

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

BETONARME II

Deprem Hesabı

Doç. Dr. Kutlu DARILMAZ
İTÜ İnşaat Fakültesi
Yapı Anabilim Dalı
Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

darilmazk@itu.edu.tr
www.ins.itu.edu.tr/kutlu/betonarme2.htm

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Earth's Tectonic Plates

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Deprem ortaya çıkardığı enerji dalga olarak her yönde yayılır. Bu dalgalar yerkabuğuna ulaştığında yapıların altında bulunan zemin tabakalarında hareketler oluşturur. Bu hareketlerde yapılarda atalet kuvvetlerinin oluşmasına neden olur.

Yapıların deprem hesabı bu atalet kuvvetlerine göre hesabı anlamını taşımaktadır. Depremin oluşturabileceği etkilerin ve yapının davranışında birçok belirsizlik bulunduğundan dolayı deprem hesapları sırasında bir çok varsayım altında hesap yapılmaktadır.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Depremin büyüklüğü deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsüdür ve Richter ölçeği olarak sınıflandırma yapılır. Depremin şiddeti ise yeryüzünde hissedildiği yerdeki hasar ve yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin ölçüsüdür. Her depremin bir tane büyüklüğü bulunurken, şiddeti bölgeden bölgeye değişmektedir. Genel olarak merkez üssüne yakın yerlerde şiddeti büyük olurken uzaklaştıkça şiddeti azalmaktadır.

Açığa çıkan enerji E (birimi erg) ile depremin büyüklüğü olarak tanımlanan Richter ölçeği M (Moment büyüklüğü) arasında ilişki logaritmiktir ve

$$\log_{10} E = 11.4 + 1.5M$$

Örneğin Richter ölçeğine göre $M=7.0$ büyüklüğündeki bir deprem ($E=10^{21.9}$ erg), $M=6.0$ büyüklüğündeki bir depremden ($E=10^{20.4}$ erg) 31.6 kat daha fazla enerji açığa çıkarmaktadır. 1999 Kocaeli depreminin büyüklüğü $M=7.4$ olarak ölçülmüştür. Bu depremin ortaya çıkardığı enerjiye eşit bir enerjinin serbest kalabilmesi için yaklaşık 1000 adet $M=5$ büyüklüğünde deprem olmalıdır.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Deprem yapının altındaki zeminde hareket (ivmelenme) oluşturur. Bu da yapıda yatay ve düşey doğrultularda atalet kuvvetlerinin oluşmasına neden olur. Atalet kuvvetleri doğrultusunda yapıda hareket ortaya çıkar.

D'Alembert prensibine göre cisimlerin ivmesi sanki üzerlerinde ivmelerinin tersi yönde ve ivmelerinin ve kütlelerinin çarpımına eşit büyüklükte bir kuvvet yaratır. Bu kuvvet yoktur, hayalidir. Bu kuvvetin varsayılmasıyla dinamik problemler sanki statik problemler gibi, cismin dengede olduğu varsayılarak çözülebilir. Bu yöntemin kullanımı dinamik denge olarak da anılır.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Deprem yapının altındaki zeminde hareket oluşturur. Bu da yapıda yatay ve düşey doğrultularda atalet kuvvetlerinin oluşmasına neden olur. Atalet kuvvetleri doğrultusunda yapıda hareket ortaya çıkar.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Depreme dayanıklı bir yapının tasarımında

- Hafif şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar oluşmaması
- Orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda sınırlı ve onarılabılır hasar oluşması
- Şiddetli depremlerde can güvenliği sağlanmak koşuluyla kalıcı yapısal hasarların oluşması amaçlanır.

Şiddetli deprem → Tasarım depremi

Tasarım depremi: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (dönüş aralığı 475 yıl), bir yıl içerisinde oluşma olasılığı yaklaşık binde 2 olan deprem.

Depreme dayanıklı bir yapının, yeterli dayanım (kapasite), yeterli rijitlik ve yeterli sünekliliğe sahip olması gerekir.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Kullanım Durumu Limit Durum

Şiddetli depremlerde can güvenliği sağlanmak koşuluyla kalıcı yapısal hasarların oluşması amaçlanır.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Büyük depremler seyrek olarak ortaya çıktığından dolayı oluşturacağı büyük etkilerin sistemin doğrusal (lineer) davranışı ile karşılanması ekonomik olmamaktadır.

Depremde ortaya çıkan etkilerin önemli bir bölümünün doğrusal olmayan davranış ile karşılanması amaçlanır. (Depremde yapıda hasar oluşması kabul edilir)

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Süneklilik: Dayanımını kaybetmeden şekildeğiştirme veya yerdeğiştirme yapabilme özelliği. (Enerji yutabilme yeteneğinin bir göstergesi)

Sünekl olmayan davranış gevrek davranış olarak adlandırılır.

Sünekl ↔ Gevrek

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu



Sünek ↔ Gevrek
Esnek (Fleksibil) ↔ Rijit

Rijit yapı: Etkiyen yükler altında az yerdeğiştirme yapan. (Daha çok başlangıçtaki davranışa göre tanımlanır)

Uyarı: Bu kavramlar birbiri ile karıştırılmamalıdır.

Depreme dayanıklı bir yapının, yeterli dayanım (kapasite), yeterli rijitlik ve yeterli sünekliliğe sahip olması gerekir.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

Sünek yapı tasarlandığında F_B yerine F_A yüküne göre tasarım yapabiliriz. ($F_B > F_A$)
Yapının sünek olabilmesi için

- Yapıyı oluşturan elemanlar sünek olarak tasarlanmalıdır
- Elemanların birleştiği noktalar olan birleşim bölgelerinde sünek olarak tasarlanmalıdır
- Yeterli yatay rijitlik sağlanarak ikinci mertebe etkiler sınırlandırılmalıdır
- Taşıyıcı sistem olası ölçüde düzenli sistem olmalıdır

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

Depreme karşı davranışları bakımından binalar düzenli ve düzensiz olarak sınıflandırılmaktadır.
Yapı mühendisi tasarım yaparken düzensizliğe neden olan etkenlerden olası ölçüde kaçınılmalıdır.

Yönetmelikte düzensizlikler planda (A tipi) ve düşeyde (B tipi) olmak üzere iki tür ayrılmıştır.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

A1. Burulma düzensizliği
Bir katta $\pm 5\%$ dışmerkezliği altında öteleme ve burulma sonucu oluşan en büyük görelî yerdeğiştirmenin ortalama görelî yerdeğiştirmeye oranının 1.2'den büyük olması.
A1 türü burulma düzensizliğinin bulunması durumunda:
 $1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$ olmak koşulu ile katta bulunan 5% ek dış merkezlik her iki deprem doğrultusu için D_i katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir.

$$D_i = \left(\frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2$$

$$\Delta_{i,ort} = \frac{\Delta_{i,min} + \Delta_{i,max}}{2}$$

$$\eta_{bi} = \frac{\Delta_{i,max}}{\Delta_{i,ort}} > 1.2$$

deprem yönü

(A1) Düzensizliği

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

A2 – Döşeme Süreksizlikleri
Herhangi bir kattaki döşemede

1. Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,
2. Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,
3. Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu

$$\frac{A_b}{A} = \frac{\text{Boşluk Alanı}}{\text{Toplam Kat Alanı}} > \frac{1}{3}$$

(A2) Düzensizliği

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

A3. Planda çıkıntılarının bulunması
Planda her iki doğrultudaki çıkıntılarının bu doğrultudaki yapı boyutunun %20'sinden fazla olması durumu.

$$a_x / \ell_x > 0.20$$

$$a_y / \ell_y > 0.20$$

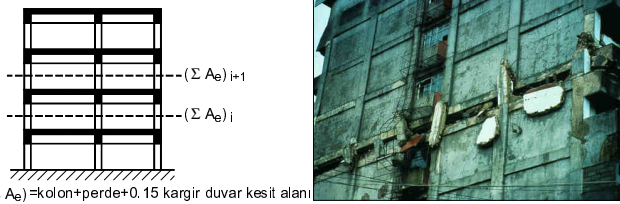
Derz ile ayırmak daha iyi...

(A3) düzensizliği

A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunduğu binalarda, 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiği hesapla doğrulanacaktır.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

B1. Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) : Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı η_{ci} 'nin 0.80'den küçük olması durumu.



$(\Sigma A_e) = \text{kolon} + \text{perde} + 0.15 \text{ kargir duvar kesit alanı}$

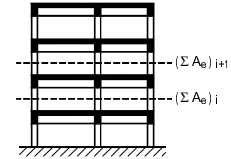
$$\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1} < 0.80$$

(B₁) düzensizliği

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

B1 türü düzensizliğin bulunduğu binalarda, gözönüne alınan i'inci kattaki

- Dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise, η_{ci} 'nin hesabında dolgu duvarları gözönüne alınmayacaktır.
- $0.60 \leq \eta_{ci} < 0.80$ aralığında taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $1.25\eta_{ci}$ değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanacaktır.
- $\eta_{ci} < 0.60$ ise zayıf katın dayanımı ve rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.



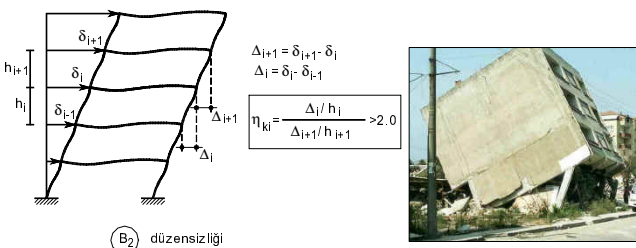
$(\Sigma A_e) = \text{kolon} + \text{perde} + 0.15 \text{ kargir duvar kesit alanı}$

$$\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1} < 0.80$$

(B₁) düzensizliği

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) : Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki %5 ek dışmerkezlilik etkileri de gözönüne alınarak hesaplanan ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması durumu



$\Delta_{i+1} = \delta_{i+1} - \delta_i$
 $\Delta_i = \delta_i - \delta_{i-1}$

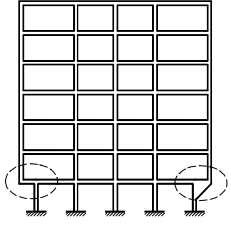
$$\eta_{ki} = \frac{\Delta_i / h_i}{\Delta_{i+1} / h_{i+1}} > 2.0$$

(B₂) düzensizliği

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

B3. Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği: Yatay yük taşıyan kolon, perde gibi elemanların alt katlarda devam etmemesi durumu.

a) Kolonların binanın herhangi bir katında konsol girişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturulmasına hiçbir zaman izin verilmez.



a) YASAK

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

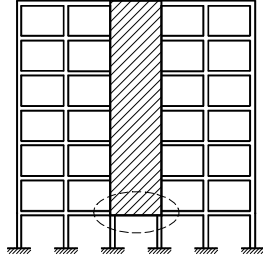
b) Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır.



b) CEZALI

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

c) Üst katlardaki perdenin altta kolonlara oturulmasına hiçbir zaman izin verilmez.



c) YASAK

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

d) Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

d) YASAK

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

A1 (Burulma düzensizliği) ve B2 (Yumuşak kat) türü düzensizlikler; deprem hesap yönteminin seçiminde etkilidirler.

Yapıların deprem hesabı için kullanılan çözüm yöntemleri

1. Eşdeğer deprem yükü yöntemi
2. Mod birleştirme yöntemi
3. Zaman tanım alanında hesap yöntemi

olarak sınıflandırılabilir.

Ders kapsamında yalnızca eşdeğer deprem yükü yöntemi anlatılacaktır. Eşdeğer deprem yükü yöntemi en yaygın olarak kullanılan hesap yöntemidir.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Eşdeğer Statik Deprem Yükü Yöntemi:

Bu yöntemde, gerçekte dinamik olan deprem etkileri belirli koşullar altında statik yüklere dönüştürülerek yapı sistemine etkilimektedir.

İlk olarak ilgili doğrultuda yapıya etkiyen toplam deprem kuvvetleri hesaplanır. (Toplam Eşdeğer Deprem Yükü V_t)

$$V_t = W \frac{A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 I W$$

Yapıya etkiyen deprem kuvveti V_t

Taban kesme kuvveti V_t

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

$$V_t = W \frac{A(T_1)}{R_a(T_1)} = W \frac{A_0 I S(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 I W$$

$A(T_1)$: Birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen spektral ivme katsayısıdır.

İlgili doğrultuda yapıya etkiyen deprem kuvvetini belirleyebilmek için

T_1 : Yapının ilgili doğrultudaki doğal titreşim periyodu

W : yapı ağırlığı (G+nQ)

A_0 : etkin yer ivme katsayısı

I : Yapı önem katsayısı

$S(T_1)$: Spektrum Katsayısı

$R_a(T_1)$: Deprem yükü azaltma katsayısı

büyükükleri bilinmelidir.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yapı ağırlığı (W): W_i kat ağırlıklarının toplamı ile elde edilir.

$$W_i = G_i + nQ_i$$

$$W = \sum_{i=1}^N W_i$$

Kat ağırlıkları her kattaki sabit yüklere, hareketli yüklerin yapı tipine göre değişen hareketli yük azaltma katsayısı (n) ile çarpılarak eklenmesi ile elde edilir.

Konut $\rightarrow n=0.30$

Hareketli yükün azaltılma nedeni deprem sırasında bütün katlarda hareketli yüklerin tamamının bulunması olasılığının düşük olmasıdır.

Proje kat ağırlıklarını (W_i) kolon boyutlarını belirlemek için hazırladığınız tablodaki değerleri kullanarak belirleyebilirsiniz.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Kat ağırlıkları hesaplanırken ilgili katın altındaki ve üstündeki katların yarı yüksekliklerinden kesilen bölgedeki yükler gözönüne alınır. Bu yüklerden oluşan ağırlıkların döşeme (kat) hizalarında toplandıysa varsayılır. En alt katın alt yarısındaki ağırlıklar gözönüne alınmaz.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

TABLO 2.5 – TAŞIYICI SİSTEM DAVRANIŞ KATSAYISI (R)		
BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar..	4	7
(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar	3	7
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	??	3
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrikte veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrikte binalar..	??	5
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrikte çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	3	6

Dr. Kutlu DARILMAZ

Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

Yapı periyodunun belirlenmesi: (Rayleigh yöntemi ile periyot belirlenmesi)

Periyot titreşim hareketinde bir hareketin kendini tekrarlaması için geçen süredir.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g} \left[\frac{W_4 \delta_4^2 + W_3 \delta_3^2 + W_2 \delta_2^2 + W_1 \delta_1^2}{F_4 \delta_4 + F_3 \delta_3 + F_2 \delta_2 + F_1 \delta_1} \right]}$$

Rijitlik arttıkça periyot küçülür.

Rijit yapıların periyodu esnek yapılara göre daha küçüktür.

Dr. Kutlu DARILMAZ

Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

Deprem kuvvetinin katlara dağıtılması: ★

$$V_i = \Delta F_N + \sum_{j=1}^n F_j$$

Binanın N. katına (tepesine) etkiyen ve yaklaşık olarak 1. titreşim modu dışındaki titreşim modlarının etkisini hesaplamada gözönüne almayı sağlayan ek tasarım deprem yükü ΔF_N

$$\Delta F_N = 0.0075 \cdot N \cdot V_t$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında kalan kısmı N. kat dahil olmak üzere bina katlarına şu şekilde dağıtılır:

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{W_i \cdot H_i}{\sum_{j=1}^n W_j \cdot H_j}$$

Dr. Kutlu DARILMAZ

Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

★

$$V_i = \Delta F_N + \sum_{j=1}^n F_j$$

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^n F_i$$

Kat kesme kuvvetleri

Dr. Kutlu DARILMAZ

Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

Projede Deprem Hesabında İzlenebilecek Adımlar:

- Kat ağırlıklarını belirleyin ($W = G_i + nQ_i$). İlgili katın G_i ve Q_i değerleri kolon boyutları için oluşturulan tablodaki değerlerden belirlenebilir.
- Periyot başta bilinmediği için $S(T_1) = 2.5$ olarak seçin. (Olabilecek en büyük değer olan) ($T_A < T < T_B$) varsayılmış oldu
- Periyot başta bilinmediği için $R_d(T_1) = R$ olarak seçin. (projeniz için $R = 8$)
- A_g , I biliniyor
- V_t hesaplanır (Binaya etkiyen deprem kuvveti)
- ΔF_N hesaplanır
- $(V_t - \Delta F_N)$ kuvveti katlara ilgili formül ile dağıtılır
- En üst katta bulunan değere ΔF_N eklenir
- Bu yükler altında Muto yöntemi ile sistem çözülür. Yerdeğiştirmeler hesaplanır.
- Etkiyen kuvvetler ve hesaplanan yerdeğiştirmeler ile Rayleigh formülü ile Periyot belirlenir.
- Hesaplanan T_1 , $T_A < T < T_B$ aralığında ise hiçbirşey değiştirilmez.

Projede Deprem Hesabında İzlenebilecek Adımlar: (Devam)

- T_1 , $T_A < T < T_B$ aralığında değil ise $S(T_1)$ yeniden hesaplanır (2.5'den daha küçük bir değer hesaplanır)
- $S(T) = 2.5$ alınarak hesaplanan bütün değerler (iç kuvvetler, yerdeğiştirmeler) $S(T_1) / 2.5$ değeri ile çarpılarak düzenlenir. (Yeniden Muto hesabı yapmaya gerek yoktur)
- Bu işlemler hem X doğrultusunda (V_x) hem de Y doğrultusunda (V_y) yapılır. (Projede çözeceğiniz aks hangi doğrultudaysa o yönde yapılacaktır)
- Yerdeğiştirmeler sınır değerler ile kontrol edilir.

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

- Yapıya etkiyen yükler belirlendi V_i
- Katlara etkiyen kuvvetler belirlendikten sonra kat kesme kuvvetleri belirlendi. (V_i)
- Herhangi bir kattaki kolon o kata etkiyen kesme kuvvetinin ne kadarlık bir kısmını taşıyor? ($V_{ij}=?$)

↓

Muto Yöntemi ile belirleyeceğiz

Muto Yöntemi çerçeve sistemlerin yatay yükler altında hesabı için geliştirilmiş yaklaşık bir hesap yöntemidir.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

i. kattaki j nolu kolonun kesme kuvveti

i. kattaki j nolu kolonun yatay öteleme rijitliği

i. kattaki tüm kolonların yatay öteleme rijitlikleri toplamı

$$V_{ij} = V_i \frac{D_{ij}}{\sum_{k=1}^m D_{ik}}$$

Kat kesme kuvvetleri

$$V_i = \sum_{j=1}^{n_{kolon}} V_{ij} \quad V_i = \sum_{j=1}^n F_j$$

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

$k_1 = \frac{I_1 k_{i1}}{L_1}$, $k_2 = \frac{I_2 k_{i2}}{L_2}$, $k_c = \frac{I_{kolon}}{h}$, $D = ak_c$

k_{kolon} :Yüklemeye doğrultusundaki atalet momenti

$\bar{k} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2k_c}$	$\bar{k} = \frac{k_1 + k_2}{k_c}$	$\bar{k} = \frac{k_1 + k_2}{k_c}$
$a = \frac{\bar{k}}{2 + \bar{k}}$	$a = \frac{0.5 + \bar{k}}{2 + \bar{k}}$	$a = \frac{0.5 + \bar{k}}{1 + 2\bar{k}}$

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

y : Moment sıfır noktasının kolonun alt ucuna olan uzaklığının kat yüksekliğine oranı

$$y = y_0 + y_1 + y_2 + y_3$$

y_0 : Yatay yükün şekline (üçgen veya düzgün yayılı) bağlı katsayı

y_1 : Üstten ve alttan kolona bağlanan kirişlerin rijitliklerinin farklı olmasını içeren düzeltme terimi

y_2, y_3 : Üst ve alt katların yüksekliklerinin farklı olmasını içeren düzeltme terimi

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Herhangi bir A düğüm noktasında bulunan M_{c1} ve M_{c2} kolon momentleri, birleşen kirişlere rijitlikleri (k) oranında dağıtılır.

$$M_{b1} = (M_{c1} + M_{c2}) \frac{k_1}{k_1 + k_2}$$

$$M_{b2} = (M_{c1} + M_{c2}) \frac{k_2}{k_1 + k_2}$$

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Muto hesabı sonucu kolon kesme kuvvetleri ve kolon moment değerleri elde edilmiş olur. Bu herhangi bir düğüm noktasına birleşen kolonların moment değerleri biliniyor demektir.

Düğüm noktasına birleşen kolonların momentleri toplamı kirişlere rijitlikleri (k değerleri) oranında paylaşılır. Böylece kirişlerde deprem etkilerinden dolayı oluşan moment değerleri elde edilmiş olur.

Deprem etkilerinden dolayı kirişlerde oluşan kesme kuvvetleri, uç momentleri toplamının kiriş uzunluğuna bölünmesi ile elde edilir.

Kiriş kesme kuvvetleri kullanılarak kolon normal kuvvetleri elde edilir.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Kat yerdeğiştirmelerinin sınırlandırılması: ★

İkinci mertebe etkileri sınırlandırmak ve taşıyıcı olmayan elemanlarda deprem hasarının önlenmesi amaçlanmaktadır.

Azaltılmış görelî kat ötelemesi
 $\Delta_i = d_i - d_{i-1}$

Etkin görelî kat ötelemesi
 $\delta_i = R \Delta_i$

$\frac{(\delta_i)_{max}}{h_i} \leq 0.02$

$\Delta d_i = V_i h_i / 12 E_c \Sigma D_i$

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, İkinci Mertebe Gösterge Değeri, θ_i 'nin verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkileri yürürlükteki betonarme ve çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilecektir.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12$$

Burada $(\Delta_i)_{ort}$, i'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değeridir.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Deprem yönetmeliğinde yapıların taşıyıcı sistemi ★

- Süneklik düzeyi normal
- Süneklik düzeyi yüksek

olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır.

Süneklik düzeyi yüksek olan taşıyıcı sistemlerde oluşturulan yüksek süneklik büyük şekildeğiştirme yeteneği ve enerji yutma kapasitesi oluşturacağından elastik deprem yükleri daha büyük bir katsayıya bölünerek azaltılabilmektedir.

$R_{a,yüksek\ sünek} > R_{a,normal\ sünek}$

$$V_t = W \frac{A(T_1)}{R_a(T_1)}$$

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Bir sistemin süneklik düzeyinin yüksek olabilmesi için

- Kiriş ve kolonlarda depremde en çok zorlanacak olan kolon-kiriş birleşim bölgelerine yakın kesitlerde sık etriye düzeni kullanılarak betonun hem dayanımı hem de sünekliği artırılmalıdır.
- Sünek güç tükenmesinin gevrek olan güç tükenmelerinden daha önce ortaya çıkması sağlanmalıdır. Örneğin elemanlarda ve birleşim bölgelerinde gevrek güç tükenmesine neden olan kesme kuvveti kapasitesinin sümek güç tükenmesi oluşturan eğilme momenti kapasitesinden daha yüksek tutulması sağlanmalıdır.
- Enerji yutmanın sistemde daha sünek elemanlarda sağlanmasına çalışılmalıdır. Örneğin hasarın önce kirişlerde oluşması sağlanmalıdır. (Kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu). Genel olarak kirişler kolonlara göre daha sünek davranış gösterir.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Süneklik düzeyi yüksek kirişlerde tasarıma esas kesme kuvvetinin belirlenmesi:

$V_{dy} = G+Q$ yüklemesindeki düşey yük basit kiriş kesme kuvveti

Kirişler:
 $V_e = V_{dy} + \frac{1.4(M_{ri} + M_{rj})}{L_n}$

$M_p = 1.4M_r$ f_{cd} ve f_{yd} 'ye göre hesaplanan taşıma gücü momenti

f_{ck} ve f_{yk} ve çeliğin pekleşmesine göre hesaplanan taşıma gücü momenti

Böylece kirişte güç tükenmesinin, gevrek kesme kuvveti geçmesi yerine sünek eğilme momenti geçmesi ile oluşması sağlanır.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Kolonlarda tasarım kesme kuvvetinin hesabı için gözönüne alınacak durumlar.

$M_{ri} = 1.4(M_{ri} + M_{rj}) \frac{M_{h(i)}(0)}{M_{h(i)}(0) + M_{h(i+1)}}$

$M_{ra} = 1.4(M_{ri} + M_{rj}) \frac{M_{h(i)}(0)}{M_{h(i)}(0) + M_{h(i+1)}}$

$V_e = (M_{ra} + M_{ri}) / L_n$

Kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunun sağlanıp sağlanmasına göre hesapta kullanılacak momentin hesaplanması değişiyor.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

Kolonların kirişlerden güçlü olması:

Sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerindeki taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olacaktır.

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

Kolonların kirişlerden güçlü olması Kirişlerin kolonlardan güçlü olması

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

Kolonların kirişlerden güçlü olması:

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

kuvvetli kolon
plastik mafsallık bölgesi
kuvvetli kiriş

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

Birleşim bölgeleri:

$$V_e = 1.25 f_{yk} \max(A_{s1} + A_{s2}; A_{s3} + A_{s4}) - V_{kol}$$

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

Birleşim bölgeleri: (Kuşatılmış birleşim koşulları)

- Kuşatılmış birleşimlerde
 $V_e \leq 0.60 f_{cd} b_j h_c$
- Kuşatılmamış birleşimlerde
 $V_e \leq 0.45 f_{cd} b_j h_c$

min $(b_{w1}, b_{w2}) / b_c \geq 0.75$
min $(b_{w3}, b_{w4}) / h_c \geq 0.75$
 $b_{w1} \leq b_{w2}$ için $b_j = 2 \min(b_1, b_2)$

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

Malzeme ile ilgili sınırlamalar:

- Deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda **C20**'den daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz.
- Tüm deprem bölgelerinde, TS-500'deki tanıma göre kalite denetimli, bakımı yapılmış ve vibratörle yerleştirilmiş beton kullanılması zorunludur. Ancak, kendinden yerleşen beton kullanıldığı durumlarda, vibratörle beton yerleştirilmesine gerek yoktur.
- Etriye ve çiroz donatısı ile döşeme donatısı dışında, nervürlü donatı çeliği kullanılamaz.

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

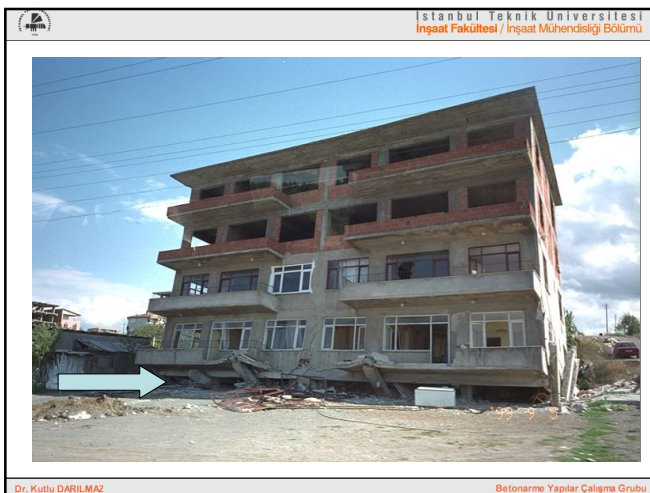
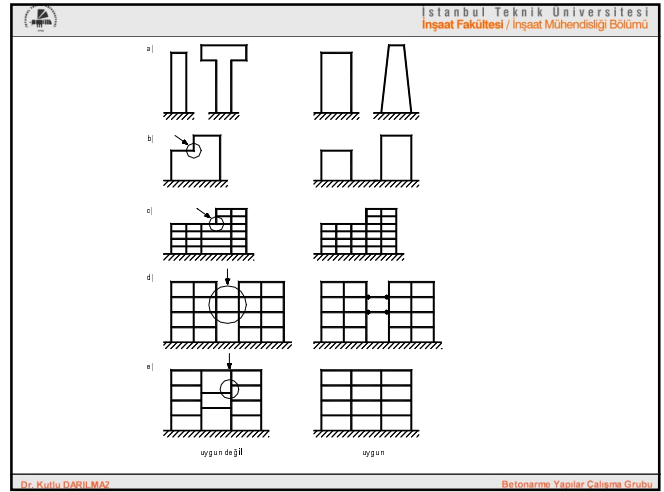
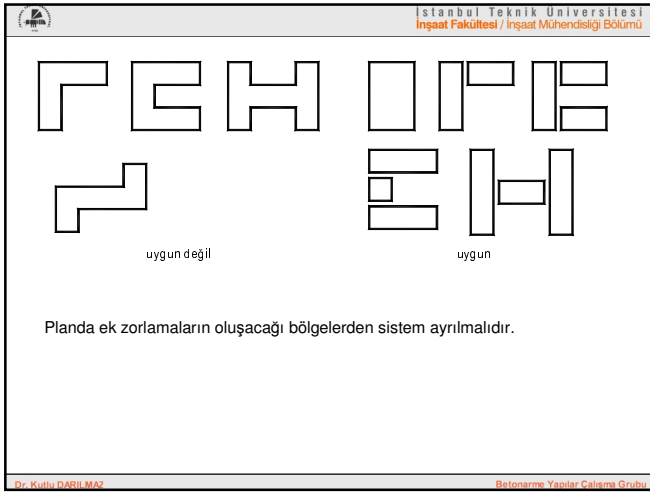
Rijitlik merkezi ile kütle merkezi ilişkisi:

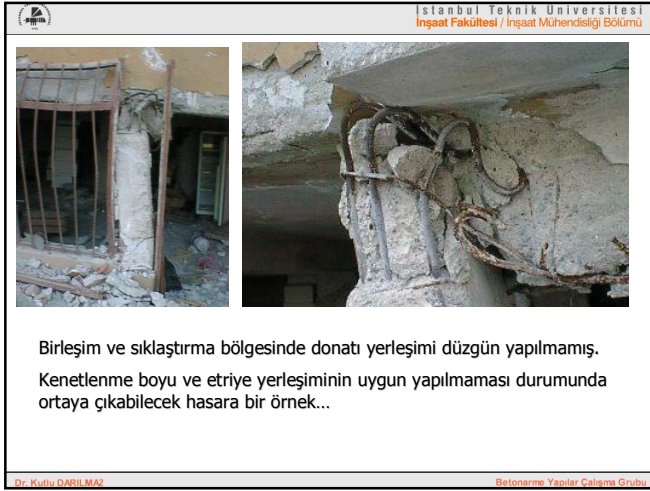
Rijitlik merkezi ile kütle merkezi olası ölçüde çakışmalıdır.

Rijitlik merkezi ile kütle merkezinin çakışmadığı durumda sistemde ötelenmelere ek olarak burulma oluşur.

uygun değil uygun

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu





İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Hatalar bir araya geldiğinde...



2011

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Hatalar bir araya geldiğinde...



Konsol sistemlerde daha dikkatli olunmalı.
Hiperstatiklik derecesi düşük ↓

Van-2011

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Hatalar bir araya geldiğinde...



Betonarme Yapı değil...

Van-2011

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Hatalar bir araya geldiğinde...




Dinar- 1995

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu

İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Aynı yer-aynı deprem iki farklı deprem davranışı



Sakarya 1999

Dr. Kutlu DARILMAZ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu