikleri:

- Tekrarlanan deprem yüklemesi altında yerdeğiştirme-kuvvet değişimi, 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 değiştirmeler oluştuğu için artar.



17

1.4. Kesit atalet momenti hesabında çatlama kesit

Dış etkiler altındaki taşıyıcı sistemde, kesit atalet momentinin değeri ve eksen boyunca değişiminde,

- Eğilme momentinin eleman boyunca değişimi,
- Şekil değiştirmelerin, dolayısıyla düşey ve yatay yerdeğiştirmelerin değeri

etkili olur.

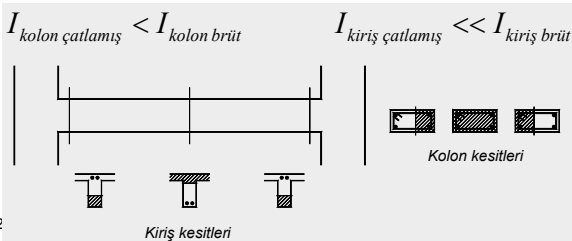
Yükler arttıkça;

- Kesitlerde çatlamlar ilerler,
- Şekil değiştirmeler ve yerdeğiştirmeler artar,
- Atalet momenti azalır ve periyot artar,
- Deprem kuvveti azalır.

06.10.2008

18

- 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.



19

06.10.2

1.5. Eşit yerdeğiştirme kuralı

Elastik olan taşıyıcı sistemde, elastik olmayana göre,

- Rijitlik daha fazla olduğu için, yerdeğiştirme daha küçüktür.
- Çevrimsel sönüm olmadığı için, yerdeğiştirme daha büyüktür.
- Deprem hareketine karşı direnme fazla olduğu için, deprem kuvveti ve dolayısıyla yerdeğiştirme daha büyüktür.

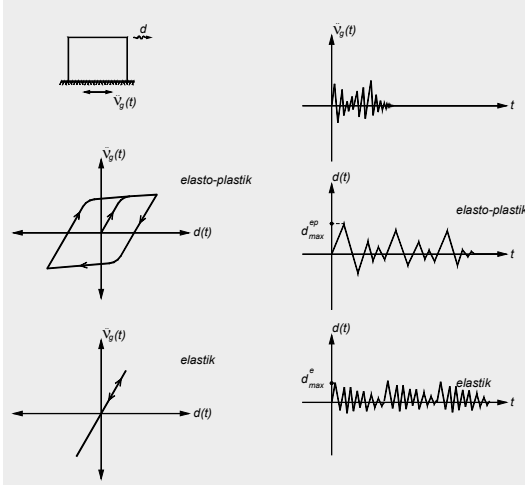
Sonuç

- Yaklaşık olarak her iki sistemde kuvvetler farklı olduğu halde aynı depremde meydana gelen en büyük yerdeğiştirme birbirine yakın (eşit) kabul edilebilir.

06.10.2008

20

Eşit yerdeğiştirme kuralı:
Bina periyodu arttıkça yaklaşım daha iyileşiyor.



Büyük periyotlu binalar

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

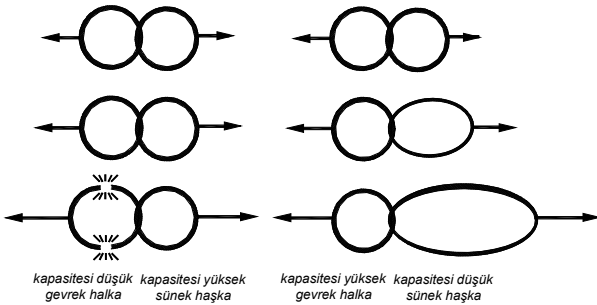
Küçük periyotlu binalar

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

İki halkalı zincirde gevrek ve sünek davranış

Gevrek davranış

Sünek davranış



kapasitesi düşük
gevrek halka

kapasitesi yüksek
sünek halka

kapasitesi yüksek
gevrek halka

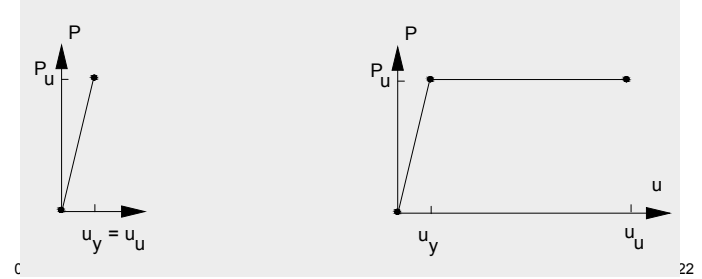
kapasitesi düşük
sünek halka

1.6. Sünek ve gevrek güç tükenmesi

Sünek davranışta, yük kapasitesine erişildiğinde ek olarak önemli bir şekil değiştireme/yerdeğiştirme kapasitesinin ortaya çıkar.

Gevrek davranış

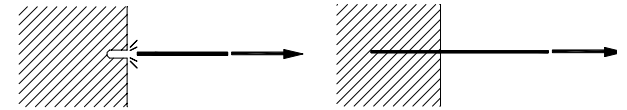
Sünek davranış



Kenetlenmede gevrek ve sünek davranış

Gevrek davranış

Sünek davranış



kenetlenme boyu küçük donatıda
gevrek güç tükenmesi
(donatının sıyrması)

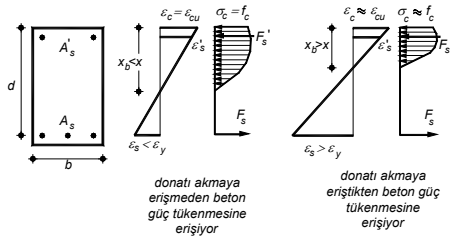
kenetlenme boyu büyük donatıda
sünek güç tükenmesi
(donatının akması)

TS500 de sünek davranışın sağlanması için gerekli kural:

$$\ell_b = \max \left[0.12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi; 20\phi \right]$$

Basit eğilemede gevrek ve sünek davranış

Gevrek davranış **Sünek davranış**

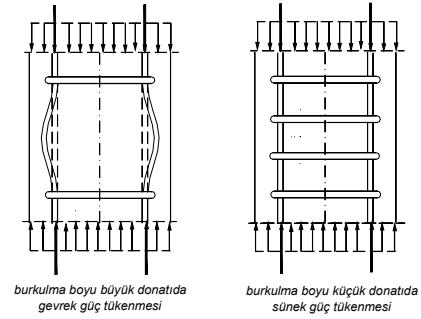


TS500 de sünek davranışın sağlanması için gerekli kural:

$$\rho = A_s / (b d) \leq \rho_{\max} = 0.85 \rho_b$$

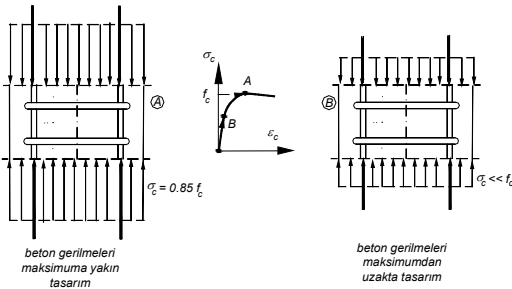
Kolon boyuna donatısında gevrek ve sünek davranış

Gevrek davranış **Sünek davranış**



Kolonda gevrek ve sünek davranış

Gevrek davranış **Sünek davranış**

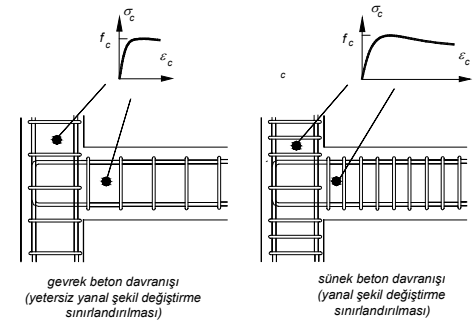


Deprem Yönetmeliği'nde sünek davranışın sağlanması için gerekli kural:

$$A_c \geq N_{G+Q+E} / (0.5 f_{ck})$$

Basit eğilemede gevrek ve sünek davranış

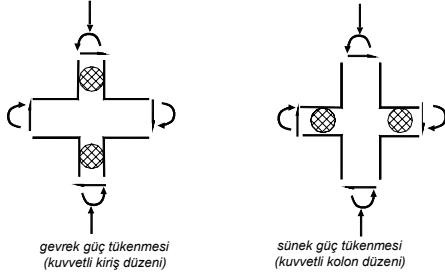
Gevrek davranış **Sünek davranış**



Deprem Yönetmeliği'nde sünek davranışın sağlanması için sargı donatısı öngörülüyor.

Kiriş-kolon birleşim bölgesinde gevrek ve sünek davranış

Gevrek davranış **Sünek davranış**



Deprem Yönetmeliği'nde sünek davranışın sağlanması için gerekli kural:

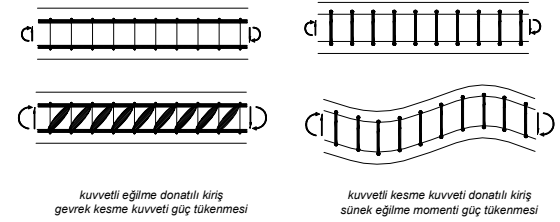
$$(M_{ra} + M_{rü}) \geq 1.2 (M_{ri} + M_{rj})$$

06.10.2008

29

Kirişlerde gevrek ve sünek davranış

Gevrek davranış **Sünek davranış**



Deprem Yönetmeliği'nde sünek davranışın sağlanması için gerekli kural:

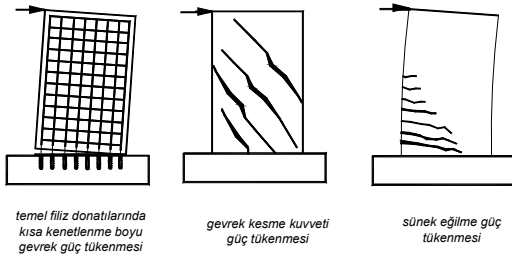
$$V_e = \frac{M_{ü} + M_a}{\ell_n} = 1.4 \frac{M_{rü} + M_{ra}}{\ell_n}$$

06.10.2008

30

Perdede gevrek ve sünek davranış

Gevrek davranış **Sünek davranış**

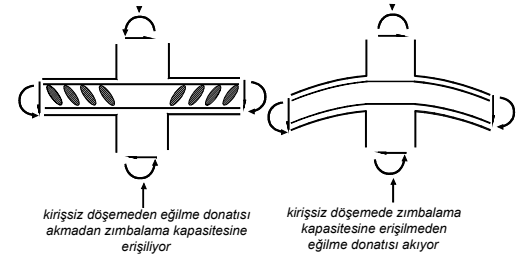


06.10.2008

31

Döşeme-kolon birleşim bölgesinde gevrek ve sünek davranış

Gevrek davranış **Sünek davranış**



TS50 de sünek davranışın sağlanması için gerekli kural:

$$V_{pr} \geq V_{pd}$$

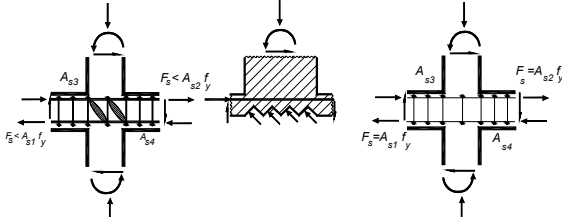
06.10.2008

32

Kiriş-kolon birleşim bölgesinde gevrek ve sünek davranış

Gevrek davranış

Sünek davranış



donatı akmaya erişmeden birleşim bölgesinde beton güç tükenmesine erişiyor

birleşim bölgesinde beton güç tükenmesine erişmeden donatı akmaya erişiyor

Deprem Yönetmeliği'nde sünek davranışın sağlanması için gerekli kural:

$$V_e = 1.25 f_{yk} \max [A_{s1} + A_{s2}; A_{s3} + A_{s4}] - V_{kol} \leq 0.60 f_{cd} b_j h_c$$

06.10.2008

33

1.5. Sünek ve gevrek güç tükenmesi

Deprem Yönetmeliği:

- 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem kuvvetlerinin karşılanması (öngörülen kuvvetlerin karşılanması, kesit boyutları ve gerekli donatının sağlanması),
- Taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın ve ikinci derece etkilerin sınırlandırılması için, yatay yerdeğiştirmeleri sınırlandırılması,
- Öngörülenden daha büyük deprem meydana geldiğinde güç tükenmesi mekanizmasının kontrolü (sünek güç tükenmesinin gevrekten önce ortaya çıkmasının sağlanması),

Neden sünek güç tükenmesi:

- Güç tükenme durumunun büyük yerdeğiştirmelerle meydana gelerek haberli olması,
- Deprem yükünün karşılanmasında elemanlar arası yardımlaşmanın sağlanması,
- Güç tükenmesinin büyük enerji tüketimi ile ortaya çıkması,

06.10.2008

34

Betonarmede sünek güç tükenmesi:

- Eğilme momenti altında güç tükenmesi (donatının öngörülen maksimumunda altında olması durumunda, güç tükenmesi donatının akmaya erişip uzaması ile ortaya çıkacaktır),
- Eğilme momentinin etkili olduğu normal kuvvetli güç tükenmesi,

Betonarmede gevrek güç tükenmesi:

- Kesme kuvveti altında güç tükenmesi (eğik çekme gerilmeleri altında),
- Normal kuvvetin etkili olduğu güç tükenmesi,
- Donatının kenetlenme boyunun kısa olması sebebiyle sınırlanması sonucu güç tükenmesi,
- Zımbalama etkisinde güç tükenmesi (kirişsiz döşemelerde, radye temellerde),

Sünek güç tükenmesinin sağlanması:

- Güç tükenme mekanizmasının sünek ve gevrek ortaya çıkma durumunda gevrek güç tükenme durumunu sünekten daha kuvvetli tutarak, öngürülen yükler üzerinde yüklenme durumunda güç tükenmenin sünek olmasını sağlamak,
- İki halkada gevrek olanın kuvvetli yapılması,
- Düşüklü tencerede emniyet sibobunun bulunması,
- Patlayıcı deposunda çatının zayıf nokta oluşması,

06.10.2008

35

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.

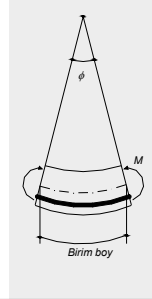
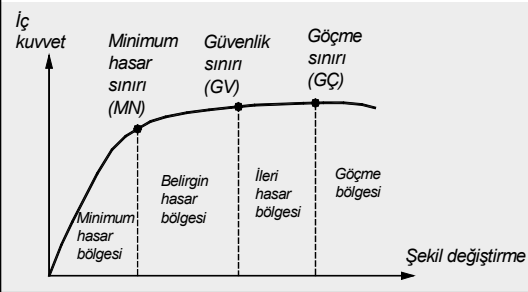
- **Sınırlı bilgi düzeyi**
Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir. (*Bilgi düzeyi katsayısı: 0.75*)
- **Orta bilgi düzeyi**
Eğer binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm 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*)

06.10.2008

36

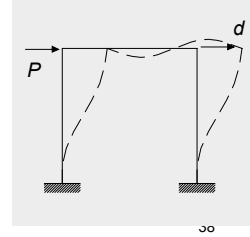
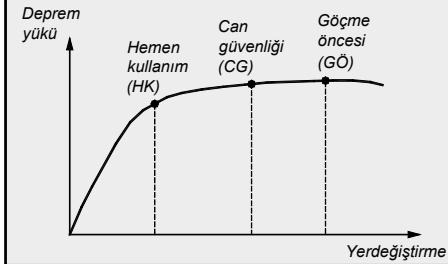
2.2. Kesit hasar sınırları ve bölgeleri

- **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)**



Bina performans düzeyinin oluşması:

- **Kesit performans düzeyi,**
Kolon ve kirişlerin uç kesitlerindeki hasar durumu,
- **Eleman performans düzeyi,**
- **Kat performans düzeyi,**
- **Taşıyıcı sistem performans düzeyi,**

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 düşey 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	-

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

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 toplam kütle için $\lambda = 0,85$ ile azaltılır.**

b. Mod birleştirme yöntemi:

Tüm binalarda uygulanabilir.

Depremde bina performansının doğrusal elastik Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenmesi

- Bu 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)

Kiriş, kolon ve perdelerin kritik kesitlerinde eğilme momenti ile uyumlu hesaplanan kesme kuvvetinin, kesme kuvveti kapasitesini geçmemesi gerekir.

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 değerin 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:

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

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

$M_D = M_{G+Q}$: Düşey yüklerden oluşan eğilme momenti

$M_K = M_r$: Eğilme momenti kapasitesi

$M_K - M_D$: Artık moment kapasitesi

$r = \text{Etki / Kapasite oranı} = \text{Deprem etkisi / Artık kapasite}$

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

Depremde bina performansının doğrusal elastik Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenmesi

- 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.

Görel kat ötelemesi sınırları

Görel 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_{sınır})

Sünek Kirişler			Hasar Sınırı		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V_c}{b_w d f_{cm}}$	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_{sınır})

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N_k}{A_c f_{cm}}$	Sargılama	$\frac{V_c}{b_w d f_{cm}}$	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

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

Sünek perdeler	Hasar sınırı		
Perde uç bölgesinde sargılama	MN	GV	GÇ
Var	3	6	8
Yok	2	4	6

Güçlendirilmiş dolgu duvarları için Etki/Kapasite oranları (r) ve görelî kat öteleme oranları

ℓ_{duvar} / h_{duvar} oran aralığı 0.5-2.0	Hasar sınırı		
	MN	GV	GÇ
Etki /kapasite oranı	1	2	-
Görelî kat öteleme oranı	0.0015	0.0035	-

Depremde bina performansının doğrusal elastik Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile belirlenmesi

1. Mevcut taşıyıcı sistem $G+nQ$ kullanma yükleri altında çözülerek kesit etkileri hesap edilir.
2. Taşıyıcı sistemin kiriş 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 Yükü Yöntemi ile belirlenmesi

5. Sünek elemanlarda $r = Etki/Kapasite$ 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 edilebilirliği kontrol edilir.

2.8. Depremde bina performansının doğrusal elastik olmayan yöntemler ile belirlenmesi

- a. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi:
 - Toplam kat sayısı 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 Yükü Yöntemi

- Bu doğrusal olmayan yöntemde şekil ve yerdeğiştirmeler esas alınır.
- Deprem talebi ettiği yatay yüke kadar taşıyıcı sistem elastik ötesi davranış da gözönüne alınarak kadar adım adım yüklerin (*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/kısılma değerleri ilgili sınır kapasite değeriyile 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.)*

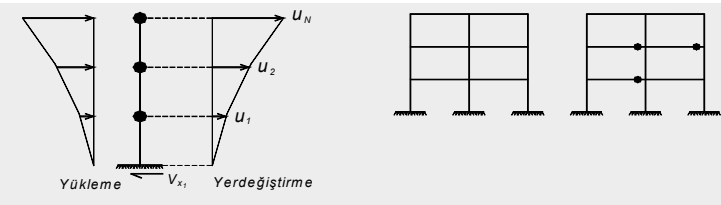
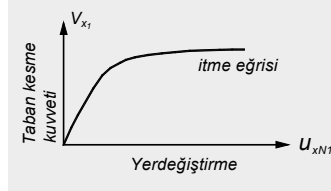
Deprem etkisinin talep ettiği iç kuvvet değerleri ilgili sınır kapasite değeriyle karşılaştırılarak, kesit hasar bölgeleri belirlenir. Bulunan sonuçlardan bina için performans değerlendirilmesi yapılır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde kullanılan kabuller:

- Plastik şekil değiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığının kabul edilmesi ve plastik mafsal kabulünün kullanılması
- Plastik mafsal boyu kabulü: $L_p = 0.5 h$
- Plastik mafsalın, deprem etkisinde en çok zorlanan kolon ve girişlerin uçlarına, perdelerde ise her katta kat seviyesinde yerleştirilmesi
- Plastik mafsal 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

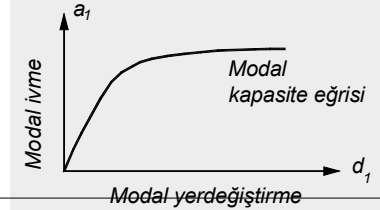
Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

- Birinci modu esas alan statik itme analizinin yapılması



Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

- Statik itme eğrisinin kapasite diyagramına dönüştürülmesi



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

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

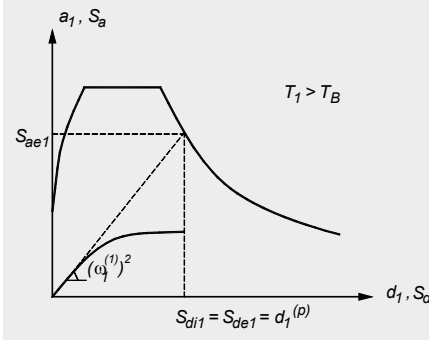
Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

- Modal yerdeğiştirme talebinin belirlenmesi / Eşit yerdeğiştirme kuralının kullanımı:

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

$$C_{R1} = 1$$

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



06.10.2008

65

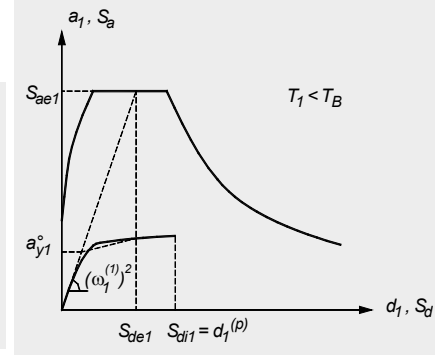
Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

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

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

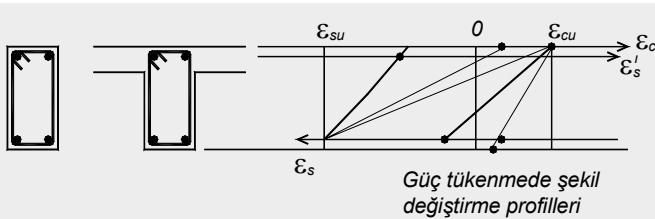
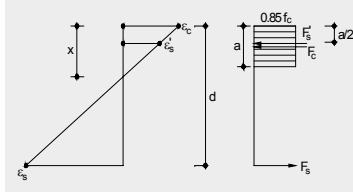
$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) T_B / T_1}{R_{y1}} \geq 1$$

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



Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

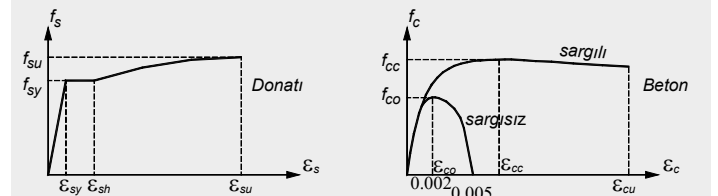
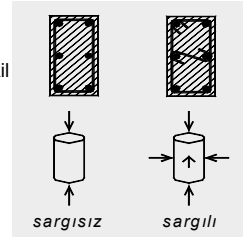
- Bulunan modal yerdeğiştirme talebinden, taşıyıcı sisteme ait iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekil değiştirme talebi belirlenir.



Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü 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



Betonarme kiriş kesitinde eğilme momenti etkisi altında moment-eğrilik bağıntısı

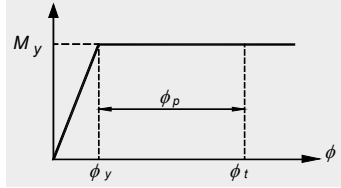
L_p : plastik mafsalsal boyu

ϕ_t : toplam eğrilik

ϕ_p : plastik eğrilik

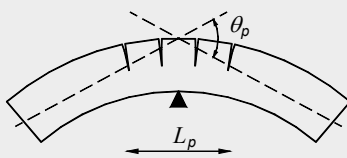
ϕ_y : akma eğriliği

θ_p : plastik dönme



$$\phi_p = \theta_p / L_p$$

$$\phi_t = \phi_p + \phi_y$$



69

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

06.10.2008

70

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

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

06.10.2008

71

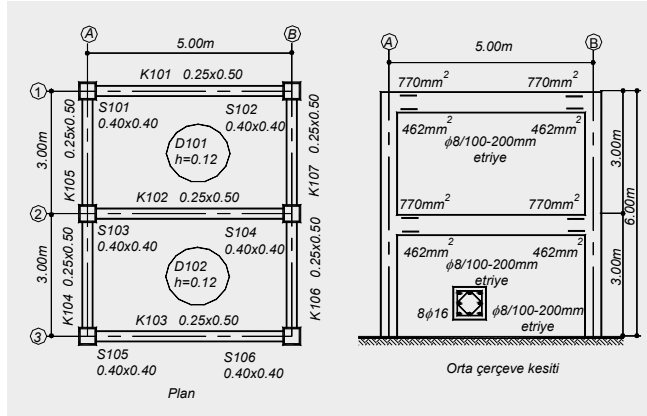
Depremde bina performansının doğrusal elastik olmayan Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenmesi

5. Performans noktasındaki bulunan modal yerdeğiştirme talebinden, taşıyıcı sisteme ait iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekil değiştirme talebi belirlenir.
6. Bulunan şekil değiştirmeler, kesit hasar sınırlarına karşı gelen beton ve donatı şekil değiştirmeleri ile karşılatılarak kesitin bulunduğu hasar bölgesi belirlenir.
7. 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.
8. Belirlenen performans düzeyinin verilen bina için kabul edililmeyeceği kontrol edilir.

06.10.2008

72

Örnek 2:



06.10.2008

77

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:

$g = 4.5kN/m^2 \times 3m = 13.5kN/m$
 $q = 3.5kN/m^2 \times 3m = 10.5kN/m$

$G_1 = G_2 = 13.5kN/m \times 2m + 13.5kN/m \times 1.5m = 47.25kN$
 $Q_1 = Q_2 = 10.5kN/m \times 2m + 10.5kN/m \times 1.5m = 36.75kN$
 $W_1 = W_2 = G_1 + nQ_1 = 47.25 + 0.3 \times 36.75 = 58.28kN$
 $W = W_1 + W_2 = 116.56kN$

06.10.2008

78

Kiriş kesiti kapasitesi:

Kesme kuvveti:

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

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

$V_r = 146.28kN$

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

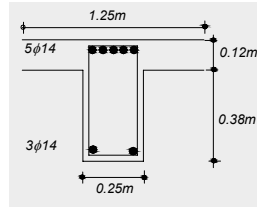
$V_{r \max} = 506.00kN$

Kolonda normal kuvvet etkisi:

$N_D / (A_c f_{cm}) = 420000 / (400 \times 400 \times 20) = 0.013$

$N_D / (A_c f_{cm}) = 840000 / (400 \times 400 \times 20) = 0.026$

Kiriş ve kolonlarda atalet momenti : 0.40 I_{brüt}



06.10.2008

79

Kiriş kesiti kapasitesi:

Negatif moment: $0.85 f_{cm} b_w a = A_s f_{ym}$

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

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

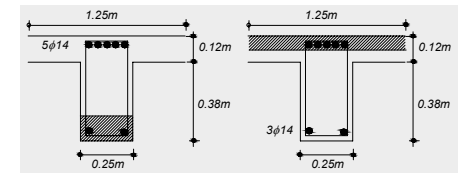
$M_r = 74.54kNm$

Pozitif moment:

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

$M_r = A_s f_{ym} (d - 0.5a_f) = 462 \times 220 (460 - 2.5)$

$M_r = 46.50kNm$



06.10.2008

80

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

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

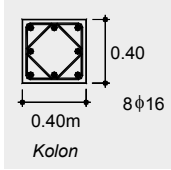
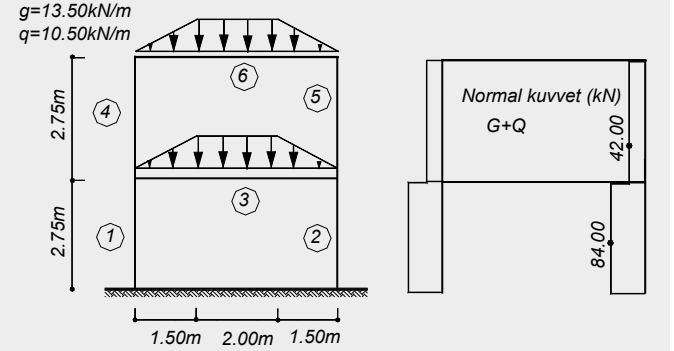
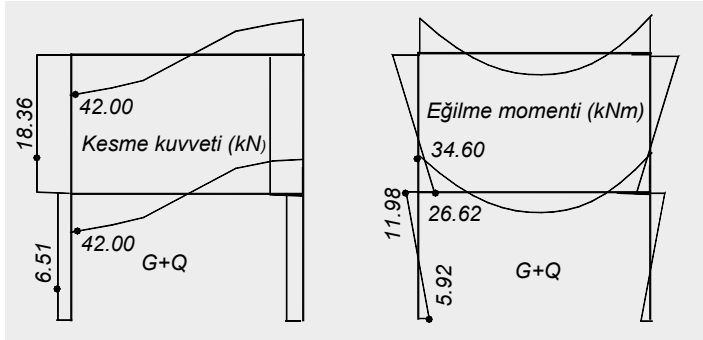
$$V_r = 0.8 \times 0.65 \times 1.6 \times 400 \times 360 + (50 \times 2 + 2 \times 50 / \sqrt{2}) 220 \times 360 / 200$$

$$V_r = 215.41 \text{ kN}$$

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:****Düşey yükler altındaki iç kuvvetler (G + Q)**

Eleman	Normal kuvvet (kN)	Kesme kuvveti (kN)	Eğilme momenti (kNm)
Kiriş 3 (sol/sağ uç)	-	±42.00	-34.60
Kiriş 6 (sol/sağ uç)	-	±42.00	-27.88
Kolon 1 (alt/üst uç)	-84.00	6.51	+5.92 / -11.98
Kolon 2 (alt/üst uç)	-84.00	6.51	+5.92 / -11.98
Kolon 4 (alt/üst uç)	-42.00	18.36	+22.62 / -27.88
Kolon 5 (alt/üst uç)	-42.00	18.36	+22.62 / -27.88

Doğrusal elastik hesap (Eşdeğer deprem yükü):

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

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

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

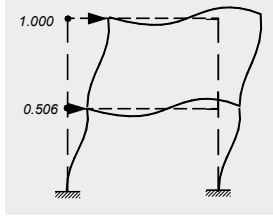
$$V_t = \lambda W A(T_1) / R_a = 1.00 \times 147.86 \times 1.00 / 1.0$$

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

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

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

$$F_1 = (V_t - \Delta F_N) / 3 = 48.56 \text{ kN} \quad F_2 = 2 F_1 + \Delta F_N = 99.30 \text{ kN}$$



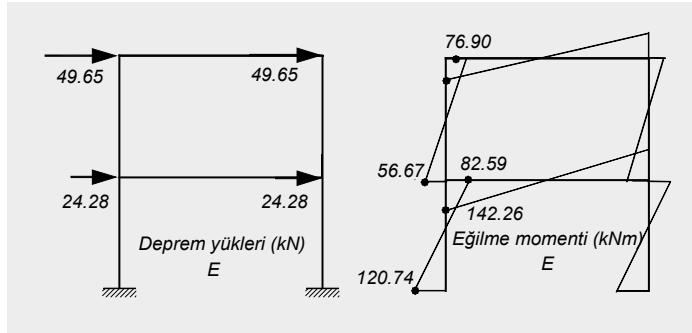
Deprem yükleri altında çözüm:

Deprem yükleri altındaki iç kuvvetler (E)

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

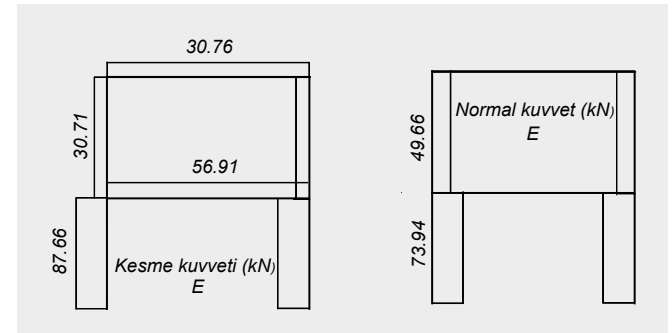
Deprem yükleri altında çözüm:

Yükleme ve eğilme momenti değişimi:



Deprem yükleri altında çözüm:

Kesme kuvveti ve normal kuvvet değişimi:



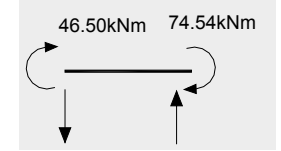
Doğrusal elastik hesap (Eşdeğer deprem yükü):

Kiriş mesnet kesitleri:

Kiriş ve yükleme	Mr (kNm)	Md = Mg+q (kNm)	Me (kNm)	$r = Me/(Mr-Md)$
Kiriş 3 G+Q+E	+46.50	-34.60	+142.26	$142.26/(46.50+34.60)=1.75$
Kiriş 3 G+Q-E	-74.54	-34.60	-142.26	$142.26/(74.54-34.60)=3.56$
Kiriş 6 G+Q+E	+46.50	-27.88	+76.90	$76.90/(46.50+27.88)=1.03$
Kiriş 6 G+Q-E	-74.54	-27.88	+76.90	$76.90/(74.54-27.88)=1.64$

Eğilme momenti kapasitelerine karşı gelen kesme kuvveti:

Kiriş 1 ve 2:



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

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

Dengeli donatı oranı:

$$x/d = \epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} + \epsilon_y) = 3 / (3 + 1.1) = 0.732$$

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

Kirişlerde donatı oranı

Kesit	A_s (mm ²)	A_s' (mm ²)	ρ_b %	$\rho = A_s / (b_w d)$ (%)	$\rho' = A_s' / (b_w d)$ (%)	$(\rho - \rho') / \rho_b$
Negatif	770	462	4.806	0.670	0.402	+0.0558
Pozitif	462	770	4.806	0.402	0.670	-0.0558

Kirişlerde kesme kuvveti etkisi oranı

Kiriş	Vg+q (kN)	Ve (kN)	$(Vg+q+e) / (b_w d f_{ctm})$
1	42.00	56.91	$(42000 + 56910) / (250 \times 460 \times 1.6) = 0.538$
6	42.00	30.76	$(42000 + 30760) / (250 \times 460 \times 1.6) = 0.395$

Kolonda karşılıklı etki diyagramı:

$$\text{No basınç} = 0.85 \times 20 \times 400 \times 400 \times +1608 \times 220 = 3074 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\text{No çekme} = 1608 \times 220 = 354 \times 10^3 \text{ N}$$

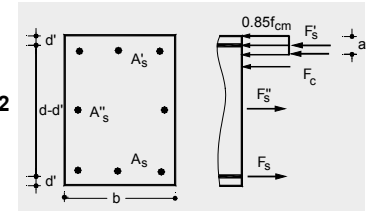
Dengeli durum:

$$x/d = \epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} + \epsilon_y) = 3 / (3 + 1.1) = 0.732$$

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

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

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



$$\epsilon_s' = \epsilon_{cu} \times (264 - 40) / 264 = \epsilon_{cu} \times 2.55$$

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

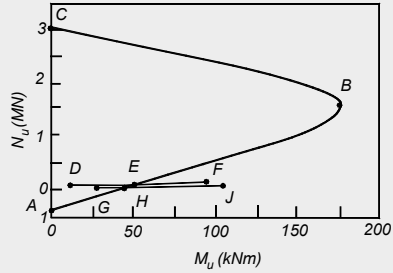
$$\epsilon_s'' = \epsilon_{cu} \times (264 - 200) / 264 = \epsilon_{cu} \times 0.727$$

$$F_s'' = 402 \times 145 = 58 \times 10^3 \text{ N}$$

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

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

Kolon üst ucunda N_{g+q} , M_{g+q} ve N_{g+q+e} , M_{g+q+e}
Noktalarından N_r , M_r kapasite hesabı



A (0; 354kN)	
B (176.00kNm; 1581kN)	
C (0; 3074kN)	
D (11.98kNm; 84.00kN)	Kolon 1, 2
E (44.40kNm; 113.00kN)	Kolon 1, 2
F (94.57kNm; 157.94kN)	Kolon 1, 2
G (27.88kNm; 42.00kN)	Kolon 4, 5
H (37.60kNm; 48.30kN)	Kolon 4, 5
J (104.78kNm; 91.66kN)	Kolon 4, 5

	Kat 1 / Kolon 1 ve 2					Kat 2 / Kolon 4 ve 5				
	g+q	e	g+q+e	Kapasite	r	g+q	e	g+q+e	Kapasite	r
N (kN)	84.00	87.66	171.66	113.00	3.02	42.00	30.71	72.71	48.30	4.88
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 $r = N_e / (N_r - N_{g+q})$ $r = M_e / (M_r - M_{g+q})$

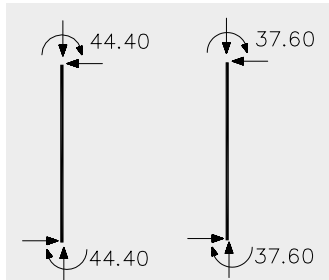
Kolonlarda normal kuvveti etkisi oranı

Kolon	N_{g+q+e} (kN)	$N_{g+q+e} / (A_c f_{cm})$
Kat 1	171.66	$1716600 / (400 \times 400 \times 20) = 0.0536$
Kat 2	72.71	$72710 / (400 \times 400 \times 20) = 0.0227$

Kolonlarda eğilme momenti kapasitelerine karşı gelen kesme kuvveti:

$$\begin{aligned} \text{Kat 1: } (M_r \text{ alt} + M_r \text{ üst}) / \ell_n &= \\ &= 2 \times 44.40 / 2.25 = \\ &= 32.29 \text{ kN} < V_r = 215.41 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kat 2: } (M_r \text{ alt} + M_r \text{ üst}) / \ell_n &= \\ &= 2 \times 37.60 / 2.25 = \\ &= 27.35 \text{ kN} < V_r = 215.41 \text{ kN} \end{aligned}$$



Birleşim bölgesi kontrolü (kuşatılmamış):

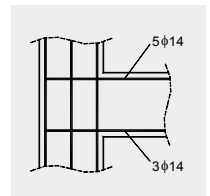
$$V_r = 0.45 b_w h_c f_{cm} = 0.45 \times 250 \times 400 \times 20 = 900 \times 10^3 \text{ N}$$

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

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 çatlama kesit atalet momenti gözönüne alınacaktır:

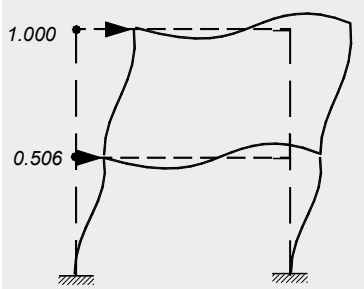
Kiriş : $0.40 I_{brüt}$

Kolon : $0.40 I_{brüt}$

Birinci titreşim mod şekli:

$\phi_1 = [0.506, 1.000]$ $T_1 = 0.226s$

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



06.10.2008

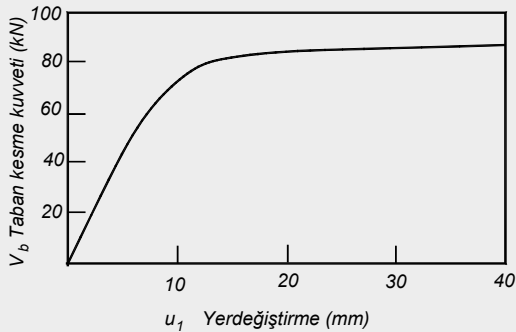
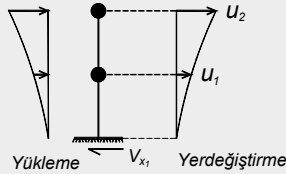
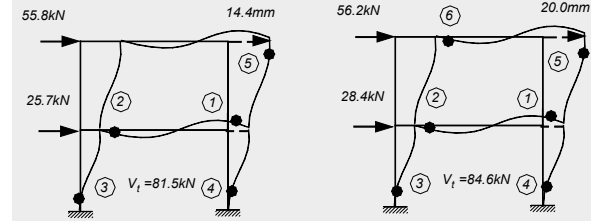
Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban kesme kuvveti (kN)	Plastik mafsals sayısı
1	6.0	52.8	1
2	8.3	68.0	2

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban kesme kuvveti (kN)	Plastik mafsals sayısı
5	14.4	81.5	5
6	20.0	84.6	6

Adım	Yerdeğiştirme (mm)	Taban kesme kuvveti (kN)	Plastik mafsals sayısı
3	10.3	75.2	3
4	12.2	79.6	4

Statik itme çözümü:

06.10.2008



99

a1 : Spektral ivme

Vb'' : Taban kesme kuvveti

u1 : En üst kat yerdeğiştirmesi

d : Spektral yerdeğiştirme

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

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

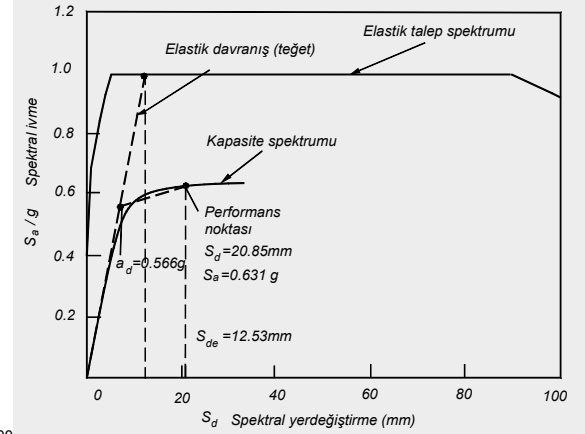
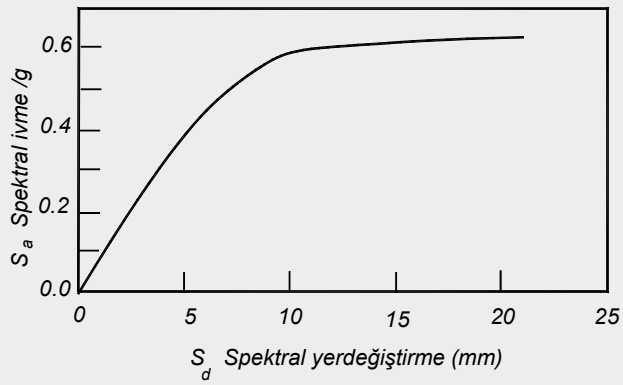
$$\Gamma_1 = L_1 / M_1 = 1.199 \quad M_1^* = \Gamma_1 L_1 = 13.608 kNs^2 / m$$

$$d_1 = \frac{u_1}{\phi_{N1} \Gamma_1}$$

$$a_1 = V_{b1} / M_1^*$$

06.10.2008

100



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

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

$$S_{d1} = 1.664 \times 12.53 = 20.85mm$$

$$u1 = 20.85 \times 1.119 = 25.0mm$$

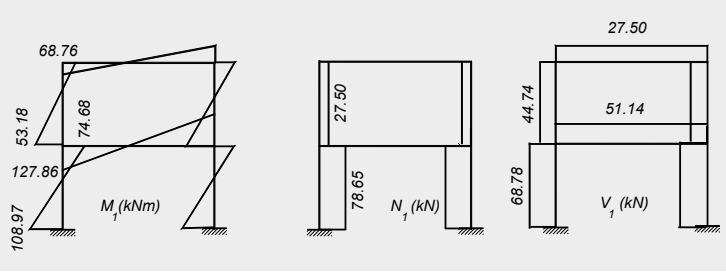
$$S_{dil} = C_{R1} S_{de1}$$

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

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

Plastik mafsal dönmeleri				
Eleman	Uç	Normal kuvvet (kN)	Moment (kNm)	Plastik dönme (radyan)×10 ³
Kiriş 3	Sol	0	+47.23	3.086
Kiriş 3	Sağ	0	-76.13	4.234
Kiriş 6	Sol	0	+47.72	0.903
Kiriş 6	Sağ	0	-71.74	-
Kolon 1	Üst	-9.91	-37.48	-
Kolon 1	Alt	-9.91	+67.05	3.011
Kolon 2	Üst	-106.64	-39.92	-
Kolon 2	Alt	-106.04	+80.22	2.723-
Kolon 4	Üst	-5.45	+46.72	-
Kolon 4	Alt	-5.45	-9.24	-
Kolon 5	Üst	-52.83	-71.74	1.781
Kolon 5	Alt	-52.83	+36.71	-

Performans durumunda eğilme momenti, normal kuvvet ve kesme kuvveti değişimi:



06.10.2008

105

Kiriş kesitlerinin akma eğrilikleri:

Negatif eğilme momenti:

$$A_s = 770\text{mm}^2 \quad \rho = \% 0.670$$

$$A_s' = 462\text{mm}^2 \quad \rho' = \% 0.402$$

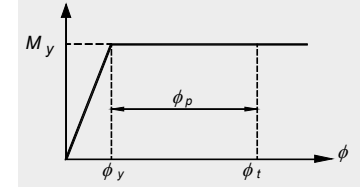
$$n = E_s / E_c = 200/28 = 7.14$$

$$\varepsilon_y = f_{ym} / E_s = 220/200000 = 0.0011$$

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

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

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



Pozitif eğilme momenti:

$$A_s = 462\text{mm}^2 \quad \rho = \% 0.402$$

$$A_s' = 770\text{mm}^2 \quad \rho' = \% 0.670 \quad kx = 0.189 \quad x = 87\text{mm}$$

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

06.10.2008

106

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

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

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

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

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

$$\text{Kolon 1} \quad N_{g+q+e} = -9.91\text{kN}$$

$$x = 84\text{mm} \quad \phi_y = 3.99 \times 10^{-3} \text{radyan/m}$$

$$\text{Kolon 2} \quad N_{g+q+e} = -106.64\text{kN}$$

$$x = 101\text{mm} \quad \phi_y = 4.25 \times 10^{-3} \text{radyan/m}$$

$$\text{Kolon 4} \quad N_{g+q+e} = -5.45\text{kN}$$

$$x = 83\text{mm} \quad \phi_y = 3.97 \times 10^{-3} \text{radyan/m}$$

$$\text{Kolon 5} \quad N_{g+q+e} = -52.83\text{kN}$$

$$x = 92\text{mm} \quad \phi_y = 4.10 \times 10^{-3} \text{radyan/m}$$

06.10.2008

107

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

$$h_{\text{kiriş}} = 0.50\text{m}$$

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

Eleman	Uç	Plastik dönme (radyan)×1000	Plastik eğrilik (1/m)×1000	Akma eğriliği (1/m)×1000	Toplam eğrilik (1/m)×1000
Kiriş 3	Sol	3.086	12.34	2.95	15.29
Kiriş 3	Sağ	4.234	16.94	3.18	20.12
Kiriş 6	Sol	0.903	3.61	2.95	6.56
Kolon 1	Alt	3.011	15.06	3.99	19.05
Kolon 2	Alt	2.723	13.62	4.25	17.87
Kolon 5	Üst	1.781	8.91	4.10	13.01

06.10.2008

108

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

Eleman	Uç	Toplam eğrilik (1/m)×1000	N (kN) *	a (mm)	x (mm)	ε _c ×1000	ε _s ×1000
Kiriş 3	Sol	15.29	-	16	20	0.31	6.73
Kiriş 3	Sağ	20.12	5.45	40	47	0.99	8.31
Kiriş 6	Sol	6.56	-	16	16	0.11	2.89
Kolon 1	Alt	19.05	9.91	23	20	0.52	6.33
Kolon 2	Alt	17.87	106.64	33	39	0.70	5.73
Kolon 5	Üst	13.01	52.83	28	33	0.42	4.26

- 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.

Sonuçlar:

- Betonarme taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan davranışı uzun zamandır yönetmeliklerde değişik seviyelerde bulunmaktadır.
- Doğrusal olmayan davranışın göz önüne alınması daha gerçekçi davranış ve kapasite hesabını mümkün kılar ve taşıyıcı sistemin kuvvetli ve zayıf taraflarını belirlemek mümkün olur.
- Doğrusal davranışın belirlenmesinde malzeme değerlerinin ve davranış eğrilerinin daha gerçekçi belirlenmesi önemlidir.
- Daha ileri hesap için daha gerçekçi kabullerle ihtiyaç vardır. Bu sebepten mevcut yapıların doğrusal davranışı kadar tasarımda doğrusal davranışın kullanılması gerçekçi görülebilir.
- Doğrusal olmayan hesap günümüzde ancak belirli yazılımlarla yapılabilmektedir. Bu sebepten uygulayıcıların bu hesap yöntemlerine ait ayrıntılı kabullerden çok ana kabulleri bilmeleri önemlidir.
- Mevcut kabuller ve yazılımlar günümüzde düzenli yapılar için daha anlamlı sonuçlar vermektedir.

İlgili yayınlar:

- *Deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara 2007.
- N. Aydınoglu, Z. Celep, E. Özer, H. Sucuoğlu; *Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik – Örnekler 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, İstanbul 2004.
- Z. Celep; *Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış ve çözümleme*, (Deprem Yönetmeliği/2007 kavramları), Beta Yayıncılık, İstanbul 2008.
- F. Naeim; *The seismic design handbook*, Kluwer Academic Publishers, Boston 2001.
- *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.
- *ATC-40: Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*, Applied Technology Council, California 1996.