

COMPUTERS &
ENGINEERING
SOFTWARE &
CONSULTING



YAPI
YAZILIMI
YAYINLARI

© www.comp-engineering.com

Depreme Dayanıklı Betonarme Binaların Tasarımına Giriş



Deprem Yönetmeliği 2007
Yapı Dinamiği Bilgileri
SAP2000 Uygulamaları
ETABS 2015 Uygulamaları

Kutlu Darılmaz

Depreme Dayanıklı Betonarme Binaların Tasarımına Giriş

Deprem Yönetmeliği 2007
Yapı Dinamiği Temel Konuları
SAP2000 Çözümlü Örnekleri
ETABS 2015 Çözümlü Örnekleri

Kutlu Darılmaz
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

COMPUTERS &
ENGINEERING
SOFTWARE &
CONSULTING



YAPI
YAZILIMI
YAYINLARI

© www.comp-engineering.com

İÇİNDEKİLER:

1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL KAVRAMLAR VE DEPREM DEĞİŞKENLERİ.....	2
2.1. Depremlerin Oluşumu.....	2
2.2. Depremin Büyüklüğü ve şiddeti.....	2
2.3. Deprem olma olasılığı ve dönüş periyodu.....	3
2.4. Yapıya Etkiyen Deprem Kuvvetleri.....	3
2.5. Deprem ve Rüzgar Yüklerinin Karşılaştırılması.....	4
2.6. Deprem Kayıtları.....	5
2.7. En Büyük Yer İvmesi ve Düşey İvme.....	6
2.8. Depremden dolayı oluşan hasarların nedenleri.....	6
3. DEPREM HESABINDA KULLANILAN YAPI DİNAMİĞİ TEMEL İLKELERİ.....	7
3.1. Dinamik ve Statik Etkiler Altında Çözüm.....	7
3.2. Serbestlik derecesi.....	7
3.3. Periyot, Frekans ve Açısal Frekans.....	8
3.4. Kütle, Rijitlik.....	9
3.5. Hareket Denklemi, Newton'un Hareket Yasası, D'Alembert Prensibi.....	9
3.6. Periyot, kütle ve rijitlik ilişkisi.....	12
3.7. Tek Serbestlik Dereceli Sönümsüz Sistemin Serbest Titreşimi.....	16
3.8. Sönüm.....	17
3.9. Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistemin Serbest Titreşimi.....	18
3.10. Tek Serbestlik Dereceli Sönümsüz Sistemin Harmonik Yük Etkisinde Zorlanmış Titreşimi... ..	19
3.11. Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistemin Harmonik Yük Etkisinde Zorlanmış Titreşimi.....	21
3.12. Yer Hareketi Etkisindeki Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistemin Titreşimi.....	31
3.13. Newmark Sayısal İntegrasyonYöntemi ile Çözüm.....	34
3.14. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler.....	48
3.14.1. Mod Şekilleri ve Açısal Frekanslar.....	49
3.14.2. Mod Birleştirme Yöntemi.....	51
3.15. Tepki Spektrumları.....	64
4. TASARIM İLKELERİ VE DEPREM ETKİLERİ.....	70
4.1. Giriş.....	70
4.2. Modern Deprem Yönetmeliklerinde Kullanılan İlkeler ve Gereklilikler.....	70
4.2.1. Dayanım.....	70
4.2.2. Süneklik.....	70

4.2.3.	Rijitlik.....	70
4.3.	İç Kuvvetlerin Hesabında Yapılan Kabuller	71
4.3.1.	Eşit yerdeğiştirme ve eşit enerji kavramları	71
4.4.	Deprem Bölgeleri ve Etkin Yer İvme Katsayısı	72
4.5.	Deprem Düşey Bileşeni	72
4.6.	Deprem Tepki Spektrumları	72
4.6.1.	Azaltılmış Deprem Spektrumları	73
4.6.2.	Elastik Tepki Spektrumu ve Tasarım Spektrumu.....	76
4.6.3.	DBYBHY 2007 Tasarım İvme Spektrumu.....	78
4.7.	Elastik Ötesi Doğrusal Olmayan Davranış.....	79
4.8.	Doğrusal Olmayan Davranış ve Hesaplarda Kullanım Amacıyla İdealleştirme	80
4.9.	Deprem Dayanım İstemi ve Sunulan Dayanım.....	81
4.10.	Süneklik Türleri	82
4.10.1.	Süneklik Düzeyi ve Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı İlişkisi	100
4.10.2.	Betonarme Sistemlerin süneklik düzeyine bağlı olarak sınıflandırılması	100
4.11.	Kapasite Tasarımı İlkesi	102
4.12.	Taşıyıcı Sistem	103
4.12.1.	Betonarme Taşıyıcı Sistem Türleri.....	103
4.12.2.	Taşıyıcı Sistemin Oluşturulması	103
4.12.3.	Kütle ve Rijitlik Merkezi Kavramları.....	104
4.12.4.	Taşıyıcı Sistem Seçimi ve Düzensizlikler	105
4.12.5.	Düzensizlikler.....	105
4.13.	Deprem Hesabında Kullanılan Yöntemler	109
4.13.1.	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	109
4.13.2.	Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi.....	112
4.13.3.	Mod Birleştirme Yöntemi.....	113
4.14.	Eleman Asal Eksen Doğrultularındaki İç Kuvvetler	128
4.15.	Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri	129
4.16.	Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması,	129
4.17.	İkinci Mertebe Etkileri.....	130
4.18.	Deprem Derzleri.....	131
5.	BETONARME YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞI.....	132
5.1.	Malzeme Özellikleri.....	132
5.2.	Özel Deprem Etriyeleri ve Çirozları	133
5.3.	Kirişler	134
5.3.1.	Süneklik Düzeyi Yüksek Kirişler.....	134
5.3.2.	Süneklik düzeyi Normal Kirişler	142
5.4.	Kolonlar.....	143
5.4.1.	Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlar	143
5.4.2.	Süneklik Düzeyi Normal Kolonlar.....	156

5.5.	Perdeler	156
5.5.1.	Perdelerin Yerleşimi	157
5.5.2.	Süneklik düzeyi yüksek perdeler.....	158
5.5.3.	Perde Uç Bölgeleri ve Kritik Perde Yüksekliği	159
5.5.4.	Gövde Donatısı Koşulları	160
5.5.5.	Gövde Donatılarının Düzenlenmesi	160
5.5.6.	Perde Uç Bölgelerinde Donatı Koşulları	161
5.5.7.	Tasarım Eğilme Momentleri	162
5.5.8.	Kesme güvenliği.....	164
5.5.9.	Farklı Geometriye sahip perdelerde etkili başlık genişliklerinin belirlenmesi	166
5.6.	Bağ kirişleri	167
5.7.	Süneklik Düzeyi Normal Perdeler	191
5.8.	Birleşim Bölgeleri	191
5.8.1.	Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeve Sistemlerde Kolon-Kiriş Birleşim Bölgeleri.....	191
5.8.2.	Süneklik Düzeyi Normal Çerçeve Sistemlerde Kolon-Kiriş Birleşim Bölgeleri	196
5.9.	Döşemelerin Düzlem İçindeki Davranışları	217
5.10.	Temeller	226

1. GİRİŞ

Yerin hareketi ile oluşan deprem, ancak heyelan veya büyük yıkıcı dalgalar (tsunami) oluşturması gibi nadir durumlarda insan hayatını tehdit eden bir doğa olayıdır. Depremın asıl tehlike yarattığı durum yapılar üzerindeki etkisi ile ortaya çıkmaktadır. Deprem tehlikesi olarak adlandırılan sorunun kaynağı deprem olmakla birlikte sorunun kendisi deprem etkisindeki yapının davranışlarıdır.

Bir yapının depreme dayanıklı olarak tasarımında amaç, yapının kullanım ömrü boyunca yapıldığı bölgede oluşması beklenen en şiddetli depremde göçmeden ayakta kalabilmesini ve can güvenliğini sağlamaktır. Bir yapının şiddetli bir depreme maruz kalma sıklığı, sabit yük, hareketli yük gibi etkilere göre çok daha seyreklerdir. Tüm yapıların bu tür şiddetli depremleri elastik davranış göstererek ve hasar görmeden geçirecek şekilde tasarlanması, ekonomik olmayan ve uygulanması çok güç çözümlere neden olmaktadır. Bu nedenle depreme dayanıklı, uygulanabilir ve ekonomik olan çözüm ancak yapıda hasar oluşmasına izin verilerek sağlanabilmektedir.

Depremden sonra kullanımı yaşamsal önem taşıyan yapıların (hastane, itfaiye binası, enerji tesisi, iletişim tesisi vb.) tasarımında göçmenin önlenmesinin yanı sıra kullanımına devam edebilmesi de amaçlanmaktadır. Bu da can güvenliğinin sağlanmasına ek olarak hasarın sınırlandırılmasını gerektirmektedir.

Diğer yapılar için de depremden sonraki hasarın giderilmesi veya hasarın oluşturabileceği maddi kaybın yerine koyulmasının pahalı olacağı durumlarda başlangıç yapım maliyetini arttıran fakat hasarı sınırlandıran bir tasarım yapılabilir.

Genel olarak deprem yönetmeliklerinin ana ilkesi hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır.

Yapıların deprem etkilerine karşı tasarımında genel olarak aşağıdaki adımlar izlenir.

Öngörülen deprem etkilerini karşılayabilecek özelliğe sahip yatay yük taşıyıcı sistemin seçimi ve elemanların yerleşimi belirlenir. Bu aşamada taşıyıcı sistemde yük iletiminin sürekli ve güvenilir şekilde olmasının sağlanması amaçlanır.

Yönetmeliğin öngördüğü deprem etkisi altında etkilenecek yükler belirlenir ve taşıyıcı elemanlar arasında paylaşılır. Zemin özellikleri, taşıyıcı sistemin davranış şekli, kullanım amacı, yapı rijitliği gibi özellikler yüklerin belirlenmesinde gözönünde bulundurulur.

Düşey ve yatay yükler etkisinde elemanların ve birleşim bölgelerinin boyutlandırılması ve detaylandırılması yapılarak öngörülen etkiler altında yeterli dayanım ve rijitlik sağlanarak yönetmelikte öngörülen yapısal performans ve yerdeğiştirme sınırları koşulları yerine getirilmiş olur.

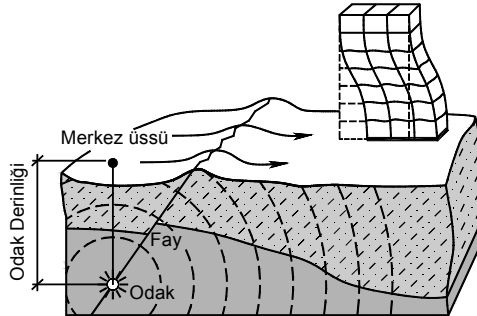
2. TEMEL KAVRAMLAR VE DEPREM DEĞİŞKENLERİ

2.1. Depremlerin Oluşumu

Depremlerin farklı türleri olmakla birlikte burada deprem tektonik deprem anlamında kullanılacaktır. Yeryüzü plakaları birbirlerine göre göreceli hareket ederken gerilme birikimi oluşur ve bu gerilmeler yeterli büyüklüğe ulaştığında dış kabuğu yırtar. Bu yırtılma fay olarak adlandırılan zayıf düzlem boyunca devam eder. Biriken gerilmeler enerji ortaya çıkarır ve yerkürede titreşim dalgaları oluşturur. Bu dalgaların yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzeyini sarsma olayına deprem adı verilmektedir. Dalgaların geçtiği yol üzerindeki her şey sarsılmakla birlikte belirli bir noktada oluşacak yer hareketinin büyüklüğü üç değişkene bağlıdır.

- i. İlgili nokta ile deprem kaynağı arasındaki uzaklık
- ii. Depremde ortaya çıkan toplam enerji (depremin büyüklüğü)
- iii. İlgili alandaki zemin koşulları

Odak noktası (hiposantr) yerkürenin derinliklerinde deprem enerjisini ortaya çıktığı noktadır. Merkez üssü (episantr) yeryüzünde odak noktasına en yakın olan yerdir. Genellikle depremin en çok hasar oluşturduğu ve en kuvvetli olarak hissedildiği noktadır. Odak noktası ile merkez üssü arasındaki uzaklık odak derinliğidir, (Şekil 2-1). Depremler odak derinliklerine göre sınıflandırılabilir. Odak derinliği 0-60km arasında olan depremler sıf depremler, 60-300km arasında olanlar orta derinlikte depremler ve 300km'den daha fazla derinliğe sahip olanlar derin depremler olarak adlandırılır Türkiye'de oluşan depremler genellikle sıf depremlerdir. Örneğin 1999 Kocaeli depreminde odak derinliği 18 km olarak belirlenmiştir.



Şekil 2-1 Depremin oluşumu

Zemin koşulları bakımından, derin yumuşak zeminler veya yeterli sıklıkta olmayan zeminler, sıkı zeminler veya kaya zeminlere göre daha olumsuz ortam oluşturmaktadır.

Fayın türü, dalga yayılımının yönü ve frekans içeriği gibi daha karmaşık değişkenler gözönüne alınan bölgedeki yer hareketinin şiddetini artırabilmekte veya azaltabilmektedir. Bu belirsizlikler nedeniyle oluşabilecek yer hareketi hassas şekilde önceden belirlenememektedir. Geçmişte kaydedilmiş yer hareketleri kullanılarak ve yukarıda bahsedilen üç ana etkeni dikkate alarak belirli bir olasılık ile öngörülen bölgede oluşabilecek en büyük yer ivmesinin belirlenmesi mümkündür. Modern deprem yönetmeliklerinde bu prensip esas alınmaktadır.

2.2. Depremin Büyüklüğü ve Şiddeti

Yapı mühendisliğinde sıkça kullanılan deprem değişkenlerinden iki tanesi büyüklük ve şiddettir. Depremin büyüklüğü deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsüdür ve Richter ölçeği olarak sınıflandırma

yapılır. Depremin şiddeti ise yeryüzünde hissedildiği yerdeki hasar ile birlikte yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin ölçüsüdür. Her depremin bir tane büyüklüğü bulunurken, hissedilen yer hareketinin şiddeti bölgeden bölgeye değişmektedir. Bu kavramlar arasındaki ilişki bir lambanın tek bir aydınlatma gücü olması, ancak farklı uzaklıklarda farklı aydınlatma etkisi oluşturmaya benzetilmektedir.

Genel olarak merkez üssüne yakın yerlerde depremin şiddeti büyük olurken uzaklaştıkça şiddeti azalmaktadır. Depremin şiddeti I-XII arasında değişen değerlerden oluşan Mercalli Şiddet Cetveli kullanılarak sınıflandırılır (Tablo 2-1).

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

$$\log_{10} E = 11.4 + 1.5M \quad (2.1)$$

gibidir. 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. Başka bir benzetme yapılırsa Kocaeli depremi odak noktasında ($M=7.4$) Hiroşima'ya atılan atom bombasından yaklaşık 3300 adedinin aynı anda patlamasına eşit enerji açığa çıkmıştır. Genel olarak kırılan yüzeyin uzun ve salınan enerjinin büyük olması nedeniyle depremin büyüklüğü arttıkça süreside uzamaktadır.

2.3. Deprem olma olasılığı ve dönüş periyodu

Günümüzde binaların tasarımı amacıyla deprem riskinin belirlenmesinde en yaygın kullanılan yöntem olasılıksal yaklaşımdır. Buna göre tasarımda kullanılacak deprem bir yıl içerisinde aşılma olasılığı P_1 ile veya eşdeğeri olan dönüş periyodu T ile tanımlanmaktadır.

P_1 bir yılda öngörülen şiddetteki bir depremin aşılma olasılığını göstermektedir. Depremin dönüş periyodu

$$T = 1 / P_1 \quad (2.2)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Genellikle belirli y yıl süresi içerisinde aşılma olasılığı, P_y , daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Yine yaygın olarak bu süre bir binanın ortalama kullanım ömrü olarak seçilmektedir. P_y , T ve P_1 arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır.

$$P_y = 1 - (1 - P_1)^y = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^y \quad (2.3)$$

Örneğin 475 yıllık dönüş periyodu olan bir depremin, bir yılda aşılma olasılığı %0.21, 50 yıllık bina ömrü öngörülerek bu süre içerisinde aşılma olasılığı $1 - (1 - 1/475)^{50} = 0.10$ (%10) olarak bulunur.

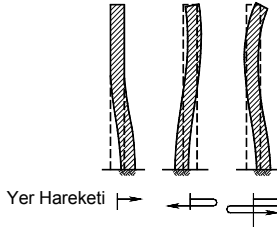
Genellikle depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan depremlerin dönüş periyodu 500 yıl ve üzeri olarak seçilmektedir. Bu dönüş periyodu değerinin rüzgar vb. diğer çevresel etkiler için seçilen 50 yıllık dönüş periyodu değerinden büyük seçilmesinin nedeni depremin daha ender ama daha çok hasar oluşturucu özelliğinden dolayıdır.

2.4. Yapıya Etkiyen Deprem Kuvvetleri

Deprem sırasında yapı davranışı Şekil 2-2'de basit olarak gösterilen biçimdedir. Yapının üzerinde bulunduğu zemin titreşim hareketi yaptığında yapının tabanı zemin ile birlikte yerdeğıştirir. Yapı kütlelerinin ataleti bu harekete karşı koyarak yapıda yatay ve düşey doğrultularda atalet kuvvetlerinin oluşmasına neden olur. Atalet kuvvetleri doğrultusunda yapıda hareket ile birlikte yerdeğıştirmeler oluşur. Bu yerdeğıştirmeler dalgalı şekilde ve karmaşık bir salınım hareketi ortaya çıkarır.

Tablo 2-1 Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Cetveli

Şiddet	Tanım	Yaklaşık Zemin İvmesi (m/s ²)
I	Hemen hemen hiç hissedilmez .	0.01
II	Özellikle üst katlardaki bazı insanlar tarafından hissedilebilir.	0.02-0.03
III	Bina içinde hissedilir fakat deprem olup olmadığı her zaman anlaşılmaz. Duran araçların yanından kamyon geçmiş hissi uyandırır.	0.03-0.07
IV	Bina içindekilerin çoğu hisseder. Kapı, pencere, kap kacak sallanır.	0.07-0.15
V	Hemen herkes hisseder. Bazı tabaklar, sıvalar, pencereler kırılır.	0.15-0.30
VI	Herkes hisseder, birçoğu korkup dışarı fırlar. Bacalar, sıvalar düşer. Hafif hasar oluşur.	0.30-0.70
VII	Herkes dışarı kaçar. Yapıda çeşitli hasarlar oluşur.	0.70-1.50
VIII	Duvarlar çerçevelerden ayrılıp devrilir. Anıtlar, bacalar, duvarlar yıkılır.	1.50-3.00
IX	Yapılar temelinden ayrılır, hasar görür. Zemin ve yeraltı boruları çatlar.	3.00-7.00
X	Kargir ve çerçeve yapıların çoğu yıkılır. Demiryolları eğilir.	7.00-15.0
XI	Yeni tip yapılar ayakta kalabilir, köprüler hasar görür. Yeraltı boruları kırılır. Toprak kaymaları oluşur..	15.0-30.0
XII	Hemen herşey yerle bir olur. Toprak yüzeyinde dalgalanma görülür. Nesnelere havada uçar.	30.0-70.0

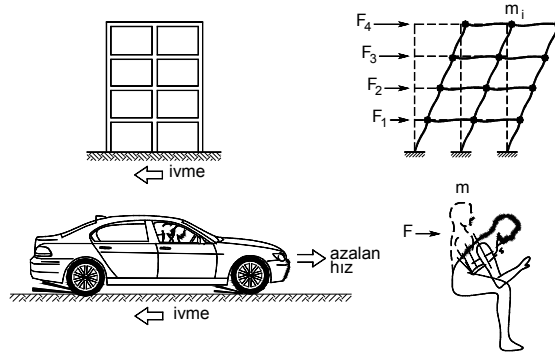


Şekil 2-2 Deprem sırasında yapı davranışı

Atalet kuvvetinin oluşumunun anlaşılması amacıyla günlük yaşamdan bir örnek verilebilir. Bir araç frenleme yaptığı anda hızındaki azalma ile oluşan negatif ivme araç içindeki insanları aracın önüne doğru hareket ettirmeye zorlar. Buna, oluşan atalet kuvveti neden olmaktadır. Benzer şekilde deprem sırasında zeminde oluşan ivmelerde yapıda atalet kuvvetleri oluşur, (Şekil 2-3). Atalet kuvvetleri kütle ile orantılıdır.

2.5. Deprem ve Rüzgar Yüklerinin Karşılaştırılması

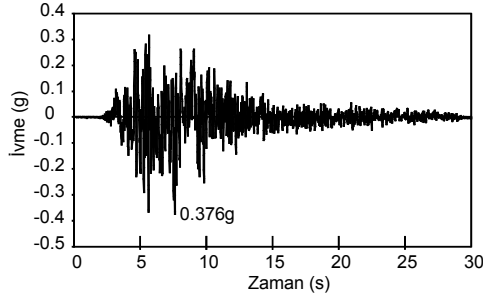
Deprem ve rüzgar yüklerinin yönetmeliklerde genellikle eşdeğer statik yatay yükler olarak kullanılmasına izin verilmesi bu yükler arasında benzerlik yaratmaktadır. Gerçekte dinamik özellikleri olan deprem ve rüzgar yüklerinin yapısı ve oluşma şekilleri birbirinden farklıdır. Rüzgar yükleri dışarıdan etmektedir ve etkidiği yüzeyin alanı ile orantılıdır. Deprem yükleri ise zemin hareketinden dolayı yapıda oluşan atalet kuvvetleridir ve yapının kütlesi ile orantılıdır.



Şekil 2-3 Atalet kuvvetinin oluşumu

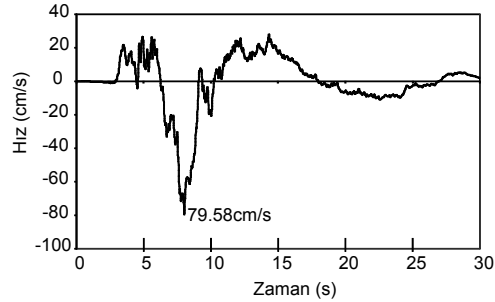
2.6. Deprem Kayıtları

Yapı mühendisliğinde yer hareketinin zamana bağlı olarak kayıt edilen ivme kaydı depremin şiddeti hakkında önemli bilgiler vermektedir.



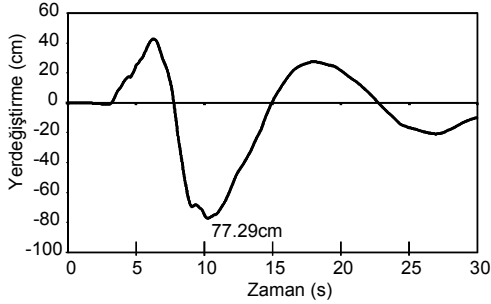
Şekil 2-4 Deprem İvme-Zaman grafiği

Şekil 2-4'de Koceali 1999 depreminin deprem ivme kaydı gösterilmektedir. Bu ivme kaydında, başlangıçtan belirli bir süre sonra kuvvetli yer hareketinin başladığı ve belirli bir süre benzer hareketin devam etmesinden sonra yavaş bir şekilde azalmaya başladığı gözlemlenebilir. Şekil 2-5 ve Şekil 2-6'da aynı deprem için hız ve yerdeğiştirme kayıtları gösterilmektedir. Şekil 2-4'den en büyük ivme 0.376g, Şekil 2-5'den en büyük hız 79.58cm/s ve Şekil 2-6'dan en büyük yerdeğiştirme 77.29cm olarak belirlenmektedir.



Şekil 2-5 Deprem Hız-Zaman grafiği

İvme kaydı elde edilen deprem için sayısal integraller ile hız ve yerdeğiştirmenin zamana bağlı olarak değişimi elde edilebilmektedir. İvme kaydından yerdeğiştirme kaydına doğru gidildikçe zaman içindeki değişim grafiği yumuşamaktadır.



Şekil 2-6 Deprem Yerdeğiştirme-Zaman grafiği

2.7. En Büyük Yer İvmesi ve Düşey İvme

En büyük yer ivmesi (Peak Ground Acceleration PGA) bir deprem ivme kaydında mutlak değerce en büyük olan ivme değeridir ve depremin en önemli karakteristiklerinden bir tanesidir. İvme biriminde olmakla birlikte (m/s²) yaygın olarak yerçekimi ivmesine (g) oranlanarak kullanılmaktadır. Örnek olmak üzere Şekil 2-4'de verilen ivme-zaman grafiğinde en büyük yer ivmesi 0.376g olarak görölmektedir.

Depremlerde yatay ivmelerle birlikte düşey ivmelerde oluşmaktadır. Deprem yönetmeliklerinde genel olarak deprem etkilerinin belirlenmesinde yatay ivmeler gözönüne alınmaktadır. Bu uygulama yatay deprem etkilerine karşı güvenliği sağlanan yapıların yeterli düşey deprem güvenliğini kendiliğinden sağlayacağı varsayımına dayanmaktadır. Ayrıca sabit ve hareketli düşey yükler altındaki tasarımda elemanlarda yeterli güvenlik faktörünün bulunduğundan bu varsayım yaygın olarak kabul görmektedir.

Düşey ivmenin oluşturacağı etkiler, uzun açıklığa sahip veya konsol türü sistemlerde düşey yüklerden oluşan eğilme momenti ve kesme kuvveti değerlerini önemli oranda arttıracağından gözönüne alınmalıdır. Düşey ivmenin en büyük değeri yaklaşık olarak en büyük yatay ivmenin 1/3'ü dolaylarında olmakla birlikte 2/3'ü değerine kadar çıkabilmektedir. Yerel zemin koşullarının rezonans etkisi ile birlikte düşey yöndeki etkiler de önemli hale gelebilmektedir. Merkez üssüne yakın alanlarda, kısa periyot bölgesinde düşey yer hareketleri yatay hareketlerden daha büyük değerler alabilmektedir.

2.8. Depremden dolayı oluşan hasarların nedenleri

Depremden dolayı yapıda oluşacak hasar aşağıdaki değişkenlere bağlıdır.

Depremden kaynaklı özellikler

- En büyük yer ivmesi
- Kuvvetli yer hareketi bölümünün süresi
- Frekans içeriği
- Kırılan fayın uzunluğu

Zemin kaynaklı özellikler

- Merkez üssü ile yapı arasındaki uzaklık ve zeminin jeolojik özelliği
- Yerel zemin koşulları
- Zemin hakim periyotları

Yapısal Özellikler

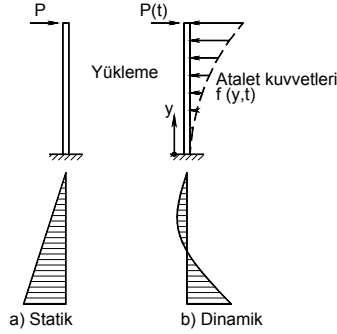
- Doğal periyodu ve sönüm özelliği
- Yapım tekniği, yaşı
- Deprem etkilerine karşı detaylandırılması

3. DEPREM HESABINDA KULLANILAN YAPI DİNAMİĞİ TEMEL İLKELERİ

3.1. Dinamik ve Statik Etkiler Altında Çözüm

Yapı dinamiği problemlerinde yükleme ve bunun sonucu yapıda oluşan tepkiler olarak adlandırılabilir iç kuvvetler ve yerdeğiştirmelerin hepsi zamana bağılıdır. Bu nedenle çözüm her zaman dilimi için ayrı olarak elde edilmelidir.

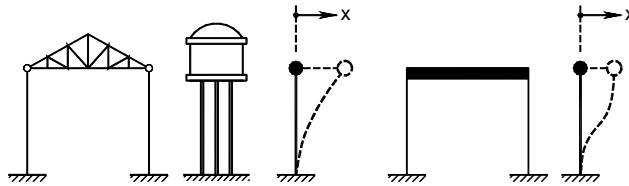
Statik ve dinamik problemler arasında önemli bir fark bulunmaktadır. Şekil 3-1'de gösterilen kolon statik yük etkisindeyken iç kuvvetler yapı statiği bilgileri ile elde edilebilmektedir. Aynı yük dinamik olarak etkilendiğinde zamana bağılı olarak değişen yerdeğiştirmeler ivmelenmeye neden olacaktır. Bu ivmelenme harekete karşı koymak isteyen atalet kuvvetleri oluşturacaktır. Harekete neden olan dış yük $P(t)$ ve atalet kuvveti $f_i(t)$ sisteme aynı anda etmektedir. Kolondaki içkuvvetler bu iki yükün birlikte oluşturduğu etkileri dengeleyecek şekilde olmalıdır. Bu nedenle içkuvvetlerin belirlenmesinden önce atalet kuvvetlerinin bilinmesi gerekmektedir. Atalet kuvvetleri yükün yüklenme hızına, yapının rijitliğine ve kütle özelliklerine bağılıdır. Dinamik çözümlemede temel güçlük atalet kuvvetlerinin oluşumuna neden olan yerdeğiştirmelerin kendisinin, atalet kuvvetlerine bağılı olmasıdır.



Şekil 3-1 Statik ve dinamik yükleme arasındaki temel farklılıklar

3.2. Serbestlik derecesi

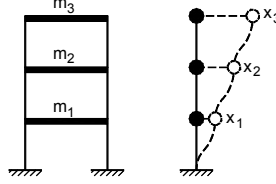
Titreşim hareketi sırasında herhangi bir zaman anı için sistemin konumunu belirli bir eksen takımına göre tanımlamak için gerekli bağımsız değişken sayısına serbestlik derecesi adı verilmektedir. Gerçekte sürekli bir sistemin sonsuz sayıda serbestlik derecesi bulunmaktadır. Yapı sisteminin idealleştirilerek uygun matematik modelin oluşturulması, serbestlik derecesinin azalmasına ve sonlu sayıda olmasına olanak tanımaktadır. Bu tür sistemlere ayrı kütleli sistem adı verilmektedir. Burada yalnızca ayrı kütleli sistemler gözönüne alınacaktır.



Şekil 3-2 Tek Serbestlik dereceli sistem örnekleri ve hesap modelleri

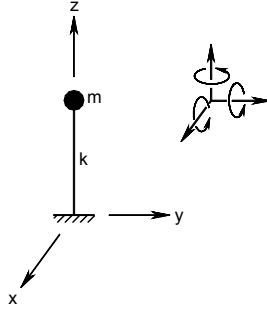
Şekil 3-2'de düzlem içindeki davranışları göz önüne alındığında dinamik analiz için tek serbestlik dereceli (TSD) olarak modellenebilecek sistem örnekleri gösterilmektedir.

Örneğin Şekil 3-3'deki kütlelerin kat seviyelerinde toplandığı, kiriş ve kolonlarda boy kısalmasının olmadığı ve kütlelerin yalnızca yatay doğrultuda yer değiştirebilecekleri varsayımı altında idealleştirilen düzlem sistemin serbestlik derecesi kat adedi kadardır.



Şekil 3-3 3 Serbestlik dereceli düzlem sistem

Serbestlik derecesine farklı bir örnek olmak üzere kütesiz bir kolon üzerinde bir m kütlesi bulunan 3 boyutlu bir sistemde herhangi bir t anındaki konumu belirlemek üzere x, y ve z eksenleri doğrultularındaki yer değiştirmeler ve bu eksenler etrafındaki dönmeler olmak üzere 6 bağımsız değişkenin belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle sistem bir kütleli olduğu halde çok serbestlik derecelidir (ÇSD) ve 6 serbestlik derecesi bulunmaktadır, Şekil 3-4.



Şekil 3-4 6 serbestlik dereceli uzay sistem

3.3. Periyot, Frekans ve Açısal Frekans

Bir sistemin doğal periyodu (T) titreşim sırasında bir tam çevrimi yaparak başlangıç konumuna dönmesi için geçen süredir ve saniye zaman birimi cinsinden ifade edilir (Şekil 3-5). Yorumlanırken birimi $s/(1$ tam çevrim) olarak değerlendirilmelidir.

Doğal periyodun tersi doğal frekanstır ve birimi bir saniyede yapılan çevrim miktarını belirten hertz (Hz) veya $1/s$ 'dir. Açısal doğal frekans ω , titreşim hareketi dairesel hareket olarak gösterildiğinde birim zamanda taranan açıyı gösterir ve rad/s birimindedir. Bir periyotluk süre geçtiğinde, Şekil 3-5'de A noktasından tekrar A noktasına gelindiğinde, taranan açı 2π radyan olacaktır.

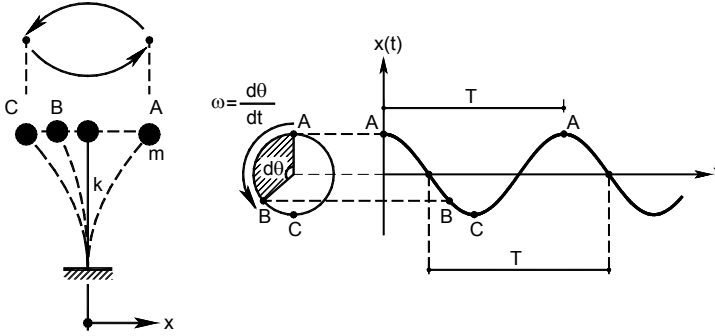
Bu üç büyüklük arasında aşağıdaki bağıntılar bulunmaktadır.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (3.1)$$

veya

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (3.2)$$

Örneğin periyodu $T=0.5s$ olan bir yapı bir tam salınımını $0.5s$ 'de tamamlayacak, $1s$ 'de 2 tam çevrim yapacak ($f=2 s^{-1}$) ve dairesel hareket gösteriminde birim zamanda ($1s$ 'de) 4π radyan açı taranacaktır ($\omega=4\pi rad/s$).

Şekil 3-5 Doğal titreşim periyodu ve ω açısal frekansı

Yapının doğal titreşim periyodu yapının kütlesi ve rijitliği gibi doğal özelliklerine bağlıdır ve deprem titreşim özelliklerinden bağımsızdır. Büyük yapı sistemlerinin periyodunun temel yapı dinamiği bağıntılarıyla belirlenmesi çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumda doğal periyot yapı sisteminin analitik modeli oluşturulup bilgisayar ile çözüm yapılarak (en yaygın olarak kullanılan yöntemdir), yönetmeliklerde verilen ampirik bağıntılardan veya Rayleigh yönteminden yararlanılarak belirlenebilmektedir.

3.4. Kütle, Rijitlik

Kütle (m) sistem ağırlığının (W) yerçekimi ivmesine bölünmesi ile elde edilmektedir.

$$m = \frac{W}{g} \quad (3.3)$$

Sistemin rijitliği (k) kütleyle etkilenen F kuvvetinin, kuvvetin etkimesi sonucu oluşacak yer değiştirmeye (δ) bölünmesi ile belirlenmektedir. Rijitlik, birim yer değiştirme oluşturmak için uygulanması gereken kuvvet olarak değerlendirilebilir.

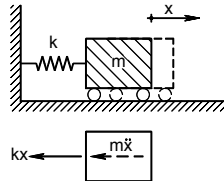
$$k = \frac{F}{\delta} \quad (3.4)$$

Rijitliğin tersi ($1/k$) esnekliktir ve birim yük ($F = 1$) altında oluşan yer değiştirme olarak değerlendirilebilir. Tablo 3-1'de farklı mesnetlenme durumlarında perdenin rijitlik ile eğilme ve kesme kuvveti etkisindeki yer değiştirme değerlerini veren bağıntılar gösterilmektedir.

Tablo 3-2'de ise sıkça karşılaşılan basit sistemlerin rijitlikleri ve kuvvet altında oluşacak en büyük yer değiştirme değerleri (kesme kuvvetinin etkisi ihmal edilmiştir) verilmektedir.

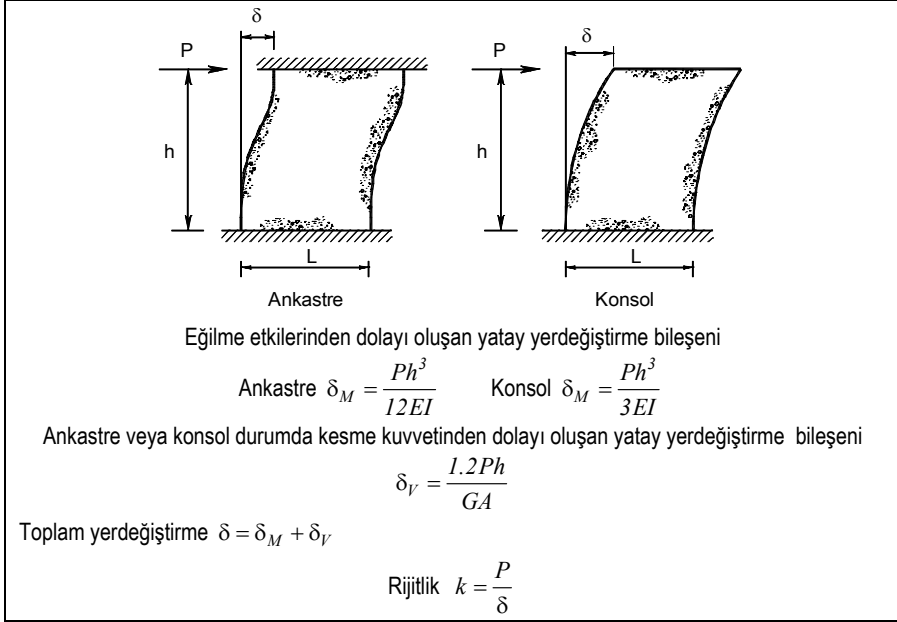
3.5. Hareket Denklemi, Newton'un Hareket Yasası, D'Alembert Prensibi

Bir kuvvet, üzerine etki ettiği cismi, kuvvetin yönü doğrultusunda ivmelenendir. Cismin kazandığı ivme, kuvvet ile doğru, cismin kütlesi ile ters orantılıdır.



Şekil 3-6 Titreşim hareketi yapan sistem

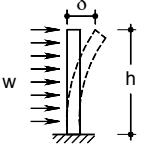
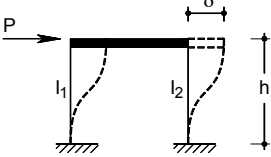
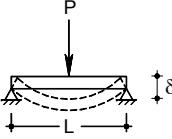
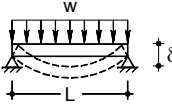
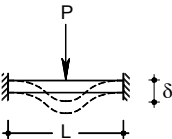
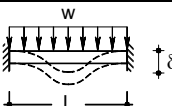
Tablo 3-1 Farklı mesnetlenme koşullarına sahip perdede rijitlik ve yerdeğiştirme değerleri



Tablo 3-2 Çeşitli sistemlerin yerdeğiştirme ve rijitlik değerleri

	$\delta = \frac{Ph}{EA}$	$k = \frac{EA}{h}$
	$\delta = \frac{Ph^3}{3EI}$	$k = \frac{3EI}{h^3}$
	$\delta = \frac{Ph^3}{12EI}$	$k = \frac{12EI}{h^3}$

Tablo 3-2 (Devam)

	$\delta = \frac{wh^4}{8EI}$	$k = \frac{8EI}{h^3}$
	$\delta = \frac{Ph^3}{12E(I_1 + I_2)}$	$k = \frac{12E(I_1 + I_2)}{h^3}$
	$\delta = \frac{PL^3}{48EI}$	$k = \frac{48EI}{L^3}$
	$\delta = \frac{5wL^4}{384EI}$	$k = \frac{384EI}{5L^3}$
	$\delta = \frac{PL^3}{192EI}$	$k = \frac{192EI}{L^3}$
	$\delta = \frac{wL^4}{384EI}$	$k = \frac{384EI}{L^3}$

Şekil 3-6'da titreşim hareketi yapan sistem ve sistemin serbest cisim diyagramı gösterilmektedir. m kütlesi referans eksene göre pozitif yönde x kadar yer değiştirdiğinde yayda $F = kx$ kuvveti oluşacaktır. Newton'un II. Yasası uyarınca yay kuvvetinin zıt yönde etki ettiği göz önüne alınarak

$$-kx = m\ddot{x} \quad (3.5)$$

denklemleri yazılabilir. Burada \ddot{x} yer değiştirmenin zamana göre ikinci türevi olan ivmeyi göstermektedir.

D'Alembert prensibine göre ise cisimlerin ivmesi, sanki üzerlerinde ivmenin tersi yönde ve ivmenin ve kütle çarpımına eşit büyüklükte bir kuvvet yaratır (atalet kuvveti). Bu hayali kuvvetin varsayılmasıyla dinamik problemler, statik problemlere benzetilir ve cismin dengede olduğu düşünülerek denge denklemleri ile çözümlenebilir. Bu yöntemin kullanımı dinamik denge olarak da adlandırılmaktadır.

Şekil 3-6'daki sistemde D'Alembert prensibi uyarınca hareket doğrultusunda denge denklemi yazılırsa Denklem (3.6)'ya benzer olarak

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad (3.6)$$

bağıntısı elde edilir. Bu sistemin hareket denklemdir.

Dış yükün ve sönümün bulunmadığı durumda D'Alembert prensibi kullanılarak yapı sisteminin hareket denklemi

$$(Atalet kuvvetleri) + (Yay Kuvvetleri) = 0$$

biçiminde yazılabilir.

3.6. Periyot, kütle ve rijitlik ilişkisi

Periyot ile kütle ve rijitlik arasındaki bağıntı Denklem (3.7)'de verilmektedir.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (3.7)$$

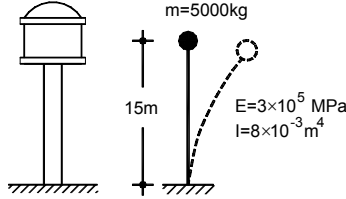
Açısal frekans ile kütle ve rijitlik arasındaki bağıntı da Denklem (3.8)'deki gibi olur.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{veya} \quad \omega^2 = \frac{k}{m} \quad (3.8)$$

Yapının ağırlığı dolayısıyla kütlesi arttığında doğal periyot büyümektedir. Yapının öteleme rijitliği arttığında (örneğin kolon, perde gibi düşey taşıyıcılarının boyutları büyütüldüğünde) periyot değeri küçülmektedir.

Örnek 3-1

Küçük bir su tankı narin bir kolon üzerine yerleştirilmiştir. Kolonun ağırlığını ihmal ederek sistemin doğal titreşim periyodunu belirleyiniz.



Çözüm:

Su tankını taşıyan sistemin konsol sistem olduğu varsayılırsa sistemin rijitliği Tablo 3-2'den

$$k = \frac{3EI}{h^3} = \frac{3 \cdot (3 \cdot 10^{11}) \cdot (8 \cdot 10^{-3})}{(15)^3} = 2.133 \cdot 10^6 \text{ N/m}$$

olarak hesaplanır.

Periyot değeri ise Denklem (3.7)'den

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{5000}{2.133 \cdot 10^6}} = 0.304 \text{ s}$$

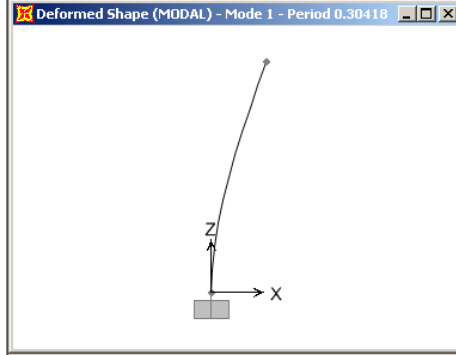
olarak elde edilir.

SAP2000 : Örnek 3-1'de verilen sistemin çözümü.

- SAP2000 programını çalıştırınız.
- Birim bölümünden N,m,C seçiniz.
- Menüde File-New Model → Grid Only seçeneğini seçiniz.
 - Number of Grid Lines bölümünde

- X Direction= 2
 - Y Direction= 1
 - Z Direction= 2
 - Grid Spacing bölümünde
 - X Direction= 1
 - Y Direction= 1
 - Z Direction= 15
- yazınız ve OK düğmesine basınız
- Menüde View-Set 2D View seçeneğine seçiniz.
 - X-Z Plane seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set Display Options seçeneğini seçiniz.
 - Joints bölümünde Labels kutucuğunu seçili duruma getiriniz
 - Joints bölümünde Invisible kutucuğunu seçili durumdan çıkarın ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Draw-Special Joint seçeneğini seçiniz
- Grid sistemini gösteren dikdörtgen bölgenin sol alt köşesine ve sol üst köşesine tıklayarak 1 ve 2 nolu düğüm noktalarını oluşturun.
- Klavyede Esc tuşuna basarak düğüm noktası oluşturma işlemini tamamlayın.
- Menüde Define-Materials... seçeneğini seçiniz.
 - Add New Material... düğmesine basınız.
 - Material Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz.
 - Weight per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.
 - Units açılır listesinden N,mm,C 'yi seçiniz
 - Modulus of Elasticity, E kutucuğuna 300000 yazınız
 - Poissons's Ratio, U kutucuğuna 0 yazınız.
 - Coefficient of Thermal Expansion, A kutucuğuna 0 yazınız ve iki kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Section Properties-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Add New Property düğmesine basınız.
 - Frame Section Property Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz.
 - General düğmesine basınız.
 - Cross-section (axial) area kutucuğuna 1E6 yazınız
 - Moment of Inertia about 3 axis kutucuğuna 0.008 yazınız
 - Shear area in 2 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - OK düğmesine basınız.
 - Section Name kutucuğuna C yazınız.
 - Material açılır listesinden MAT seçeneğini seçiniz ve 2 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Draw-Draw Frame/Cable/Tendon seçeneğini seçiniz
- Önce 1 ve sonra 2 nolu düğüm noktalarına tıklayınız.
- Klavyede Esc tuşuna basarak çubuk eleman oluşturma işlemini tamamlayın.
- 1 numaralı düğüm noktasını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Restraints... seçeneğini seçiniz.
 - Ankastre mesnet tanımı için Translation ve Rotation kutucuklarının tamamını seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- 2 numaralı düğüm noktasını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Masses... seçeneğini seçiniz.
 - Local 1 Axis Direction kutucuğuna 5000 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Set Analysis Options... seçeneğini seçiniz.

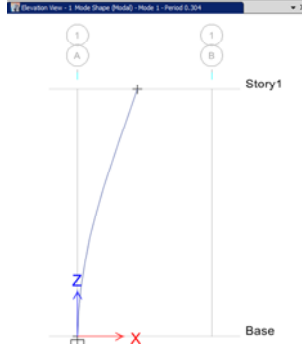
- XZ Plane düğmesine basarak UX, UZ, RY serbestliklerinin seçili olmasını sağlayınız.
- OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Run Analysis... seçeneğini seçiniz.
 - Run Now düğmesine basınız
 - Dosya adı istendiğinde uygun bir dosya adı veriniz
 - Çözümü yapınız.
- Menüde Display-Show Deformed Shape seçeneğini seçiniz.
- Case/Combo Name açılır listesinden MODAL'ı seçiniz ve OK düğmesine basınız. Ekrana gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 0.304s olarak gösterilmektedir.



ETABS: Örnek 3-1'de verilen sistemin çözümü.

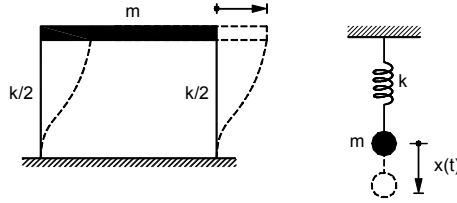
- ETABS programını çalıştırınız.
- File menüsünde New seçeneğine tıklayınız.
- Use Built-in Settings With: bölümünde
 - Display Units bölümünde Metric SI seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Ekrana gelen ileti kutusunda
 - Add Structural Objects bölümünde Grid Only seçeneğini seçiniz.
 - Grid Dimensions (Plan) bölümünde Uniform Grid Spacing seçeneğini seçiniz.
 - Number of Grid Lines in X Direction kutucuğuna 2 yazınız.
 - Number of Grid Lines in Y Direction kutucuğuna 1 yazınız.
- Story Dimensions bölümünde Simple Story Data seçeneğini seçiniz.
 - Number of Stories kutucuğuna 1 yazınız.
 - Typical Story Height kutucuğuna 15 yazınız.
 - Bottom Story Height kutucuğuna 15 yazınız ve OK düğmesine basınız
- Menüde View-Set Elevation View seçeneğini seçiniz.
 - 1 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set Display Options seçeneğini seçiniz.
 - Joint Objects Invisible kutucuğunu seçili durumdan çıkarınız.
 - Object Assignments sekmesine geçiniz.
 - Joint Assignments bölümünde Unique Names kutucuğunu seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Draw- Joint Objects seçeneğini seçiniz
- Grid sistemini gösteren dikdörtgen bölgenin sol alt köşesine ve sol üst köşesine tıklayarak 1 ve 2 nolu düğüm noktalarını oluşturun.
- Klavyede Esc tuşuna basarak düğüm noktası oluşturma işlemini tamamlayın.

- Menüde Define-Material Properties... seçeneğini seçiniz.
 - Add New Material... düğmesine basınız.
 - Region bölümünde User seçeneğini seçiniz.
 - Material Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
 - Weight per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.
 - Modulus of Elasticity, E kutucuğuna 300000 yazınız
 - Poissons's Ratio, U kutucuğuna 0 yazınız.
 - Coefficient of Thermal Expansion, A kutucuğuna 0 yazınız ve iki kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Section Properties-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Add New Property... düğmesine basınız.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda General seçeneğini seçiniz.
 - Property Name kutucuğuna C yazınız.
 - Material açılır listesinden MAT seçeneğini seçiniz.
 - Modify/Show Section Properties... düğmesine basınız.
 - Area,cm2 kutucuğuna 1E9 yazınız.
 - AS2, cm2 ve AS3, cm2 kutucuklarına 0 yazınız.
 - I33, cm4 kutucuğuna 800000 yazınız
 - OK düğmesine basınız.
 - Property Name kutucuğuna C yazınız.
 - OK düğmesine basınız.
- Menüde Draw→Draw Beam/Column/Brace Objects→Draw Beam/Column/Brace (Plan, Elevation,3D) seçeneğini seçiniz.
- Ekranın sol altındaki Properties of Object ileti kutusunda Property listesinden C kesitini seçiniz.
- Önce 1 ve sonra 2 nolu düğüm noktalarına tıklayınız.
- Klavyede Esc tuşuna basarak çubuk eleman oluşturma işlemini tamamlayın.
- 1 numaralı düğüm noktasını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Restraints... seçeneğini seçiniz.
 - Ankastr mesnet tanımı için Translation ve Rotation kutucuklarının tamamını seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- 2 numaralı düğüm noktasını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Additional Mass... seçeneğini seçiniz.
 - Direction X,Y kutucuğuna 5000 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Set Active Degrees of Freedom... seçeneğini seçiniz.
 - XZ Plane düğmesine basarak UX, UZ, RY serbestliklerinin seçili olmasını sağlayınız.
 - OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Run Analysis... seçeneğini seçiniz.
 - Dosya adı istendiğinde uygun bir dosya adı veriniz
 - Çözümü yapınız.
- Menüde Display-Show Deformed Shape seçeneğini seçiniz.
- Load Case/Load Combination/Modal Case bölümünde Mode seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Ekranı gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 0.304s olarak gösterilmektedir.



3.7. Tek Serbestlik Dereceli Sönümsüz Sistemin Serbest Titreşimi

Sönümsüz sisteme bir başlangıç yerdeğiştirmesi verilir ve serbest bırakılırsa hareket kendini tekrarlar (basit harmonik hareket). Buna örnek olarak ideal bir yaya asılmış kütle veya kütesiz kolonlara mesnetlenmiş rijit bir kirişten oluşan sistem gösterilebilir (Şekil 3-7).



Şekil 3-7 Tek serbetlik dereceli sönümsüz sistem

Sönümün bulunmadığı bir sistem titreşim hareketini aynı genlik ile sonsuza dek sürdürür. Bu durumda hareket denklemi

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad (3.9)$$

diferansiyel denklemi biçimindedir. Bu denklemin çözümü $\omega = \sqrt{k/m}$ açısal frekans olmak üzere

$$x = C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t \quad (3.10)$$

Şeklindeir. C_1 ve C_2 integrasyon sabitleridir ve başlangıç koşullarından (örneğin $t=0$ 'daki başlangıç yerdeğiştirmesi x_o , başlangıç hızı \dot{x}_o gibi) belirlenmektedir. Başlangıç koşullarının (3.10) denkleminde kullanılması ile çözüm aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$x = x_o \cos \omega t + \frac{\dot{x}_o}{\omega} \sin \omega t \quad (3.11)$$

Burada x_o ve \dot{x}_o sırasıyla başlangıç yerdeğiştirmesi ve başlangıç hızıdır. Trigonometrik dönüşümler ile denklem(3.11)

$$x = \rho \cos(\omega t - \beta) \quad \text{veya} \quad x = \rho \sin(\omega t + \alpha) \quad (3.12)$$

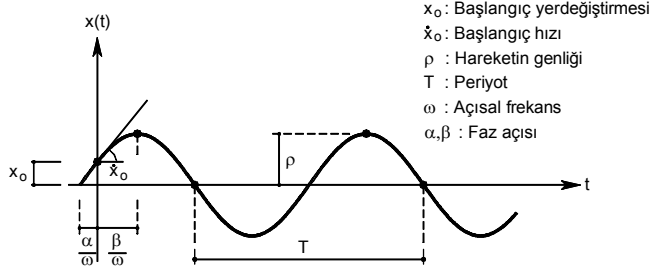
denklemlerine dönüştürülebilmektedir. Burada ρ hareketin genliğini göstermektedir ve denklem (3.13) ile elde edilmektedir.

$$\rho = \sqrt{x_o^2 + \left(\frac{\dot{x}_o}{\omega}\right)^2} \quad (3.13)$$

Bağıntıdaki α (veya β) faz açısı olarak adlandırılmaktadır ve denklem (3.14) ile elde edilmektedir.

$$\tan \alpha = \frac{x_o}{\dot{x}_o / \omega} \quad \text{ve} \quad \tan \beta = \frac{\dot{x}_o / \omega}{x_o} \quad (3.14)$$

Şekil 3-8'de başlangıç hızı ve yerdeğiştirmesi ile harekete geöen sönümsüz bir sistemin yerdeğiştirmesinin zamana bağılı değişimi gösterilmektedir.



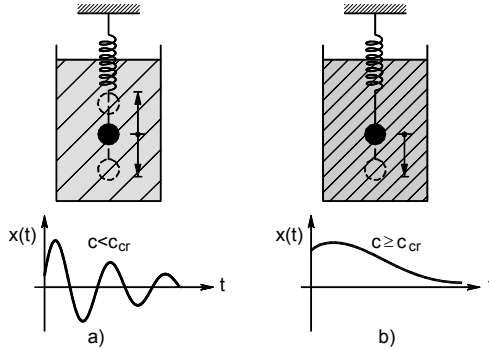
Şekil 3-8 Sönümsüz sistemin titreşimi

3.8. Sönüm

Sönüm titreşim hareketinde yitirilen enerjidir. Kinetik enerji ısıya dönüşmektedir. Sönümün bulunmadığı bir sistem titreşim hareketini sonsuza dek sürdürür. Gerçek sistemlerde her zaman sönüm bulunmaktadır. Sönüm her çevrimde hareketin genliğinin azalmasına neden olur ve belirli bir süre sonra hareketin sona ermesini sağlar.

Sönümün miktarı genellikle kullanılan malzemeye, birleşim türlerine ve taşıyıcı olmayan elemanların yapının rijitliğine olan etkisine bağıldır.

Sönüm kritik sönüme oranlanarak ölçülmektedir. Kritik sönüm, titreşim hareketinin oluşmasını engelleyen en küçük sönüm miktarıdır. Benzeşim olarak suyun içinde bir yerdeğiştirme uygulanmış yay düşünelim (Şekil 3-9). Yay serbest bırakıldığında yerdeğiştirme uygulanmadan önceki konumu etrafında bir kaç kez salınım yapar ve durur. Suyun yerine viskozitesi daha yüksek bir sıvı yerleştirilirse yay yine titreşecektir ama titreşim sayısı suyun içinde olduğu kadar çok sayıda olmayacaktır. Sıvının viskozitesi gittikçe arttırılırsa belirli bir yerde, yay yerdeğiştirme uygulandıktan sonra ilk haline titreşmeden geri dönecektir. Yayın titreşim hareketi yapamamasını sağlayan en düşük viskozite kritik sönüm olarak düşünülebilir (c_{cr}).



Şekil 3-9 Kritik sönüm

Yapılarda sönümün farklı kaynakları bulunmaktadır.

- Dış ortamdan kaynaklanan viskoz sönüm (hava, bazı durumlarda su vb.). Bu sönümün katkısı türü diğer sönüm kaynakları ile karşılaştırıldığında küçüktür.
- Malzemenin viskozitesinden kaynaklanan içsel viskoz sönüm hız ile orantılıdır. Yapının doğal frekansı arttıkça içsel viskoz sönüm de artar.
- Sürtünme nedeniyle oluşan sönüm (Coulomb sönümü) birleşim bölgelerindeki sürtünmeler veya duvarların çatlak düzlemlerindeki sürtünmeler nedeniyle ortaya çıkmaktadır.
- Çevrimsel sönüm (Histeretik sönüm) yön değiştiren yükler ile sistemin plastikleşmesi sonucu sünük davranış göstermesi sonucu ortaya çıkan ve sönümün en önemli kaynağını oluşturan türdür.

Uygulamada farklı sönüm kaynakları tek bir viskoz sönüm türüne dönüştürülerek kullanılmaktadır. Taban izolatörleri bulunmayan normal yapıların yönetmeliklere göre tasarımında kullanılan sönüm oranları (kritik sönüme oranı) %1 ile %10 arasında değişmektedir. Düşük değerler daha çok rüzgar yükleri etkisindeki hesaplarda kullanılmaktadır.

3.9. Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistemin Serbest Titreşimi

Bu tür sistemlerde titreşimin oluşabilmesi için sönümün kritik sönümden küçük olması gerekmektedir. Yapı sistemlerinde sönüm bu koşulu sağladığından yalnızca bu duruma ilişkin çözüm verilecektir. Bu durumda hareket denklemi

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (3.15)$$

diferansiyel denklemi biçimindedir. Bu denklemin genel çözümü

$$x(t) = e^{-\xi\omega t} \left(x_o \cos \omega_D t + \frac{\dot{x}_o + x_o \xi \omega}{\omega_D} \sin \omega_D t \right) \quad (3.16)$$

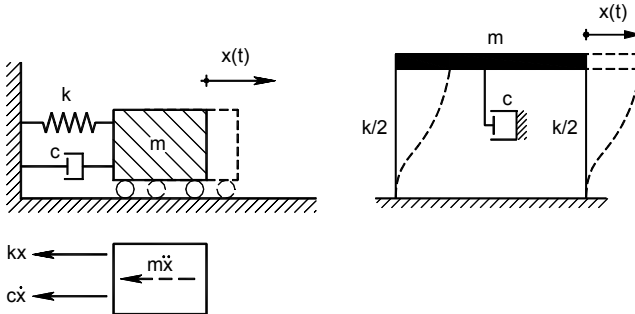
Burada x_o , \dot{x}_o sırasıyla başlangıç yerdeğiştirilmesi, başlangıç hızıdır.

Sönüm oranı ξ sönümün kritik sönüme oranıdır.

$$\xi = \frac{c}{c_{cr}} \quad (3.17)$$

Kritik sönüm titreşim hareketinin oluşmadığı en küçük sönüm değeridir ve denklem (3.18) ile elde edilebilir.

$$c_{cr} = 2m\omega = 2\sqrt{km} \quad (3.18)$$



Şekil 3-10 Tek serbestlik dereceli sönümlü sistem

Burada ω sönümsüz sistemin açılal frekansıdır. Sönümlü sistemin açılal frekansı ω_D ile sönümsüz sistemin açılal frekansından küçüktür ve denklem (3.19) ile hesaplanabilir.

$$\omega_D = \omega \sqrt{1 - \xi^2} \quad (3.19)$$

Normal yapılar için sönümün kritik sönüme oranı %1 ile %10 arasında değişmektedir. En büyük değer %10 alınırsa $\xi = 0.10$ ve denklem(3.19)'da yerine koyulursa $\omega_D = 0.995\omega$ olarak elde edilir. Bu sonuç uygulamada, sönümlü bir yapının (taban izolasyonu bulunmayan) doğal frekansının sönümsüz sistemdekine eşit alınabileceğini göstermektedir.

Sönümlü sistem ile sönümsüz sistemin periyotları arasında

$$T_D = \frac{2\pi}{\omega_D} = \frac{2\pi}{\omega \sqrt{1 - \xi^2}} \quad (3.20)$$

bağıntısı bulunmaktadır.

Denklem (3.16) trigonometrik dönüşümler kullanılarak

$$x = \rho e^{-\xi\omega t} \cos(\omega_D t - \alpha) \quad (3.21)$$

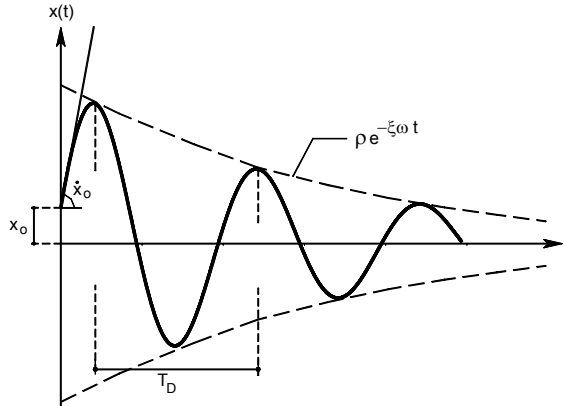
haline dönüştürülebilmektedir. Hareketin genliği ρ denklem (3.22) ile elde edilmektedir.

$$\rho = \sqrt{x_0^2 + \frac{(\dot{x}_0 + x_0 \xi \omega)^2}{\omega_D^2}} \quad (3.22)$$

Faz açısı β Denklem (3.23) ile elde edilmektedir.

$$\tan \beta = \frac{(\dot{x}_0 + x_0 \xi \omega)}{\omega_D x_0} \quad (3.23)$$

Şekil 3-11'de başlangıç hızı ve yerdeğiştirmesi ile harekete geçen sönümlü bir sistemin yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir.



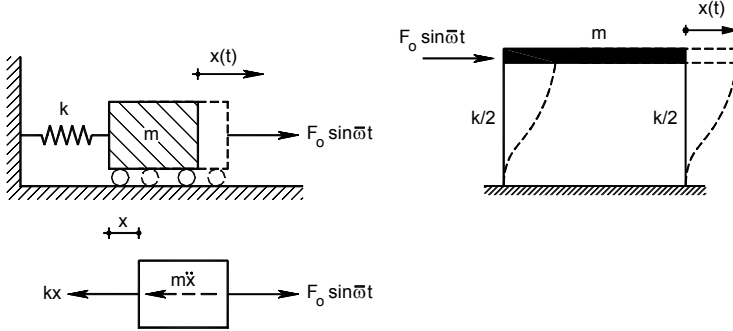
Şekil 3-11 Sönümlü sistemin serbest titreşim hareketi

3.10. Tek Serbestlik Dereceli Sönümsüz Sistemin Harmonik Yük Etkisinde Zorlanmış Titreşimi

Tek serbestlik dereceli sönümsüz sistem zamana bağlı bir dış yük etkisinde zorlandığında D'Alembert prensibine göre denge denklemi

$$(Atalet kuvvetleri) + (Yay Kuvvetleri) - (Dış Kuvvetler) = 0$$

şeklini almaktadır.



Şekil 3-12 Sönümsüz sistemin harmonik yük etkisinde zorlanmış titreşimi

Bu durumda hareket denklemini Denklem (3.24)'deki gibi olmaktadır.

$$m\ddot{x} + kx = p(t) \quad (3.24)$$

Bu bölümde dış yükün harmonik yük olduğu varsayılarak $p(t) = F_o \sin \omega t$ özel durumuna ait çözümler verilecektir. Burada F_o dış yükün genliğini, ω dış yükün açısal frekansını göstermektedir. Hareket denkleminin yeni hali Denklem (3.25)'deki gibi olur.

$$m\ddot{x} + kx = F_o \sin \omega t \quad (3.25)$$

Bu tür bir dış yüklemeye örnek olarak sistem üzerinde çalışan bir makinanın oluşturacağı etki verilebilir. Hareket denkleminin çözümü denklem(3.26)'da verilmektedir.

$$x(t) = \frac{F_o / k}{1 - r^2} (\sin \omega t - r \sin \omega t) \quad (3.26)$$

Burada r dış yükün açısal frekansının sistemin doğal açısal frekansına oranını göstermektedir.(3.27) .

$$r = \frac{\omega}{\omega} \quad (3.27)$$

Dış yüke karşı yapının gösterdiği davranış (yerdeğiştirme tepkisi) incelendiğinde sistemin ω doğal açısal frekansına sahip bir serbest titreşim kısmı ile $\bar{\omega}$ zorlanma frekansına sahip bir zorlayıcı kısım olmak üzere iki harmonik davranışın süperpozisi ortaya çıktığı görülmektedir. Çözümdeki F_o / k terimi x_{st} statik yerdeğirmesi olarak değerlendirilirse dinamik yerdeğiştirmenin statik yerdeğiştirmeye oranı Dinamik Büyütme Katsayısı (DBK) Denklem (3.28)'deki gibi olur

$$DBK(t) = \frac{x(t)}{F_o / k} = \frac{x(t)}{x_{st}} = \frac{1}{1 - r^2} (\sin \omega t - r \sin \omega t) \quad (3.28)$$

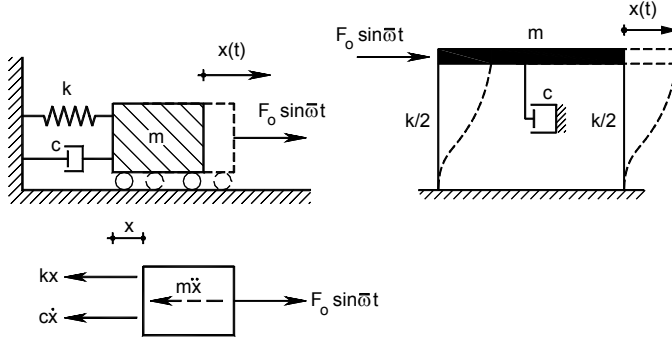
Dış yükün açısal frekansının sistemin doğal açısal frekansına yaklaşması ($\bar{\omega} \rightarrow \omega$) DBK değerini artırır ve genliğin artmasına neden olarak rezonansın oluşmasına neden olur. Uygulamada tüm sistemlerde küçükte olsa sönüm bulunduğundan ve sistem davranışı tam anlamıyla doğrusal olmayacağından teorik anlamdaki rezonans oluşmaz. Bununla birlikte yinede benzer davranış (genliğin artması) oluşacağından rezonansa yakın durumlarda yerdeğiştirmeler artarak büyük değerlere ulaşacaktır. Uygulamada buna karşı önlem alınarak iki frekansın birbirine yakın olmaması sağlanmaya çalışılmalıdır.

3.11. Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistemin Harmonik Yük Etkisinde Zorlanmış Titreşimi

Tek serbestlik dereceli sönümlü sistem zamana bağlı bir dış yük etkisinde zorlandığında D'Alembert prensibine göre denklemini

$$(Atalet kuvvetleri) + (Sönüm Kuvvetleri) + (Yay Kuvvetleri) - (Dış Kuvvetler) = 0$$

şeklini almaktadır.



Şekil 3-13 Sönümlü sistemin harmonik yük etkisinde zorlanmış titreşimi

Hareket denklemini Denklem (3.29)'daki gibi olur.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = p(t) \quad (3.29)$$

Dış yük harmonik yük olarak kabul edilirse bağıntı Denklem (3.30) halini alır.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_o \sin \omega t \quad (3.30)$$

Yeni durumda hareket denkleminin çözümü de aşağıda verilmektedir.

$$x(t) = \underbrace{e^{-\xi \omega t} (A \cos \omega_D t + B \sin \omega_D t)}_{\text{Geçici Titreşim}} + \underbrace{\frac{x_{st} \sin(\omega t - \theta)}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2r\xi)^2}}}_{\text{Kararlı Titreşim}} \quad (3.31)$$

Burada A ve B sabitleri başlangıç koşulları kullanılarak belirlenmelidir.

Çözüm incelendiğinde ilk bölümün sistemin davranışına olan etkisi azalan bir üstel fonksiyon olduğundan zamanla azalır, bu nedenle bu bölüm Geçici Titreşim olarak adlandırılır. İkinci bölüm ise dış yük ile aynı frekansta olan ve zamanla azalmayan kalıcı bir titreşimdir ve bu nedenle Kararlı Titreşim olarak adlandırılır.

Yerdeğiştirmenin kararlı titreşiminden oluşan kısmının dış kuvveti izlemekteki faz farkını gösteren θ Denklem (3.32) ile hesaplanmaktadır.

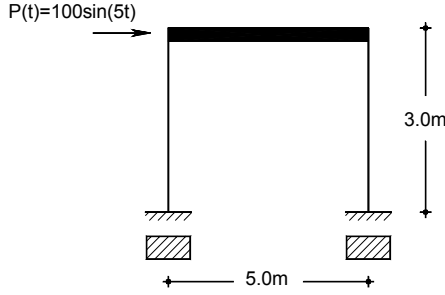
$$\tan \theta = \frac{2\xi r}{1-r^2} \quad (3.32)$$

Örnek 3-2

Şekil 3-14'de verilen tek katlı sönümsüz sistem 3.0m yüksekliğinde ankastre mesnetli iki adet kolon ve rijit bir kiriş olarak modellenmiştir. Toplam kütle $20\text{kNs}^2/\text{m}'$ dir. Kolonlar $0.25\text{m}\times 0.40\text{m}$ boyutlarındadır ($E=3\times 10^7\text{kN/m}^2$). Sisteme rijit kiriş seviyesinde $P(t)=1000\sin 5t$ kN harmonik yük etmektedir.

- Sistemin kararlı titreşiminin genliğini
- Kolonlarda oluşacak en büyük dinamik momenti

hesaplayınız.



Şekil 3-14 Tek serbestlik dereceli sönümsüz sistem

Çözüm:

Denklemin kararlı titreşim bölümü Denklem (3.31)'den aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$x(t) = \frac{x_{st} \sin(\bar{\omega}t - \theta)}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2r\xi)^2}}$$

Verilen sistemde sönüm olmadığı için $\xi = 0$ olur ve bağıntı

$$x(t) = \frac{x_{st} \sin(\bar{\omega}t)}{1 - r^2}$$

olarak sadeleşir.

$$\text{Sistemin rijitliği} \quad k = 2 \cdot \frac{12EI}{h^3} = 2 \cdot \frac{12 \cdot 3 \cdot 10^7 \cdot \frac{0.25 \cdot 0.40^3}{12}}{3^3} = 35555.6 \text{ kN / m}$$

$$\text{Statik yerdeğiştirme} \quad x_{st} = \frac{F_0}{k} = \frac{1000}{35555.6} = 0.0281 \text{ m}$$

$$\text{Doğal Açısal frekans} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{35555.6}{20}} = 42.164 \text{ rad / s}$$

$$r = \frac{\bar{\omega}}{\omega} = \frac{5}{42.164} = 0.1186$$

Kararlı titreşimin zamana bağlı değişimi

$$x(t) = \frac{0.0281 \sin(5t)}{1 - 0.1186^2} = \frac{0.0281 \sin(5t)}{0.9858}$$

Yerdeğiştirmenin en büyük değeri genliğe eşit olduğundan $\sin(5t) = 1$ olduğu durumda

$$x_{max} = \frac{0.0281}{0.9858} = 0.02853m$$

olarak bulunur.

Bu yerdeğiştirme değerinde kolondaki kesme kuvveti değeri ve moment değeri

$$V = \frac{35555.6}{2} \cdot 0.02853 = 507kN \quad M = \frac{V \cdot h}{2} = \frac{507.13 \cdot 3}{2} = 760.7kNm$$

olarak elde edilir.

Tablo 3-3 Harmonik Fonksiyon

t (s)	F(t)=sin 5t	t (s)	F(t)=sin 5t
0.0000	0.0000	0.6912	-0.3090
0.0628	0.3090	0.7540	-0.5878
0.1257	0.5878	0.8168	-0.8090
0.1885	0.8090	0.8796	-0.9511
0.2513	0.9511	0.9425	-1.0000
0.3142	1.0000	1.0053	-0.9511
0.3770	0.9511	1.0681	-0.8090
0.4398	0.8090	1.1310	-0.5878
0.5027	0.5878	1.1938	-0.3090
0.5655	0.3090	1.2566	0.0000
0.6283	0.0000		

SAP2000 Örnek 3-2'de verilen sistemin çözümü:

- SAP2000 programını çalıştırınız.
- Birim bölümünden kN,m,C seçiniz.
- Menüde File-New Model → 2D Frame seçeneğini seçiniz.
 - Number of Stories= 1
 - Number of Bays= 1
 - Story Height= 3
 - Bay Width=5
 - OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set 2D View seçeneğini seçiniz.
 - X-Z Plane seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set Display Options seçeneğini seçiniz.
 - Joints bölümünde Labels kutucuğunu seçili duruma getiriniz
 - Joints bölümünde Invisible kutucuğunu seçili durumdan çıkarın ve OK düğmesine basınız.
- 1 ve 3 numaralı düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Restraints... seçeneğini seçiniz.
 - Ankastrre mesnet tanımı için tüm Translation ve Rotation kutucuklarının tamamını seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Materials... seçeneğini seçiniz.
 - Add New Material... düğmesine basınız.
 - Material Name kutucuğuna C25 yazınız

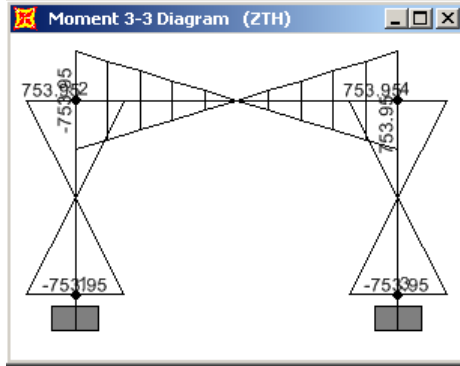
- Material Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz.
- Weight per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.
- Modulus of Elasticity, E kutucuğuna 3E7 yazınız
- Poissons's Ratio, U kutucuğuna 0 yazınız.
- Coefficient of Thermal Expansion, A kutucuğuna 0 yazınız ve iki kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Section Properties-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Add New Property düğmesine basınız.
 - Frame Section Property Type açılır listesinden Concrete seçeneğini seçiniz.
 - Rectangular düğmesine basınız.
 - Section Name kutucuğuna KOLON yazınız.
 - Material açılır listesinden C25'i seçiniz.
 - Depth (t3) kutucuğuna 0.40 yazınız
 - Width (t2) kutucuğuna 0.25 yazınız.
 - Set Modifiers düğmesine basınız
 - Cross-section Area kutucuğuna 10000 yazınız
 - Shear Area in 2 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - 2 kez OK düğmesine basınız.
 - Add Copy of Property düğmesine basınız.
 - Section Name kutucuğuna KIRIS yazınız.
 - Material açılır listesinden C25'i seçiniz.
 - Depth (t3) kutucuğuna 0.60 yazınız
 - Width (t2) kutucuğuna 0.25 yazınız.
 - Set Modifiers düğmesine basınız
 - Cross-section Area kutucuğuna 100000 yazınız
 - Shear Area in 2 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - Moment of Inertia about 3 axis kutucuğuna 1E6 yazınız
 - 3 kez OK düğmesine basınız.
- 2 adet kolonu seçiniz.
- Menüde Assign-Frame-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Listeden KOLON kesitini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Kirişi seçiniz.
- Menüde Assign-Frame-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Listeden KIRIS kesitini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- 2 ve 4 numaralı düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Masses... seçeneğini seçiniz.
 - Local 1 Axis Direction kutucuğuna 10 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Functions-Time History... seçeneğini seçiniz.
 - Açılır listeden User seçeneğini seçiniz.
 - Add New Function düğmesine basınız.
 - Time kutucuğuna 0, Value kutucuğuna 0 yazınız ve Add düğmesine basınız.
 - Tablo 3-2'deki zaman değerlerini Time, yük fonksiyonu değerlerini Value kutucuklarına yazınız ve her yeni değer çiftinden sonra Add düğmesine basınız.
 - Fonksiyonun oluşturulması tamamlanınca 2 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Load Patterns seçeneğini seçiniz.
 - Load Pattern Name kutucuğuna YUK yazınız.
 - Type açılır listesinden OTHER seçeneğini seçiniz

- Add New Load Pattern... düğmesine basınız.
- OK düğmesine basınız.
- 2 numaralı düğüm noktasını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint Loads-Forces... seçeneğini seçiniz.
 - Load Pattern Name listesinde YUK seçeneğini seçiniz.
 - Force Global X kutucuğuna 1000 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Load Cases seçeneğini seçiniz.
 - Add New Load Case... düğmesine basınız
 - Load Case Name kutucuğuna ZTH yazınız.
 - Load Case Type açılır listesinden Time History seçeneğini seçiniz.
 - Time History Motion Type bölümünden Periodic seçeneğini seçiniz.
 - Loads Applied bölümünde Load Name açılır listesinden YUK seçeneğini seçiniz.
 - Function bölümünden FUNC1 seçeneğini seçiniz ve Add düğmesine basınız.
 - Number of Output Time Steps kutucuğuna 20 yazınız.
 - Output Time Step Size kutucuğuna 0.06283 yazınız.
 - Modal Damping bölümünde Modify/Show düğmesine basınız.
 - Constant damping for all Modes seçeneğini seçiniz
 - Constant damping for all Modes kutucuğuna 0 yazınız.
 - 2 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Set Analysis Options... seçeneğini seçiniz.
 - XZ Plane düğmesine basarak UX, UZ, RY serbestliklerinin seçili olmasını sağlayınız.
 - OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Run Analysis... seçeneğini seçiniz.
 - Run Now düğmesine basınız
 - Dosya adı istendiğinde uygun bir ad veriniz.
 - Çözümü yapınız.
- Oluşan yerdeğiştirmeleri görmek için menüden Display-Show Deformed Shape... seçeneğini seçiniz.
 - Case/Combo Name kutucuğundan ZTH seçeneğini seçiniz
 - Multivalued Options bölümünden Envelope (Max or Min) seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız
 - Kat düzeyindeki herhangi bir düğüm noktasına sağ mouse tuşu ile basarak ilgili noktanın yerdeğiştirme ve dönme değerlerini gösteren pencereyi ekrana getiriniz.

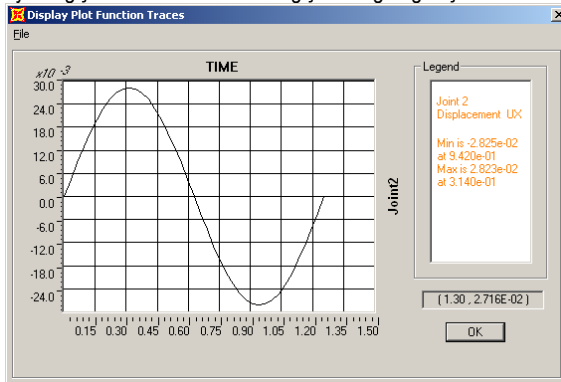
Joint Object 2		Joint Element 2	
	1	2	3
Trans	-0.02827	0.00000	0.00000
Rotn	0.00000	0.00000	0.00000



- Oluşan momentleri görmek için menüden Display>Show Forces/Stresses-Frame Cables seçeneğini seçiniz.
 - Case/Combo Name kutucuğundan ZTH seçeneğini seçiniz
 - Multivalued Options bölümünden Envelope (Range) seçeneğini seçiniz
 - Component bölümünden Moment 3-3 seçeneğini seçiniz
 - Options bölümünden Show Values on Diagram seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız



- Yerdeğıştirmelerin zaman ile değişiminin grafiğini oluşturmak için menüde Display>Show Plot Functions seçeneğini seçiniz.
 - Define Plot Functions... seçeneğini seçiniz.
 - Choose Function Type to Add bölümünden Add Joint Disps/Forces seçeneğini seçiniz ve Add Plot Function... düğmesine basınız
 - Joint ID kutucuğuna 2 yazınız
 - Vector Type bölümünden Displ, Component bölümünden UX seçeneğini seçiniz ve 2 kez OK düğmesine basınız.
 - List of Functions bölümünde Joint2 seçeneğini seçiniz ve Add -> düğmesine basınız.
 - Display düğmesine basarak 2 nolu düğüm noktasının X yönündeki yerdeğirtirmesinin zaman ile değişiminin grafiğini çizdiriniz.

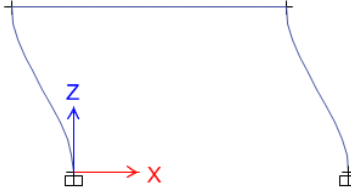


ETABS: Örnek 3-2'de verilen sistemin çözümü:

- ETABS programını çalıştırınız.
- File menüsünde New seçeneğine tıklayınız.
- Use Built-in Settings With: bölümünde
 - Display Units bölümünde Metric SI seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Ekрана gelen ileti kutusunda
 - Add Structural Objects bölümünde Grid Only seçeneğini seçiniz.
 - Grid Dimensions (Plan) bölümünde Uniform Grid Spacing seçeneğini seçiniz.
 - Number of Grid Lines in X Direction kutucuğuna 2 yazınız.
 - Number of Grid Lines in Y Direction kutucuğuna 1 yazınız.
 - Spacing of Grids in X Direction kutucuğuna 5 yazınız.
 - Story Dimensions bölümünde Simple Story Data seçeneğini seçiniz.
 - Number of Stories kutucuğuna 1 yazınız.
 - Typical Story Height kutucuğuna 3 yazınız.
 - Bottom Story Height kutucuğuna 3 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set Elevation View seçeneğini seçiniz.
 - 1 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set Display Options seçeneğini seçiniz.
 - Joint Objects Invisible kutucuğunu seçili durumdan çıkarınız.
 - Object Assignments sekmesine geçiniz.
 - Joint Assignments bölümünde Unique Names kutucuğunu seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Draw- Joint Objects seçeneğini seçiniz
 - Grid sistemini gösteren dikdörtgen bölgede sırasıyla sol alt, sol üst, sağ üst ve sağ alt noktalarına tıklayarak 1, 2, 3 ve 4 nolu düğüm noktalarını oluşturun.
 - Klavyede Esc tuşuna basarak düğüm noktası oluşturma işlemini tamamlayın.
- 1 ve 4 numaralı düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Restraints... seçeneğini seçiniz.
 - Ankastr mesnet tanımı için Translation ve Rotation kutucuklarının tamamını seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Material Properties... seçeneğini seçiniz.
 - Add New Material... düğmesine basınız.
 - Region bölümünde User seçeneğini seçiniz.
 - Material Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
 - Material Name kutucuğuna C25 yazınız.
 - Weight per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.
 - Modulus of Elasticity, E kutucuğuna 30000 yazınız
 - Poissons's Ratio, U kutucuğuna 0 yazınız.
 - Coefficient of Thermal Expansion, A kutucuğuna 0 yazınız ve iki kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Section Properties-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Add New Property... düğmesine basınız.
 - Concrete bölümünde dikdörtgen kesiti oluşturmak için Rectangular Section simgesine basınız.
 - Material açılır listesinden C25'1 seçiniz.
 - Depth kutucuğuna 400 yazınız
 - Width kutucuğuna 250 yazınız.
 - Modify/Show Modifiers... düğmesine basınız
 - Cross-section Area kutucuğuna 10000 yazınız

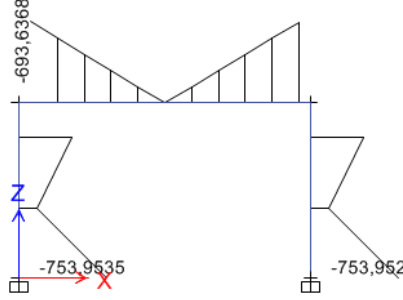
- Shear Area in 2 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - OK düğmesine basınız.
 - Property Name kutucuğuna KOLON yazınız.
 - OK düğmesine basınız.
 - Add Copy of Property düğmesine basınız.
 - Material açılır listesinden C25'i seçiniz.
 - Depth kutucuğuna 600 yazınız
 - Width kutucuğuna 250 yazınız.
 - Modify/Show Modifiers... düğmesine basınız
 - Cross-section Area kutucuğuna 100000 yazınız
 - Shear Area in 2 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - Moment of Inertia about 3 axis kutucuğuna 1E6 yazınız
 - OK düğmesine basınız
 - Property Name kutucuğuna KIRIS yazınız.
 - 2 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Draw→Draw Beam/Column/Brace Objects→Draw Beam/Column/Brace (Plan, Elevation,3D) seçeneğini seçiniz.
- Ekranın sol altındaki Properties of Object ileti kutusunda Property listesinden KOLON kesitini seçiniz.
- Önce 1 ve sonra 2 nolu düğüm noktalarına tıklayarak sol kolonu oluşturunuz.
- Fare sağ tuşuna basarak geçici olarak eleman oluşturmayı tamamlayınız.
- Ekranın sol altındaki Properties of Object ileti kutusunda Property listesinden KIRIS kesitini seçiniz.
- Önce 2 ve sonra 3 nolu düğüm noktalarına tıklayarak kirişi oluşturunuz.
- Fare sağ tuşuna basarak geçici olarak eleman oluşturmayı tamamlayınız.
- Ekranın sol altındaki Properties of Object ileti kutusunda Property listesinden KOLON kesitini seçiniz.
- Önce 4 ve sonra 3 nolu düğüm noktalarına tıklayarak sağ kolonu oluşturunuz.
- Klavyede Esc tuşuna basarak çubuk eleman oluşturma işlemini tamamlayınız.
- 2 ve 3 numaralı düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Additional Mass... seçeneğini seçiniz.
 - Direction X,Y kutucuğuna 10000 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Functions-Time History... seçeneğini seçiniz.
 - Açılır listeden User seçeneğini seçiniz.
 - Add New Function düğmesine basınız.
 - Time kutucuğuna 0, Value kutucuğuna 0 yazınız ve Add düğmesine basınız.
 - Tablo 3-2'deki zaman değerlerini Time, yük fonksiyonu değerlerini Value kutucuklarına yazınız ve her yeni değer çiftinden sonra Add düğmesine basınız.
 - Fonksiyonun oluşturulması tamamlanınca 2 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Load Patterns seçeneğini seçiniz.
 - Load Pattern Name kutucuğuna YUK yazınız.
 - Type açılır listesinden OTHER seçeneğini seçiniz
 - Add New Load ... düğmesine basınız.
 - Dead ve Live yüklerini Delete Load düğmesine basarak siliniz.
 - OK düğmesine basınız.
- 2 numaralı düğüm noktasını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint Loads-Force... seçeneğini seçiniz.


- Load Pattern Name listesinde YUK seçeneğini seçiniz.
- Force Global X kutucuğuna 1000 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Load Cases seçeneğini seçiniz.
 - Add New Case... düğmesine basınız
 - Load Case Name kutucuğuna ZTH yazınız.
 - Load Case Type açılır listesinden Time History seçeneğini seçiniz.
 - Time History Motion Type bölümünden Periodic seçeneğini seçiniz.
 - Loads Applied bölümünde Add düğmesine basınız.
 - Load Name açılır listesinden YUK seçeneğini seçiniz.
 - Function bölümünden Func1 seçeneğini seçiniz.
 - Number of Output Time Steps kutucuğuna 20 yazınız.
 - Output Time Step Size kutucuğuna 0.06283 yazınız.
 - Modal Damping bölümünde Modify/Show düğmesine basınız.
 - Constant damping for all Modes seçeneğini seçiniz
 - Constant damping for all kutucuğuna 0 yazınız.
 - 3 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Set Active Degrees of Freedom... seçeneğini seçiniz.
 - XZ Plane düğmesine basarak UX, UZ, RY serbestliklerinin seçili olmasını sağlayınız.
 - OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Run Analysis... seçeneğini seçiniz.
 - Dosya adı istendiğinde uygun bir dosya adı veriniz
 - Çözümü yapınız.
- Oluşan yerdeğiştirmeleri görmek için menüden Display-Show Deformed Shape... seçeneğini seçiniz.
 - Load Case/Load Combination/Modal Case bölümünde Case seçeneğini seçiniz.
 - Case kutucuğundan ZTH seçeneğini seçiniz
 - Max seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız
 - Kat düzeyindeki herhangi bir düğüm noktasına sağ mouse tuşu ile basarak ilgili noktanın yerdeğiştirme ve dönme değerlerini gösteren pencereyi ekrana getiriniz.

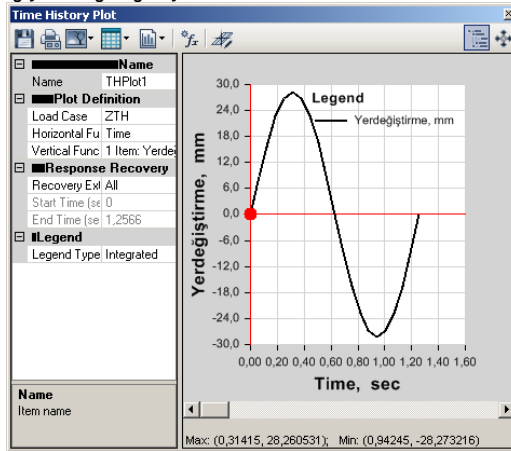


Point Displacements			
Object ID			
Tower and Story	Label	Unique Name	
Story1	1	2	
Point Displacement and Drift			
	X	Y	Z
Translation, mm	-28,3	0,0	-3,016E-05
Rotation, rad	0,000000	-1,672E-08	0,000000
Drift	0,009424	0,000000	

- Oluşan momentleri görmek için menüden Display-Force/Stress Daigrams – Frame/Pier/Spandrel/Link Forces... seçeneğini seçiniz.
 - Case kutucuğundan ZTH seçeneğini ve ortadaki kutucuktan Absolute Max seçeneklerini seçiniz
 - Component bölümünden Moment 3-3 seçeneğini seçiniz
 - Display Options bölümünden Show Values at Controlling Stations on Diagram seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız



- Yerdeğİştİrmelerin zaman ile değİşiminin grafiğini oluşturmak için menüde Display- Plot Functions seçeneğini seçiniz.
 -  Define Plot Functions... seçeneğini seçiniz.
 - Name kutucuğuna Yerdeğİştirme yazınız.
 - Plot Function Type listesinden Joint Displacement seçeneğini seçiniz.
 - Story listesinden Story1'İ seçiniz.
 - Joint Label listesinden 2 seçeneğini seçiniz.
 - Repsonse Type açılır listesinden Displacement seçeneğini seçiniz.
 - Component listesinden Ux seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
 - Kat hizasındaki sağ düğüm noktasının X yönündeki yerdeğİştİrmesinin zaman ile değİşiminin grafiğini çizdiriniz.



Tablo 3-4 Sonuçların karşılaştırılması

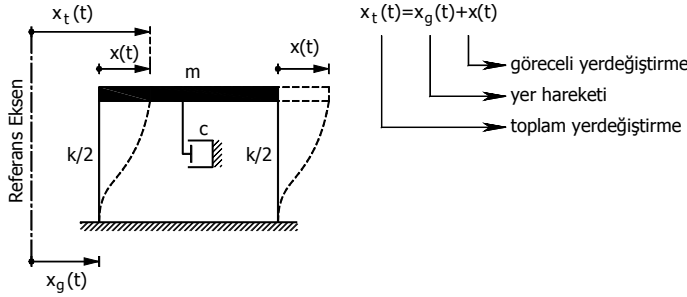
	Teorik sonuç	SAP2000	ETABS
Yerdeğiştirme (m)	0.02853	0.02827	0.0283
Moment (kNm)	760.7	753.9	753.9

3.12. Yer Hareketi Etkisindeki Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistemin Titreşimi

Dış yükün etkilediği, yalnızca depremin neden olduğu yer hareketinin bulunduğu Şekil 3-15'de gösterilen tek serbestlik dereceli sistemde yerdeğiştirme bileşeni $x_g(t)$, hızı $\dot{x}_g(t)$ ve ivmesi $\ddot{x}_g(t)$ olsun. Bu yer hareketi etkisinde zemin $x_g(t)$ yerdeğiştirmesini yaparken yapının üst noktası zemine göre göreceli olarak $x(t)$ yerdeğiştirmesini yapar. Viskoz veya hıza bağımlı sönümün bulunduğu sistemde hareket denklemleri Denklem (3.33)'deki gibidir.

$$m(\ddot{x} + \ddot{x}_g) + c\dot{x} + kx = 0 \quad (3.33)$$

Burada m, c ve k, sırasıyla kütle, sönüm katsayısı ve toplam rijitliktir.



Şekil 3-15 Yer hareketi etkisindeki TSD sönümlü sistem

Denklem (3.33) D'Alembert prensibi uyarınca

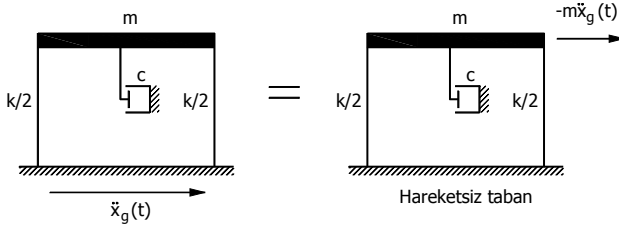
$$(Atalet kuvvetleri) + (Sönüm Kuvvetleri) + (Yay Kuvvetleri) = 0$$

olarak değerlendirilebilir. Atalet kuvveti toplam ivmeye bağlı olduğu halde, sistemin rijit hareketi iç kuvvet oluşturmadığından sönüm kuvvetleri ve yay kuvvetleri göreceli hız ve yerdeğiştirme kullanılarak elde edilmektedir.

Denklem (3.33) daha çok kullanılan hali ile

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{x}_g \quad (3.34)$$

şekindedir. Bu denklem Denklem (3.29) ile karşılaştırıldığında sistemin yer hareketi yapmayan fakat $p(t) = -m\ddot{x}_g(t)$ dış yükü etkisindeki bir sistem ile özdeş olduğu görülmektedir. Bu özdeşlik yer hareketi etkisinde çözüm yerine bununla özdeş olan ve dış yük olarak etkiyen etkin deprem kuvveti etkisinde çözümün kullanılabilmesine olanak tanımaktadır, Şekil 3-16.



Şekil 3-16 Yer hareketi ile dış yük ilişkisi

Denklem (3.34)'de eşitliğin her iki tarafı kütleyle bölünürse aşağıdaki hali alacaktır.

$$\ddot{x} + 2\xi\omega\dot{x} + \omega^2 x = -\ddot{x}_g \quad (3.35)$$

Bu denklemin çözümü yer hareketine karşı sistemde oluşacak yerdeğiştirmelerin (yerdeğiştirme tepkisinin) zamana bağlı değişimini verecektir. Çözümün yer ivmesinin özelliğine, yapının sönümsüz durumdaki doğal açılmal frekansına (dolayısıyla doğal periyoduna) ve sönüm oranına bağlı olduğu görülmektedir. Denklem çözümü

$$x(t, \omega, \xi) = \frac{1}{\omega_D} \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega_D(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau = \frac{1}{\omega_D} R(t, \omega, \xi) \quad (3.36)$$

şeklinde. Bu denklem Duhamel integrali olarak adlandırılmaktadır.

Uygulamada küçük sönüm oranları için ($\xi < 0.20$) ω_D ile ω eşit alınabilir. Denklem (3.36) yerdeğiştirme tepkisini gösterdiğinden efektif deprem kuvveti

$$kx = m\omega^2 x = m\omega R$$

olarak ve

$$\omega^2 x = \omega R$$

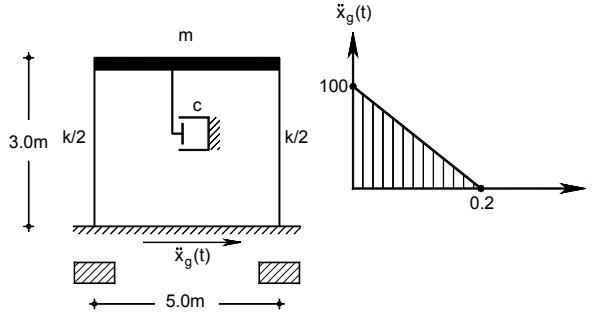
efektif ivme olarak değerlendirilebilir.

Örnek 3-3

Şekil 3-17'de verilen tek katlı sönümlü sistem, 3.0m yüksekliğinde ankastre mesnetli iki adet kolon ve rijit bir kiriş olarak modellenmiştir. Toplam kütle $20\text{kNs}^2/\text{m}^2$ 'dir. Kolonlar $0.25\text{m} \times 0.40\text{m}$ boyutlarındadır ($E=3 \times 10^7\text{kN/m}^2$). Sistemde verilen yer ivmesi etkisinde

- Yerdeğiştirmelerinin zaman ile değişimini
- Oluşacak en büyük yerdeğiştirme değerini
- Kolonlarda oluşacak en büyük dinamik momenti

hesaplayınız.



Şekil 3-17 Yer hareketi etkisindeki TSD sönümlü sistem

Çözüm:

$$\text{Sistemin rijitliği} \quad k = 2 \cdot \frac{12EI}{h^3} = 2 \cdot \frac{12 \cdot 3 \cdot 10^7 \cdot \frac{0.25 \cdot 0.40^3}{12}}{3^3} = 35555.6 \text{ kN/m}$$

$$\text{Doğal Açısal frekans} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{35555.6}{20}} = 42.164 \text{ rad/s}$$

Yer ivmesini gösteren fonksiyon basit bir fonksiyon olduğundan Duhamel integrali kullanılarak analitik olarak çözülebilmektedir.

Söz konusu sistem için Duhamel integrali

$t \leq 0.2s$ için

$$\ddot{x}_g(t) = 100 - 500t$$

$$\omega_D = \omega \sqrt{1 - \xi^2} = 42.164 \sqrt{1 - 0.05^2} = 42.11$$

$$\xi\omega = 0.05 \cdot 42.164 = 2.108$$

$$x(t) = \frac{1}{42.11} \int_0^t (100 - 500\tau) e^{-2.108(t-\tau)} \sin 42.11(t-\tau) d\tau$$

olarak yazılabilir.

$$x(t) = e^{-2.108t} (0.0569 \cos(42.11t) - 0.00383 \sin(42.11t)) + 0.281t - 0.0569$$

$$\dot{x}(t) = e^{-2.108t} (-0.2813 \cos(42.11t) - 2.3888 \sin(42.11t)) + 0.281$$

$t > 0.2s$ sistem $t=0.2s$ 'deki hız ve yerdeğiştirmeyi başlangıç koşulu kabul ederek serbest titreşim hareketi yapacaktır.

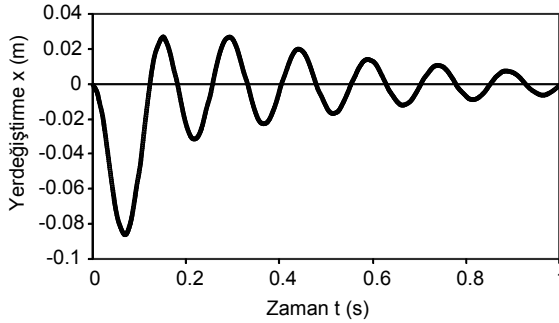
$$x(0.2) = -0.02287$$

$$\dot{x}(0.2) = -0.9403$$

Sönümlü sistemin serbest titreşim durumunda yerdeğiştirmenin zamana bağlı değişimi Denklem (3.36)'da t yerine $(t-0.2)$ yazılarak elde edilir.

$$x(t) = e^{-\xi\omega(t-0.2)} \left(x_o \cos \omega_D(t-0.2) + \frac{\dot{x}_o + x_o \xi \omega}{\omega_D} \sin \omega_D(t-0.2) \right)$$

Yerdeğiştirmenin mutlak değerce en büyük değeri 0.07s'de 0.08605m ($t \leq 0.2s$) olarak elde edilmektedir.



Zorlayıcı etki ortadan kalktıktan sonra sistemin serbest titreşim hareketi yaptığı ve sönümün etkisiyle genliğin azaldığı gözlemlenmektedir.

Kolonda oluşan kesme kuvveti ve moment değerleri aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$V_{kolon} = k_{kolon} \cdot x = \frac{3555.6}{2} \cdot 0.08605 = 1529.8kN$$

$$M_{kolon} = V_{kolon} \cdot \frac{h}{2} = 1529.8 \cdot \frac{3}{2} = 2294.7kNm$$

3.13. Newmark Sayısal İntegrasyon Yöntemi ile Çözüm

Deprem ivmesi zamana bağlı olarak çok düzensiz bir değişim gösterdiğinden çözümün analitik olarak elde edilmesi olası olmamakta ancak sayısal integrasyon ile sonuç elde edilebilmektedir. Burada kullanılan sayısal integrasyon yöntemlerinden biri olan Newmark yöntemi açıklanacaktır.

Hareket denklemi

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = p(t) \quad (3.37)$$

olarak yazılır ve normalize edilirse

$$\ddot{x}(t) + 2\xi\omega\dot{x}(t) + \omega^2 x(t) = p(t)/m \quad (3.38)$$

halini almaktadır. Burada ek iki bağıntı bulunmaktadır.

$$\dot{x}(t) = \frac{dx(t)}{dt}, \quad \ddot{x}(t) = \frac{d\dot{x}(t)}{dt} = \frac{d^2 x(t)}{dt^2} \quad (3.39)$$

Sayısal çözümlenelerde dış yük ve sistemin davranışı küçük zaman adımlarında ayrıklaştırılmaktadır ve bu işlemin diferansiyel denklem yerine integral denklemi üzerinde yapılması daha uygun olmaktadır. Hız ve yerdeğiştirme için denklem (3.40) yazılabilir.

$$\dot{x}(t) = \dot{x}(t_o) + \int_{t_o}^t \ddot{x}(\tau) d\tau \quad x(t) = x(t_o) + \int_{t_o}^t \dot{x}(\tau) d\tau \quad (3.40)$$

$t_{i+1} = t$ $t_i = t_o$ $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ olsun

Bu durumda zaman adımının sonundaki hız ve yerdeğiştirme değerleri

$$\dot{x}_{i+1} = \dot{x}_i + \int_{t_i}^{t_{i+1}} \ddot{x}(\tau) d\tau \quad x_{i+1} = x_i + \int_{t_i}^{t_{i+1}} \dot{x}(\tau) d\tau \quad (3.41)$$

şeklinde yazılabilir.

İntegrali küçük parçalar ile temsil edebilmek için sürekli olan $\ddot{x}(t)$ ivme fonksiyonunun yaklaşık olarak tanımlanması gerekmektedir. Sürekli bir fonksiyonu küçük parçalar ile temsil eden bir çok yöntem bulunmakla birlikte yapı mühendisliğinde üç tanesi çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar sabit ivme, sabit ortalama ivme ve doğrusal ivme yöntemleridir.

Sabit ivme yönteminde zaman adımı aralığında (t_i, t_{i+1}) ivmenin sabit olduğu ve zaman adımının başlangıcındaki değere eşit olduğu kabul edilmektedir.

$$\dot{x}(t) = \dot{x}(t_i) = \dot{x}_i \quad t_i \leq t < t_{i+1} \quad (3.42)$$

Bu durumda hız ve yerdeğiştirme değerleri

$$\dot{x}_{i+1} = \dot{x}_i + \int_{t_i}^{t_{i+1}} \ddot{x}_i dt = \dot{x}_i + \ddot{x}_i \Delta t \quad (3.43)$$

$$x_{i+1} = x_i + \int_{t_i}^{t_{i+1}} [\dot{x}_i + \ddot{x}_i (t - t_i)] dt = x_i + \dot{x}_i \Delta t + \frac{1}{2} \ddot{x}_i (\Delta t)^2 \quad (3.44)$$

Bağıntıları ile elde edilebilir. Denklemlerin sağ taraflarının yalnızca i zaman adımındaki değerlere bağlı olduğu gözlemlenebilir.

Sabit ortalama ivme yönteminde zaman adımı aralığında (t_i, t_{i+1}) ivmenin sabit olduğu ve zaman adımının başlangıcındaki ve bitişindeki değerlerin ortalamasına eşit olduğu kabul edilmektedir.

$$\ddot{x}(t) = \frac{1}{2} (\ddot{x}(t_i) + \ddot{x}(t_{i+1})) = \frac{1}{2} (\ddot{x}_i + \ddot{x}_{i+1}) \quad t_i \leq t < t_{i+1} \quad (3.45)$$

Bu durumda hız ve yerdeğiştirme değerleri

$$\dot{x}_{i+1} = \dot{x}_i + \int_{t_i}^{t_{i+1}} \frac{1}{2} (\ddot{x}_i + \ddot{x}_{i+1}) dt = \dot{x}_i + \frac{1}{2} \ddot{x}_i \Delta t + \frac{1}{2} \ddot{x}_{i+1} \Delta t \quad (3.46)$$

$$x_{i+1} = x_i + \int_{t_i}^{t_{i+1}} \left[\dot{x}_i + \frac{1}{2} (\ddot{x}_i + \ddot{x}_{i+1}) (t - t_i) \right] dt = x_i + \dot{x}_i \Delta t + \frac{1}{4} \ddot{x}_i (\Delta t)^2 + \frac{1}{4} \ddot{x}_{i+1} (\Delta t)^2 \quad (3.47)$$

bağıntıları ile elde edilebilir.

Doğrusal ivme yönteminde zaman adımı aralığında (t_i, t_{i+1}) ivmenin zaman adımının başlangıcından bitişine kadar doğrusal değiştiği kabul edilmektedir.

$$\ddot{x}(t) = \ddot{x}(t_i) + \left[\frac{\ddot{x}(t_{i+1}) - \ddot{x}(t_i)}{t_{i+1} - t_i} \right] (t - t_i) = \ddot{x}(t_i) + \left[\frac{\ddot{x}_{i+1} - \ddot{x}_i}{t_{i+1} - t_i} \right] (t - t_i) \quad t_i \leq t < t_{i+1} \quad (3.48)$$

Bu durumda hız ve yerdeğiştirme değerleri

$$\dot{x}_{i+1} = \dot{x}_i + \int_{t_i}^{t_{i+1}} \left[\ddot{x}_i + \left(\frac{\ddot{x}_{i+1} - \ddot{x}_i}{t_{i+1} - t_i} \right) (t - t_i) \right] dt = \dot{x}_i + \frac{1}{2} \ddot{x}_i \Delta t + \frac{1}{2} \ddot{x}_{i+1} \Delta t \quad (3.49)$$

$$x_{i+1} = x_i + \int_{t_i}^{t_{i+1}} \left[\dot{x}_i + \ddot{x}_i (t - t_i) + \frac{1}{2} \left(\frac{\ddot{x}_{i+1} - \ddot{x}_i}{t_{i+1} - t_i} \right) (t - t_i)^2 \right] dt \quad (3.50)$$

$$x_{i+1} = x_i + \dot{x}_i \Delta t + \frac{1}{3} \ddot{x}_i \Delta t^2 + \frac{1}{6} \ddot{x}_{i+1} \Delta t^2 \quad (3.51)$$

bağıntıları ile elde edilebilir.

Yapı mühendisliğinde en yaygın olarak kullanılan Newmark- β yöntemi yukarıda anlatılan yöntemlerin genelleştirilmesi ile elde edilmektedir. Hareket denklemi ve yukarıdaki bağıntılar kullanılarak

$$\ddot{x}_{i+1} + 2\xi\omega\dot{x}_{i+1} + \omega x_{i+1} = p_{i+1} / m \quad (3.52)$$

$$\dot{x}_{i+1} = \dot{x}_i + (1 - \gamma)\ddot{x}_i\Delta t + \gamma\ddot{x}_{i+1}\Delta t \quad (3.53)$$

$$x_{i+1} = x_i + \dot{x}_i\Delta t + \left(\frac{1}{2} - \beta\right)\ddot{x}_i\Delta t^2 + \beta\ddot{x}_{i+1}\Delta t^2 \quad (3.54)$$

denklemleri yazılabilir. Denklemlerin aşağıdaki durumlarda

$\gamma=0$ ve $\beta=0$ için sabit ivme

$\gamma=1/2$ ve $\beta=1/4$ için sabit ortalama ivme

$\gamma=1/2$ ve $\beta=1/6$ için doğrusal ivme

yöntemlerinde verilen bağıntılara karşı geldiği görülebilir. Yapı mühendisliğinde sayısal stabiliteyi iyi sağladığı için bu üç yöntem içinde sabit ortalama ivme yöntemi ($\gamma=1/2$ ve $\beta=1/4$) daha çok tercih edilmektedir. Sayısal analiz yöntemi kullanıldığında zaman aralığının değerinde çözümün duyarlılığını etkilemektedir. Araştırmalar sonucu zaman aralığı için en fazla yapı periyodunun $1/10$ 'u mertebesinde bir değer ($\Delta t \leq T/10$) kullanılmasının oldukça iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Deprem kayıtları genellikle 0.005 veya 0.01 zaman aralıklarında kaydedilmektedir. Bu değerlerin zaman adımı olarak kullanılması çözüm duyarlılığı bakımından çoğu zaman yeterli olmaktadır.

$$\Delta x_i = x_{i+1} - x_i \quad (3.55)$$

$$\Delta \dot{x}_i = \dot{x}_{i+1} - \dot{x}_i \quad (3.56)$$

$$\Delta \ddot{x}_i = \ddot{x}_{i+1} - \ddot{x}_i \quad (3.57)$$

$$\Delta p_i = p_{i+1} - p_i \quad (3.58)$$

$$\Delta \dot{x}_i = \ddot{x}_i\Delta t + \Delta \ddot{x}_i\gamma\Delta t \quad (3.59)$$

$$\Delta x_i = \dot{x}_i\Delta t + \frac{\Delta t^2}{2}\ddot{x}_i + \beta\Delta t^2\Delta \ddot{x}_i \quad (3.60)$$

Denklem (3.60) ivme değişimine göre düzenlenirse

$$\Delta \ddot{x}_i = \frac{1}{\beta\Delta t^2}\Delta x_i - \frac{1}{\beta\Delta t}\dot{x}_i - \frac{1}{2\beta}\ddot{x}_i \quad (3.61)$$

şeklinde yazılabilir.

Denklem (3.61) , denklem (3.59)'da yerine yazılırsa

$$\Delta \dot{x}_i = \frac{\gamma}{\beta\Delta t}\Delta x_i - \frac{\gamma}{\beta}\dot{x}_i + \Delta t\left(1 - \frac{\gamma}{2\beta}\right)\ddot{x}_i \quad (3.62)$$

denklemleri elde edilir.

Artımsal olarak hareket denklemi yazılırsa

$$m\Delta \ddot{x}_i + c\Delta \dot{x}_i + k\Delta x_i = \Delta p_i \quad (3.63)$$

denklemleri elde edilir.

Denklem (3.63)'de (3.61) ve (3.62) eşitlikleri yerine yazılırsa

$$m\left(\frac{1}{\beta\Delta t^2}\Delta x_i - \frac{1}{\beta\Delta t}\dot{x}_i - \frac{1}{2\beta}\ddot{x}_i\right) + c\left(\frac{\gamma}{\beta\Delta t}\Delta x_i - \frac{\gamma}{\beta}\dot{x}_i + \Delta t\left(1 - \frac{\gamma}{2\beta}\right)\ddot{x}_i\right) + k\Delta x_i = \Delta p_i \quad (3.64)$$

denklemleri elde edilir ve

$$\hat{k} = k + c\frac{\gamma}{\beta\Delta t} + m\frac{1}{\beta\Delta t^2} \quad (3.65)$$

$$\Delta \widehat{p}_i = \Delta p_i + \left(m \frac{I}{\beta \Delta t} + c \frac{\gamma}{\beta} \right) \dot{x}_i + \left[m \frac{I}{2\beta} + c \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - I \right) \right] \ddot{x}_i \quad (3.66)$$

düzenlemeleri yapılarak

$$\widehat{k} \Delta x_i = \Delta \widehat{p}_i \quad (3.67)$$

eşitliği elde edilebilir. Bu eşitlikteki \widehat{k} ve $\Delta \widehat{p}_i$ büyüklükleri sistem özellikleri m, k, c ; çözüm yöntemi değişkenleri γ ve β , zaman adımının başlangıcındaki ivme ve hız değerleri kullanılarak hesaplanabilmektedir.

Zaman adımındaki yerdeğiştirme artımı (3.68) bağıntısıyla hesaplanabilmektedir.

$$\Delta x_i = \frac{\Delta \widehat{p}_i}{\widehat{k}} \quad (3.68)$$

Δx_i hesaplandıktan sonra (3.61) ve (3.62) denklemleri kullanılarak $\Delta \dot{x}_i$ ve $\Delta \ddot{x}_i$ hesaplanabilir. Buradan da (3.55)-(3.57) eşitlikleri kullanılarak x_{i+1} , \dot{x}_{i+1} , \ddot{x}_{i+1} değerleri hesaplanabilir.

İvme değeri \ddot{x}_{i+1} denklem (3.69) kullanılarak da hesaplanabilir.

$$\ddot{x}_{i+1} = \frac{p_{i+1} - c\dot{x}_{i+1} - kx_{i+1}}{m} \quad (3.69)$$

Tablo 3-5 Newmark Yöntemi ile çözümde izlenen adımlar [30]

1 Başlangıç hesapları

$$1.1 \quad \ddot{x}_0 = \frac{p_0 - c\dot{x}_0 - kx_0}{m}$$

1.2 Zaman adımının seçimi Δt

$$1.3 \quad \widehat{k} = k + c \frac{\gamma}{\beta \Delta t} + m \frac{I}{\beta \Delta t^2}$$

$$1.4 \quad a = m \frac{I}{\beta \Delta t} + c \frac{\gamma}{\beta} \quad b = m \frac{I}{2\beta} + c \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - I \right)$$

2 Her zaman adımı için hesaplama , i

$$2.1 \quad \Delta \widehat{p}_i = \Delta p_i + a\dot{x}_i + b\ddot{x}_i$$

$$2.2 \quad \Delta x_i = \frac{\Delta \widehat{p}_i}{\widehat{k}}$$

$$2.3 \quad \Delta \dot{x}_i = \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \Delta x_i - \frac{\gamma}{\beta} \dot{x}_i + \Delta t \left(I - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \ddot{x}_i$$

$$2.4 \quad \Delta \ddot{x}_i = \frac{I}{\beta \Delta t^2} \Delta x_i - \frac{I}{\beta \Delta t} \dot{x}_i - \frac{I}{2\beta} \ddot{x}_i$$

$$2.5 \quad x_{i+1} = x_i + \Delta x_i, \quad \dot{x}_{i+1} = \dot{x}_i + \Delta \dot{x}_i, \quad \ddot{x}_{i+1} = \ddot{x}_i + \Delta \ddot{x}_i$$

3 Bir sonraki zaman adımı için i yerine i+1 koyarak 2.1 ile 2.5 arasındaki işlemlerin tekrarlanması.

Tablo 3-5'de dış yük yerine yer hareketinin bulunması durumunda Denklem (3.34) uyarınca p_i yükü yerine $-m\ddot{x}_{gi}$ kullanılmalıdır. Tabloda hesaplanan yerdeğiştirme, hız ve ivme değerleri yere göre bağlı

değerlerdir. Toplam hız ve ivme değerleri $\dot{x}_i^f = \dot{x}_i + \dot{x}_{gi}$, $\ddot{x}_i^f = \ddot{x}_i + \ddot{x}_{gi}$ olarak hesaplanabilir.

Örnek 3-4:

Şekil 3-17'de verilen sistemin davranışını 0.25s süresi boyunca Newmark Yöntemi ile belirleyiniz.

Çözüm:

$$\gamma = \frac{1}{2} \quad \beta = \frac{1}{4} \text{ seçilerek ortalama ivme yöntemi kullanılacaktır.}$$

Tablo 3-6 Ortalama ivme yöntemi ile sayısal çözüm

t_i	\ddot{x}_g	\ddot{x}_i (Adım 2.5)	$\Delta \hat{p}_i$ (Adım 2.1)	Δx_i (Adım 2.2)	$\Delta \dot{x}_i$ (Adım 2.3)	$\Delta \ddot{x}_i$ (Adım 2.4)	\dot{x}_i (Adım 2.5)	x_i (Adım 2.5)
0	100	-100.000	-3900	-0.0046	-0.9150	16.9919	0.0000	0.0000
0.01	95	-83.008	-10695	-0.0125	-0.6792	30.1690	-0.9150	-0.0046
0.02	90	-52.839	-15037	-0.0176	-0.3394	37.7911	-1.5943	-0.0171
0.03	85	-15.048	-16298	-0.0191	0.0436	38.8064	-1.9337	-0.0348
0.04	80	23.758	-14390	-0.0169	0.4041	33.3068	-1.8902	-0.0539
0.05	75	57.065	-9756	-0.0114	0.6830	22.4678	-1.4860	-0.0708
0.06	70	79.533	-3279	-0.0038	0.8369	8.3090	-0.8031	-0.0822
0.07	65	87.842	3890	0.0046	0.8450	-6.6758	0.0338	-0.0861
0.08	60	81.166	10526	0.0123	0.7119	-19.9538	0.8789	-0.0815
0.09	55	61.212	15543	0.0182	0.4652	-29.3772	1.5908	-0.0691
0.10	50	31.835	18168	0.0213	0.1507	-33.5263	2.0560	-0.0509
0.11	45	-1.691	18058	0.0212	-0.1765	-31.9175	2.2067	-0.0296
0.12	40	-33.609	15340	0.0180	-0.4613	-25.0470	2.0302	-0.0084
0.13	35	-58.656	10570	0.0124	-0.6579	-14.2695	1.5689	0.0096
0.14	30	-72.925	4625	0.0054	-0.7369	-1.5376	0.9110	0.0220
0.15	25	-74.463	-1457	-0.0017	-0.6899	10.9470	0.1741	0.0274
0.16	20	-63.516	-6654	-0.0078	-0.5296	21.1111	-0.5158	0.0257
0.17	15	-42.405	-10136	-0.0119	-0.2873	27.3507	-1.0454	0.0179
0.18	10	-15.054	-11389	-0.0134	-0.0066	28.7801	-1.3327	0.0060
0.19	5	13.726	-10292	-0.0121	0.2640	25.3511	-1.3394	-0.0074
0.2	0	39.077	-7221	-0.0085	0.4565	13.1356	-1.0754	-0.0194
0.21	0	52.213	-2967	-0.0035	0.5417	3.9043	-0.6189	-0.0279
0.22	0	56.117	1614	0.0019	0.5331	-5.6131	-0.0773	-0.0314
0.23	0	50.504	5744	0.0067	0.4360	-13.8173	0.4559	-0.0295
0.24	0	36.687	8752	0.0103	0.2699	-19.3916	0.8918	-0.0228
0.25	0	17.295					1.1617	-0.0125

Başlangıç Hesapları

$$x_o = 0 \quad \dot{x}_o = 0 \quad p_o = -m\ddot{x}_{go} = -2000 \quad \ddot{x}_o = \frac{p_o - c\dot{x}_o - kx_o}{m} = -100 \quad \Delta t = 0.01s$$

$$\hat{k} = k + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} c + \frac{I}{\beta \Delta t^2} m \quad \hat{k} = k + \frac{2}{\Delta t} c + \frac{4}{\Delta t^2} m = 35555.6 + \frac{2}{0.01} 84.33 + \frac{4}{0.01^2} 20 = 852421$$

$$a = \frac{I}{\beta \Delta t} m + \frac{\gamma}{\beta} c \quad a = \frac{4}{\Delta t} m + 2c = \frac{4}{0.01} 20 + 2 \cdot 84.33 = 8168.65$$

$$b = \frac{I}{2\beta} m + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - I \right) c \quad b = 2m = 40$$

Her adımda yeniden hesaplanacak bölüm

$$\Delta \hat{p}_i = \Delta p_i + a \dot{u}_i + b \ddot{u}_i \quad \Delta \hat{p}_i = -m \Delta \ddot{x}_g + 8168.65 \dot{x}_i + 40 \ddot{x}_i$$

$$\Delta x_i = \frac{\Delta \hat{p}_i}{\hat{k}} \quad \Delta x_i = \frac{\Delta \hat{p}_i}{852421}$$

$$\text{Denklem (3.62) 'den } \Delta \dot{x}_i = \frac{2}{\Delta t} \Delta x_i - 2 \dot{x}_i = 200 \Delta x_i - 2 \dot{x}_i$$

$$\text{Denklem (3.61) 'den } \Delta \ddot{x}_i = \frac{4}{\Delta t^2} (\Delta x_i - \Delta t \dot{x}_i) - 2 \ddot{x}_i = 4000 (\Delta x_i - 0.01 \dot{x}_i) - 2 \ddot{x}_i$$

Çözüm 0.25s zamanına kadar Tablo 3-6'de verilmektedir. Yerdeğiştirmenin mutlak değerce en büyük değeri 0.07s'de 0.0861m olarak elde edilmektedir.



Örnek 3-3'de verilen sistemin çözümünü yapınız.

- SAP2000 programını çalıştırınız.
- Birim bölümünden kN,m,C seçiniz.
- Menüde File-New Model → 2D Frame seçeneğini seçiniz.
 - Number of Stories= 1
 - Number of Bays= 1
 - Story Height= 3
 - Bay Width=5
 - OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set 2D View seçeneğine seçiniz.
 - X-Z Plane seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set Display Options seçeneğini seçiniz.
 - Joints bölümünde Labels kutucuğunu seçili duruma getiriniz
 - Joints bölümünde Invisible kutucuğunu seçili durumdan çıkarın ve OK düğmesine basınız.
- 1 ve 3 numaralı düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Restraints... seçeneğini seçiniz.
 - Ankastre mesnet tanımı için Translation ve Rotation kutucuklarının tamamını seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Materials... seçeneğini seçiniz.
 - Add New Material... düğmesine basınız.
 - Material Name kutucuğuna C25 yazınız
 - Material Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz.
 - Weight per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.
 - Modulus of Elasticity, E kutucuğuna 3E7 yazınız
 - Poissons's Ratio, U kutucuğuna 0 yazınız.

- Coefficient of Thermal Expansion, A kutucuğuna 0 yazınız ve iki kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Section Properties-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Add New Property düğmesine basınız.
 - Frame Section Property Type açılır listesinden Concrete seçeneğini seçiniz.
 - Rectangular düğmesine basınız.
 - Section Name kutucuğuna KOLON yazınız.
 - Material açılır listesinden C25'i seçiniz.
 - Depth (t3) kutucuğuna 0.40 yazınız
 - Width (t2) kutucuğuna 0.25 yazınız.
 - Set Modifiers düğmesine basınız
 - Cross-section Area kutucuğuna 10000 yazınız
 - Shear Area in 2 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - 2 kez OK düğmesine basınız.
 - Add Copy of Property düğmesine basınız.
 - Section Name kutucuğuna KIRIS yazınız.
 - Material açılır listesinden C25'i seçiniz.
 - Depth (t3) kutucuğuna 0.60 yazınız
 - Width (t2) kutucuğuna 0.25 yazınız.
 - Set Modifiers düğmesine basınız
 - Cross-section Area kutucuğuna 100000 yazınız
 - Shear Area in 2 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - Moment of Inertia about 3 axis kutucuğuna 1E6 yazınız
 - 3 kez OK düğmesine basınız.
- 2 adet kolonu seçiniz.
- Menüde Assign-Frame-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Listeden KOLON kesitini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Kirişi seçiniz.
- Menüde Assign-Frame-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Listeden KIRIS kesitini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- 2 ve 4 numaralı düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Masses... seçeneğini seçiniz.
 - Local 1 Axis Direction kutucuğuna 10 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Functions-Time History... seçeneğini seçiniz.
 - Açılır listeden User seçeneğini seçiniz.
 - Add New Function düğmesine basınız.
 - Time kutucuğuna 0, Value kutucuğuna 100 yazınız ve Add düğmesine basınız.
 - Time kutucuğuna 0.2, Value kutucuğuna 0 yazınız ve Add düğmesine basınız.
 - 2 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Load Cases seçeneğini seçiniz.

Load Case Data - Linear Modal History

Load Case Name: ZTH [Set Def Name] [Modify/Show...]

Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Time History [Design...]

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Modal History

 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear

 Time History Type:

- Modal
- Direct Integration

 Time History Motion Type:

- Transient
- Periodic

 Modal Load Case: Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	FUNC1	1
Accel	U1	FUNC1	1

[Add] [Modify] [Delete]

Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

- Number of Output Time Steps: 100
- Output Time Step Size: 0.01

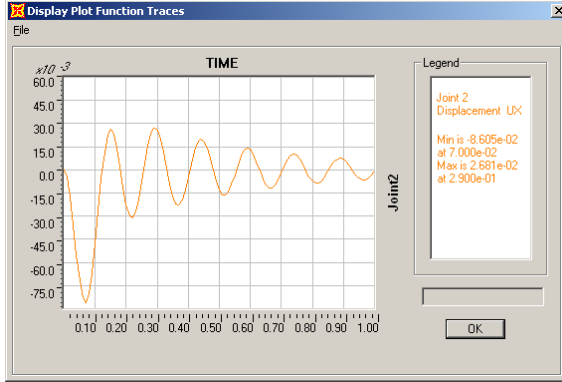
 Other Parameters:

- Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

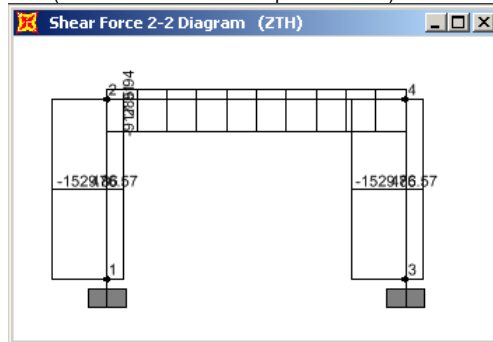
 [OK] [Cancel]

- Add New Load Case... düğmesine basınız
- Load Case Name kutucuğuna ZTH yazınız.
- Load Case Type açılır listesinden Time History seçeneğini seçiniz.
- Loads Applied bölümünde Load Type açılır listesinden Accel seçeneğini seçiniz.
- Load Name açılır listesinden U1 seçeneğini seçiniz.
- Function bölümünden FUNC1 seçeneğini seçiniz ve Add düğmesine basınız.
- Number of Output Time Steps kutucuğuna 100 yazınız.
- Output Time Step Size kutucuğuna 0.01 yazınız.
- Modal Damping bölümünde Modify/Show düğmesine basınız.
 - Constant damping for all Modes seçeneğini seçiniz
 - Constant damping for all Modes kutucuğuna 0.05 yazınız.
- 2 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Set Analysis Options... seçeneğini seçiniz.
 - XZ Plane düğmesine basarak yalnızca UX, UZ, RY serbestliklerinin seçili olmasını sağlayınız.
 - OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Run Analysis... seçeneğini seçiniz.
 - Run Now düğmesine basınız
 - Dosya adı istendiğinde uygun bir ad veriniz.
 - Çözümü yapınız.
- Oluşan yerdeğişirmeleri görmek için menüden Display-Show Deformed Shape... seçeneğini seçiniz.
 - Case/Combo Name kutucuğundan ZTH seçeneğini seçiniz
 - Multivalued Options bölümünden Envelope (Max or Min) seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız
 - Kat düzeyindeki herhangi bir düğüm noktasına sağ mouse tuşu ile basarak ilgili noktanın yerdeğişirme ve dönme değerlerini gösteren pencereyi ekrana getiriniz. (xmax=-0.08605)

- Yerdeğiştirmelerin zaman ile değişiminin grafiğini oluşturmak için menüde Display>Show Plot Functions seçeneğini seçiniz.
 - Define Plot Functions... seçeneğini seçiniz.
 - Choose Function Type to Add bölümünden Add Joint Disps/Forces seçeneğini seçiniz ve Add Plot Function... düğmesine basınız
 - Joint ID kutucuğuna 2 yazınız
 - Vector Type bölümünden Displ, Component bölümünden UX seçeneğini seçiniz ve 2 kez OK düğmesine basınız.
 - List of Functions bölümünde Joint2 seçeneğini seçiniz ve Add -> düğmesine basınız.
 - Display düğmesine basarak 2 nolu düğüm noktasının X yönündeki yerdeğiştirmesinin zaman ile değişiminin grafiğini çizersiniz.

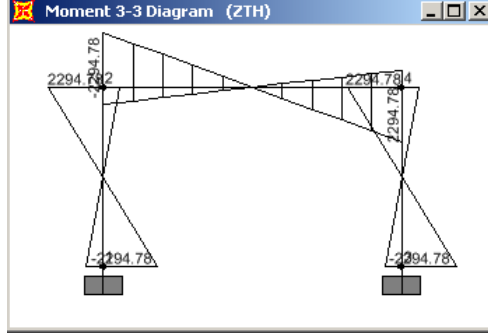


- Oluşan kesme kuvvetlerini görmek için menüden Display>Show Forces/Stresses-Frame Cables seçeneğini seçiniz.
 - Case/Combo Name kutucuğundan ZTH seçeneğini seçiniz
 - Multivalued Options bölümünden Envelope (Range) seçeneğini seçiniz
 - Component bölümünden Shear 2-2 seçeneğini seçiniz
 - Options bölümünden Show Values on Diagram seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız (V=1529.8kN olarak hesaplanmaktadır)



- Oluşan momentleri görmek için menüden Display>Show Forces/Stresses-Frame Cables seçeneğini seçiniz.
 - Case/Combo Name kutucuğundan ZTH seçeneğini seçiniz
 - Multivalued Options bölümünden Envelope (Range) seçeneğini seçiniz
 - Component bölümünden Moment 3-3 seçeneğini seçiniz

- Options bölümünden Show Values on Diagram seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız (Örneğin sol kolon alt uç momenti $M=2294.8\text{kNm}$ olarak hesaplanmaktadır).

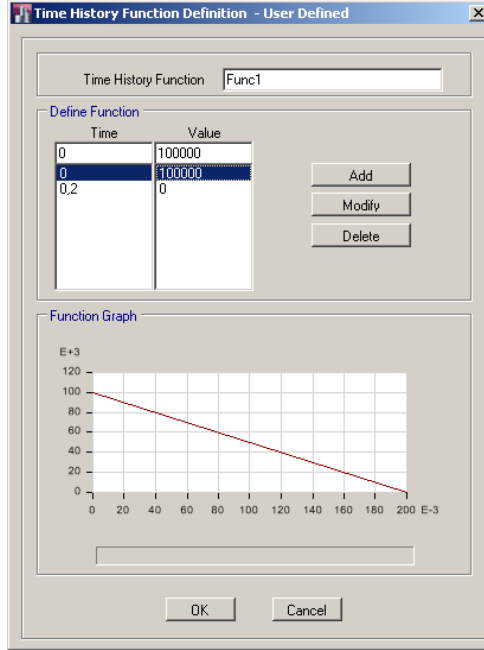


ETABS Örnek 3-3'de verilen sistemin çözümünü yapınız.

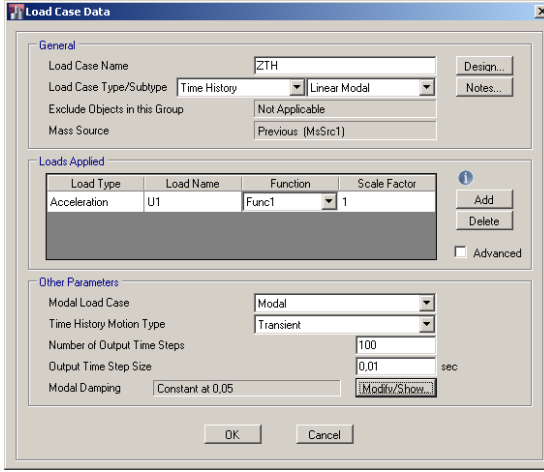
- ETABS programını çalıştırınız.
- File menüsünde New seçeneğine tıklayınız.
- Use Built-in Settings With: bölümünde
 - Display Units bölümünde Metric SI seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Ekranı gelen ileti kutusunda
 - Add Structural Objects bölümünde Grid Only seçeneğini seçiniz.
 - Grid Dimensions (Plan) bölümünde Uniform Grid Spacing seçeneğini seçiniz.
 - Number of Grid Lines in X Direction kutucuğuna 2 yazınız.
 - Number of Grid Lines in Y Direction kutucuğuna 1 yazınız.
 - Spacing of Grids in X Direction kutucuğuna 5 yazınız.
 - Story Dimensions bölümünde Simple Story Data seçeneğini seçiniz.
 - Number of Stories kutucuğuna 1 yazınız.
 - Typical Story Height kutucuğuna 3 yazınız.
 - Bottom Story Height kutucuğuna 3 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set Elevation View seçeneğini seçiniz.
 - 1 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set Display Options seçeneğini seçiniz.
 - Joint Objects Invisible kutucuğunu seçili durumdan çıkarınız.
 - Object Assignments sekmesine geçiniz.
 - Joint Assignments bölümünde Unique Names kutucuğunu seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Draw- Joint Objects seçeneğini seçiniz
 - Grid sistemini gösteren dikdörtgen bölgede sırasıyla sol alt, sol üst, sağ üst ve sağ alt noktalarına tıklayarak 1, 2, 3 ve 4 nolu düğüm noktalarını oluşturun.
 - Klavyede Esc tuşuna basarak düğüm noktası oluşturma işlemini tamamlayın.
- 1 ve 4 numaralı düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Restraints... seçeneğini seçiniz.
 - Ankastr mesnet tanımı için Translation ve Rotation kutucuklarının tamamını seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Material Properties... seçeneğini seçiniz.
 - Add New Material... düğmesine basınız.
 - Region bölümünde User seçeneğini seçiniz.

- Material Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Material Name kutucuğuna C25 yazınız.
- Weight per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.
- Modulus of Elasticity, E kutucuğuna 30000 yazınız
- Poissons's Ratio, U kutucuğuna 0 yazınız.
- Coefficient of Thermal Expansion, A kutucuğuna 0 yazınız ve iki kez OK düğmesine basınız.
-
- Menüde Define-Section Properties-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Add New Property... düğmesine basınız.
 - Concrete bölümünde dikdörtgen kesiti oluşturmak için Rectangular Section simgesine basınız.
 - Material açılır listesinden C25'i seçiniz.
 - Depth kutucuğuna 400 yazınız
 - Width kutucuğuna 250 yazınız.
 - Modify/Show Modifiers... düğmesine basınız
 - Cross-section Area kutucuğuna 10000 yazınız
 - Shear Area in 2 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - OK düğmesine basınız.
 - Property Name kutucuğuna KOLON yazınız.
 - OK düğmesine basınız.
 - Add Copy of Property düğmesine basınız.
 - Material açılır listesinden C25'i seçiniz.
 - Depth kutucuğuna 600 yazınız
 - Width kutucuğuna 250 yazınız.
 - Modify/Show Modifiers... düğmesine basınız
 - Cross-section Area kutucuğuna 100000 yazınız
 - Shear Area in 2 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - Moment of Inertia about 3 axis kutucuğuna 1E6 yazınız
 - OK düğmesine basınız
 - Property Name kutucuğuna KIRIS yazınız.
 - 2 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Draw→Draw Beam/Column/Brace Objects→Draw Beam/Column/Brace (Plan, Elevation,3D) seçeneğini seçiniz.
- Ekranın sol altındaki Properties of Object ileti kutusunda Property listesinden KOLON kesitini seçiniz.
- Önce 1 ve sonra 2 nolu düğüm noktalarına tıklayarak sol kolonu oluşturunuz.
- Fare sağ tuşuna basarak geçici olarak eleman oluşturmayı tamamlayınız.
- Ekranın sol altındaki Properties of Object ileti kutusunda Property listesinden KIRIS kesitini seçiniz.
- Önce 2 ve sonra 3 nolu düğüm noktalarına tıklayarak kirişi oluşturunuz.
- Fare sağ tuşuna basarak geçici olarak eleman oluşturmayı tamamlayınız.
- Ekranın sol altındaki Properties of Object ileti kutusunda Property listesinden KOLON kesitini seçiniz.
- Önce 4 ve sonra 3 nolu düğüm noktalarına tıklayarak sağ kolonu oluşturunuz.
- Klavyede Esc tuşuna basarak çubuk eleman oluşturma işlemini tamamlayınız.
- 2 ve 3 numaralı düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Additional Mass... seçeneğini seçiniz.
 - Direction X,Y kutucuğuna 10000 yazınız ve OK düğmesine basınız.

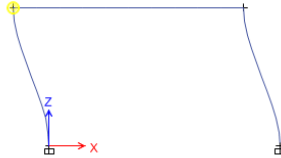
- Menüde Define-Functions-Time History... seçeneğini seçiniz.
 - Açılır listeden User seçeneğini seçiniz.
 - Add New Function düğmesine basınız.
 - Time kutucuğuna 0, Value kutucuğuna 100000 yazınız ve Add düğmesine basınız. (ETABS'de varsayılan ivme birimi mm/s² olarak kabul edildi)
 - Time kutucuğuna 0.2, Value kutucuğuna 0 yazınız ve Add düğmesine basınız.
 - 2 kez OK düğmesine basınız.



- Menüde Define-Load Cases seçeneğini seçiniz.
- Add New Case... düğmesine basınız.
 - Load Case Name kutucuğuna ZTH yazınız.
 - Load Case Type açılır listesinden Time History seçeneğini seçiniz.
 - Loads Applied bölümünde Add düğmesine basınız.
 - Load Type bölümünde Acceleration seçeneğini seçiniz.
 - Load Name açılır listesinden U1 seçeneğini seçiniz.
 - Function bölümünden Func1 seçeneğini seçiniz.
 - Number of Output Time Steps kutucuğuna 100 yazınız.
 - Output Time Step Size kutucuğuna 0.01 yazınız.
 - 2 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Set Active Degrees of Freedom... seçeneğini seçiniz.
 - XZ Plane düğmesine basarak UX, UZ, RY serbestliklerinin seçili olmasını sağlayınız.
 - OK düğmesine basınız.
-




- Menüde Analyze-Run Analysis... seçeneğini seçiniz.
 - Dosya adı istendiğinde uygun bir dosya adı veriniz
 - Çözümü yapınız.
- Oluşan yerdeğiştirmeleri görmek için menüden Display-Show Deformed Shape... seçeneğini seçiniz.
 - Load Case/Load Combination/Modal Case bölümünde Case seçeneğini seçiniz.
 - Case kutucuğundan ZTH seçeneğini seçiniz
 - Max seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız
 - Kat düzeyindeki herhangi bir düğüm noktasına sağ mouse tuşu ile basarak ilgili noktanın yerdeğiştirme ve dönme değerlerini gösteren pencereyi ekrana getiriniz. (xmax=86.1mm)
 -

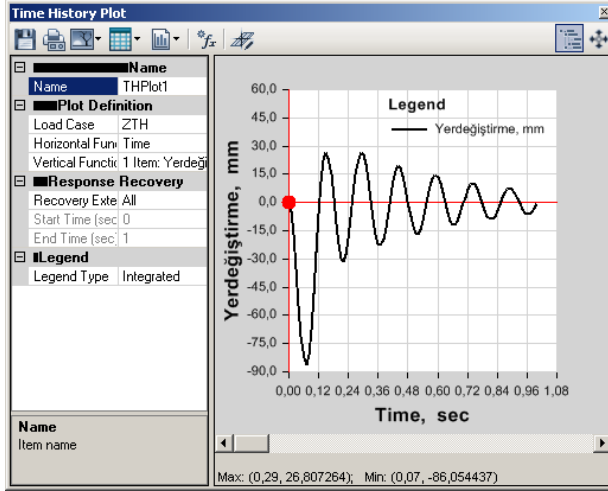


Object ID	Tower and Story	Label	Unique Name
Story1	1	2	

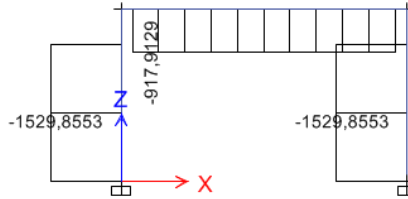
Point Displacement and Drift	X	Y	Z
Translation, mm	-86.1	0.0	-9.179E-05
Rotation, rad	0.000000	-5.088E-08	0.000000
Drift	0.028685	0.000000	

- Yerdeğiştirmelerin zaman ile değişiminin grafiğini oluşturmak için menüde Display- Plot Functions seçeneğini seçiniz.
 -  Define Plot Functions... seçeneğini seçiniz.

- Name kutucuğuna Yerdeğiştirme yazınız.
- Plot Function Type listesinden Joint Displacement seçeneğini seçiniz.
- Story listesinden Story1'1 seçiniz.
- Joint Label listesinden 2 seçeneğini seçiniz.
- Response Type açılır listesinden Displacement seçeneğini seçiniz.
- Component listesinden Ux seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Kat hizasındaki sol düğüm noktasının X yönündeki yerdeğiştirmesinin zaman ile değişiminin grafiğini çizdiriniz.

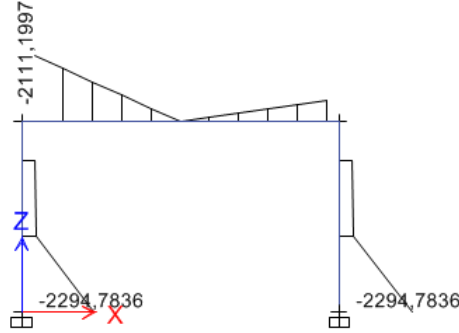


- Oluşan kesme kuvvetlerini görmek için menüden Display-Force/Stress Daigrams - Frame/Pier/Spandrel/Link Forces... seçeneğini seçiniz.
 - Case kutucuğundan ZTH seçeneğini ve ortadaki kutucuktan Absolute Max seçeneklerini seçiniz
 - Component bölümünden Shear 2-2 seçeneğini seçiniz
 - Display Options bölümünden Show Values at Controlling Stations on Diagram seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız. (V=1529.85kN olarak hesaplanmaktadır)



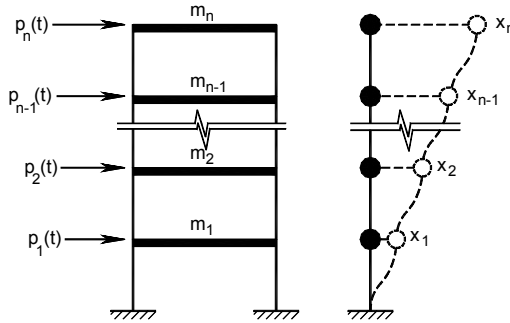
- Oluşan momentleri görmek için menüden Display-Force/Stress Daigrams - Frame/Pier/Spandrel/Link Forces... seçeneğini seçiniz.
 - Case kutucuğundan ZTH seçeneğini ve ortadaki kutucuktan Absolute Max seçeneklerini seçiniz
 - Component bölümünden Moment 3-3 seçeneğini seçiniz

- Display Options bölümünden Show Values at Controlling Stations on Diagram seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız. (Örneğin sol kolon alt uç momenti $M=2294.7836$ olarak hesaplanmaktadır).



3.14. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler

Bir yapı sisteminin hareket halinde bulunduğu konumu belirlemek için birden fazla bağımsız değişkenin bilinmesinin gerektiği durumda bu sistemlere çok serbestlik dereceli sistemler (ÇSD) adı verilir. Gerçekte tüm sistemler sürekli kütleli sistem olmakla birlikte kütlelerin belirli noktalarda toplanması ile ÇSD sistemler oluşturulabilmektedir. Şekil 3-18'de toplu kütle idealleştirilmesi ile kütlelerin kat düzeyinde toplandığı ve bağımsız değişkenlerin yalnızca yatay yerdeğişimlerden oluştuğu bir yapı sistemi gösterilmektedir.



Şekil 3-18 Çok serbestlik dereceli sistem

Tek serbestlik dereceli sistemin hareket denklemi tek bir diferansiyel denklem ile ifade edilebilirken çok serbestlik dereceli sistemlerde dinamik davranış diferansiyel denklem takımı ile ifade edilebilmektedir.

Sistemin dinamik denge denklemleri matris düzeninde Denklem (3.70) olarak yazılabilir.

$$[m]\{\ddot{x}\} + [c]\{\dot{x}\} + [k]\{x\} = \{p(t)\} \quad (3.70)$$

Burada $\{\ddot{x}\}$, $\{\dot{x}\}$, $\{x\}$ sırasıyla ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörlerini, $\{p(t)\}$ yük vektörünü, $[m]$, $[c]$, $[k]$ kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini göstermektedir. Toplu kütleli sistemlerde kütle matrisi, herhangi bir serbestlik derecesine ait atalet kuvvetinin yalnızca söz konusu serbestlik derecesindeki ivme ile ilişkili olması nedeniyle köşegen matris biçimindedir. Genel olarak sönüm matrisi ilgili katsayıların hesaplanması yerine kritik sönümün oranları cinsinden tanımlanarak oluşturulmaktadır. Rijitlik matrisinin

k_{ij} terimi, j serbestlik doğrultusunda birim yerdeğiştirme ve diğer serbestlik doğrultularında yerdeğiştirme (ötelenme veya dönme) değerlerinin "sıfır" olması durumunda i serbestlik doğrultusunda etkiyen kuvveti göstermektedir. Dolayısıyla j nolu kolon da j serbestlik doğrultusunda birim yerdeğiştirme ve diğer serbestlik doğrultularında yerdeğiştirme değerlerinin "sıfır" olması durumunda diğer tüm serbestlik doğrultusunda etkiyen kuvvetleri göstermektedir.

3.14.1. Mod Şekilleri ve Açısal Frekanslar

Bir yapı sisteminin sönümsüz serbest titreşimi sönümün ve dış yükün olmadığı duruma karşı gelir ve bu durumda Denklem (3.70)

$$[m]\{\ddot{x}\} + [k]\{x\} = \{0\} \quad (3.71)$$

şeklini almaktadır.

Serbest titreşim hareketi basit harmonik bir harekettir ve yerdeğiştirmeler Denklem (3.12)'dekine benzer olarak Denklem (3.72) ile elde edilebilir.

$$\{x\} = \{A\} \sin \omega t \quad (3.72)$$

Burada $\{A\}$ hareketin genlik vektörünü ve ω açısal frekansı göstermektedir. Denklem (3.72) ve zamana göre ikinci türevi Denklem(3.71)'de yerine yazılırsa bir özdeğer problemi elde edilir.

$$-\omega^2 [m]\{A\} + [k]\{A\} = \{0\} \quad (3.73)$$

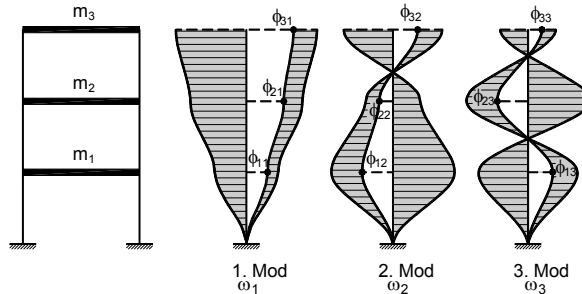
Elde edilen homojen lineer denklem sisteminin sıfırdan farklı bir çözümünün olması ancak katsayılar matrisinin determinantının sıfır olması ile mümkündür.

$$|[k] - \omega^2 [m]| = 0 \quad (3.74)$$

Bu determinantın açılımı ile n . Dereceden bir polinom elde edilir. Bu polinomun kökleri özdeğerleri (ω^2) verir. Özdeğerlerin denklemde yerine yazılması ile her bir mod için özvektörler bulunur $\{\phi\}$. Herhangi i modunda aşağıdaki eşitlik sağlanmaktadır.

$$([k] - \omega^2 [m])\{\phi_i\} = \{0\} \quad (3.75)$$

Sonuç olarak n serbestlik dereceli bir sistemde çözüm sonucu serbestlik derecesi kadar açısal frekans ω_m ve karşı gelen mod şekli $\{\phi_m\}$ elde edilir. Mod şekli sistemin ilgili frekansla titreşimi sırasında aldığı konumu gösterir.



Şekil 3-19 Üç serbestlik dereceli sistemde mod şekilleri

Herhangi bir modda titreşim sırasında yerdeğıştirmeler, aralarındaki oran sabit kalmak üzere herhangi bir değeri alabilmektedir. Şekil 3-19'da üç katlı bir düzlem sistem için tipik mod şekilleri gösterilmektedir. Denklem (3.75)'den ω_i ve ω_j gibi iki farklı titreşim frekansı için

$$[k]\{\phi_i\} = \omega^2 [m]\{\phi_i\} , [k]\{\phi_j\} = \omega^2 [m]\{\phi_j\} \quad (3.76)$$

eşitlikleri yazılabilir. Bu eşitlikler sırasıyla $\{\phi_j\}^T$ ve $\{\phi_i\}^T$ ile çarpılırsa

$$\{\phi_j\}^T [k]\{\phi_i\} = \omega^2 \{\phi_j\}^T [m]\{\phi_i\} , \{\phi_i\}^T [k]\{\phi_j\} = \omega^2 \{\phi_i\}^T [m]\{\phi_j\} \quad (3.77)$$

elde edilir. Denklem (3.77)'de verilen eşitliklerin her iki tarafı skaler büyüklüklerdir. Kütle ve rijitlik matrislerinin simetrik matrisler olduğu gözönüne alınarak

$$\left(\{\phi_j\}^T [k]\{\phi_i\}\right)^T = \{\phi_i\}^T [k]\{\phi_j\} , \left(\{\phi_j\}^T [m]\{\phi_i\}\right)^T = \{\phi_i\}^T [m]\{\phi_j\} \quad (3.78)$$

eşitlikleri yazılabilir.

Denklem (3.77) ve Denklem (3.78) uygun şekilde birleştirilerek

$$\left(\omega_i^2 - \omega_j^2\right)\{\phi_i\}^T [m]\{\phi_j\} = 0 , \left(\frac{1}{\omega_i^2} - \frac{1}{\omega_j^2}\right)\{\phi_i\}^T [k]\{\phi_j\} = 0 \quad (3.79)$$

bağıntıları elde edilir.

ω_i ve ω_j iki farklı titreşim frekansı olduğu için

$$\{\phi_i\}^T [m]\{\phi_j\} = 0 \quad \{\phi_i\}^T [k]\{\phi_j\} = 0 \quad i \neq j \quad (3.80)$$

bulunur. Buradan $\{\phi_i\}$ ve $\{\phi_j\}$ mod vektörlerinin hem kütle matrisine, hem de rijitlik matrisine göre "ortogonallik özelliği" gösterdiği görülür. Daha önceden belirtildiği gibi özdeğer probleminin çözümünden bulunan mod genliklerinin değeri aralarındaki oran sabit kalmak üzere herhangi bir değeri alabilmektedir. Bu koşulu sağlayan herhangi bir mod şekli Denklem (3.75)'de verilen bağıntıyı sağlar. Hesap kolaylığı bakımından genellikle herhangi bir modda en büyük genlik birim değer alınarak aynı moddaki diğer genlikler de en büyük genliğe oranlanarak ilgili modun normalize işlemi yapılmaktadır. Bir çok bilgisayar programında sıkça kullanılan diğer bir normalize şekli de ilgili mod vektörünün kütle matrisi ile soldan ve sağdan çarpılması ile birim olmasının sağlayacak şekilde modal genliklerin düzenlenmesi biçimindedir.

$$\{\hat{\phi}_i\}^T [m]\{\hat{\phi}_i\} = 1 \quad (3.81)$$

Bu tür bir normalizasyon için önce özdeğer probleminin çözümünden elde edilen mod vektörleri kullanılarak Denklem (3.82) ile M skaler büyüklüğü belirlenir.

$$\{\phi_i\}^T [m]\{\phi_i\} = M_i \quad (3.82)$$

Daha sonra Denklem (3.83) ile normalizasyon işlemi yapılır.

$$\{\hat{\phi}_i\} = \frac{\{\phi_i\}}{\sqrt{M_i}} \quad (3.83)$$

Bu şekilde normalize edilmiş mod vektörleri kütle matrisine göre ortonormal modlar olarak adlandırılır ve aşağıdaki koşulu sağlar.

$$[\hat{\phi}]^T [m][\hat{\phi}] = [I] \quad (3.84)$$

Burada $[\hat{\phi}]$ n adet normalize edilmiş mod vektöründen oluşan modal matrisi, $[I]$ $n \times n$ boyutunda birim matrisi göstermektedir.

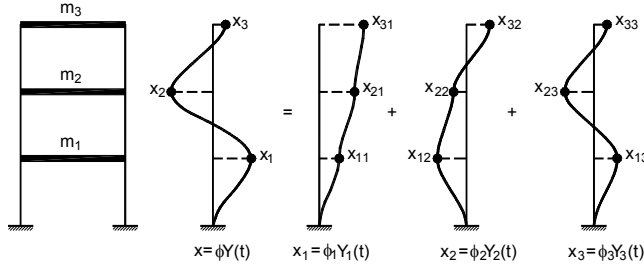
3.14.2. Mod Birleştirme Yöntemi

Mod birleştirme yöntemi yapı sisteminin hareket denklemindeki $x(t)$ yerdeğıştirmelerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde yerdeğıştirmelerin mod vektörlerinin uygun katsayılarla çarpılıp toplanmasından oluştuğu varsayılmaktadır, Denklem (3.85) .

$$x(t) = \{\phi_1\} Y_1(t) + \{\phi_2\} Y_2(t) + \dots + \{\phi_n\} Y_n(t) = \sum_{i=1}^n \{\phi_i\} Y_i(t) = [\Phi] \{Y(t)\} \quad (3.85)$$

Burada $[\Phi]$ modal matris, zamana bağlı $\{Y(t)\}$ katsayıları da sistemin normal koordinatları olarak adlandırılmaktadır. Bu katsayılar mod şekillerinin yerdeğıştirmeye katkılarını göstermektedir ve genellikle bu katkı karşı gelen titreşim frekansı arttıkça azalır. Bu nedenle çözümlerde çoğu zaman ilk birkaç modu gözönüne almak yeterli yaklaşımı sağlamaktadır.

Şekil 3-20'de yalnızca yatay yerdeğıştirmelerin bilinmeyen olarak seçildiği 3 katlı bir sistemde herhangi bir yerdeğıştirme şeklinin uygun genlikli çeşitli modların mod katkıları ile çarpımının toplamı olarak ifade edilebileceği şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3-20 Mod katkılarının birleştirilmesi

Denklem (3.85) soldan $\{\phi_i\}^T [m]$ ile çarpılırsa

$$\{\phi_i\}^T [m] x(t) = \{\phi_i\}^T [m] \{\phi_1\} Y_1(t) + \{\phi_i\}^T [m] \{\phi_2\} Y_2(t) + \dots + \{\phi_i\}^T [m] \{\phi_n\} Y_n(t) \quad (3.86)$$

elde edilir. Kütle matrisine göre ortogonal olma özelliği kullanılarak $\{\phi_i\}^T [m] \{\phi_j\} = 0$ ($i \neq j$), (3.86) bağıntısının sağ tarafı sadeleşir ve

$$\{\phi_i\}^T [m] x(t) = \{\phi_i\}^T [m] \{\phi_i\} Y_i(t) \quad (3.87)$$

haline gelir. Buradan i nolu mod için sistemin normal koordinatı

$$Y_i(t) = \frac{\{\phi_i\}^T [m] x(t)}{\{\phi_i\}^T [m] \{\phi_i\}} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3.88)$$

olarak elde edilir. Denklem (3.85) ve ortogonallık özelliği kullanılarak çok serbestlik dereceli sistemin hareket denklemini Denklem (3.70) yeniden yazılırsa

$$\{\phi_i\}^T [m] \{\phi_i\} \ddot{Y}_i(t) + \{\phi_i\}^T [c] \{\phi_i\} \dot{Y}_i(t) + \{\phi_i\}^T [k] \{\phi_i\} Y_i(t) = \{\phi_i\}^T \{p(t)\} \quad (3.89)$$

elde edilir. Burada Denklem (3.80)'e benzer olarak

$$\{\phi_i\}^T [c] \{\phi_j\} = 0 \quad i \neq j \quad (3.90)$$

ortogonalite özelliğinin sönüm matrisi için de geçerli olduğu varsayılmaktadır.

$$\text{Genelleştirilmiş kütle} \quad M_i = \{\phi_i\}^T [m] \{\phi_i\}$$

$$\text{Genelleştirilmiş sönüm} \quad C_i = \{\phi_i\}^T [c] \{\phi_i\} = 2\xi_i \omega_i M_i$$

$$\text{Genelleştirilmiş rijitlik} \quad K_i = \{\phi_i\}^T [k] \{\phi_i\} = \omega_i^2 M_i$$

$$\text{Genelleştirilmiş yük} \quad P_i = \{\phi_i\}^T \{P(t)\}$$

$$\text{Genelleştirilmiş koordinat} \quad Y_i$$

olarak adlandırılmak üzere hareket denklemleri

$$M_i \ddot{Y}_i + C_i \dot{Y}_i + K_i Y_i = P_i \quad (3.91)$$

veya

$$\ddot{Y}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = \frac{P_i}{M_i} \quad (3.92)$$

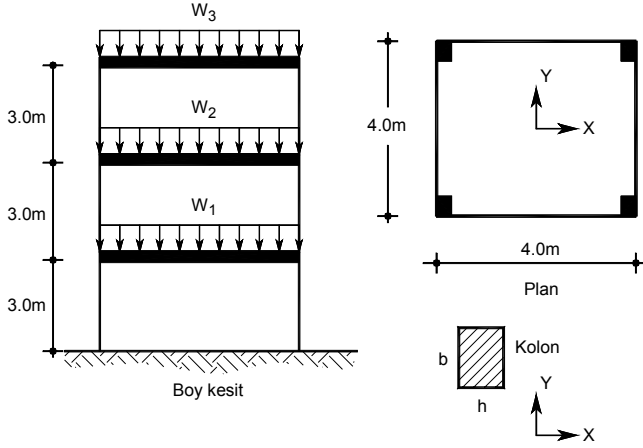
olarak yazılır. Böylece Denklem (3.70) verilen çok serbestlik dereceli sistemin dinamik davranışını gösteren diferansiyel denklem sistemi, genelleştirilmiş koordinat, kütle, sönüm, rijitlik ve yük kullanılarak ayrıklaştırılmış olur. Denklem (3.92) ile çok serbestlik dereceli bir sistemin herhangi bir titreşim modundaki hareket denklemleri Denklem (3.37)'deki gibi tek serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemleri ile aynı hale gelmekte ve Denklem (3.70)'de verilen çok serbestlik dereceli sistemin bağımlı hareket denklemleri mod şekilleri ve normal koordinatlar kullanılarak bağımsız denklem takımına dönüştürülmüş olmaktadır. Bu özellik, modların birleştirilmesi yönteminde her bir serbest titreşim modunun incelenmesinin birbirinden bağımsız olarak yapılabilmesine olanak tanımaktadır.

Örnek 3-5

Verilen rijit plaklı çerçeve sistemde kolonların öteleme rijitliğini (k) ve kat öteleme rijitliğini (\bar{k}) hesaplayınız.

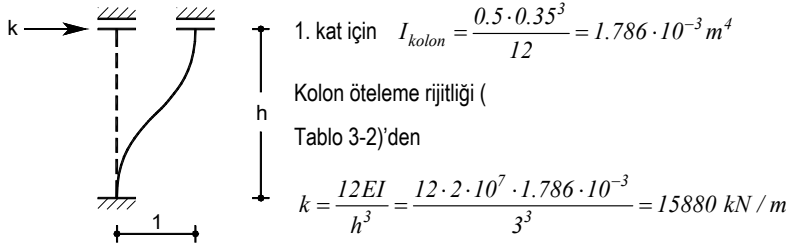
Sistemin serbest titreşim hareket denklemlerini yazarak serbest titreşim frekanslarını ve periyotlarını elde ediniz. Sistemin karşı gelen mod şekillerini ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 belirleyiniz.

Kat	W [kN]	m [kN-s ² /m]	b _{kolon} [m]	h _{kolon} [m]
3	124.8	12.72	0.30	0.25
2	176	17.94	0.40	0.30
1	176	17.94	0.50	0.35



Çözüm:

a) Döşemeleri sonsuz rijit kabul edilebilen sistemlerde herhangi bir katın öteleme rijitliği o kattaki kolonların öteleme rijitlikleri toplamına eşittir.



Kat	b_{kolon} [m]	h_{kolon} [m]	I_{kolon} [$\times 10^{-4} m^4$]	k_{kolon} [kN/m]	K_{kat} [kN/m]
3	0.30	0.25	3.91	3472	13888
2	0.40	0.30	9.00	8000	32000
1	0.50	0.35	17.86	15880	63520

b) Bölüm 3.14'de verilen rijitlik matrisi tanımı kullanılarak rijitlik matrisi oluşturulursa

$$[k] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 95520 & -32000 & 0 \\ -32000 & 45888 & -13888 \\ 0 & -13888 & 13888 \end{bmatrix}$$

Kütle matrisi de

$$[m] = \begin{bmatrix} 17.94 & 0 & 0 \\ 0 & 17.94 & 0 \\ 0 & 0 & 12.72 \end{bmatrix}$$

olarak elde edilir.

Denklem (3.74) kullanılarak açılı frekanslar ve doğal titreşim periyotları elde edilir.

$$\begin{vmatrix} 95520 - 17.94\omega^2 & -32000 & 0 \\ -32000 & 45888 - 17.94\omega^2 & -13888 \\ 0 & -13888 & 13888 - 12.72\omega^2 \end{vmatrix} = 0$$

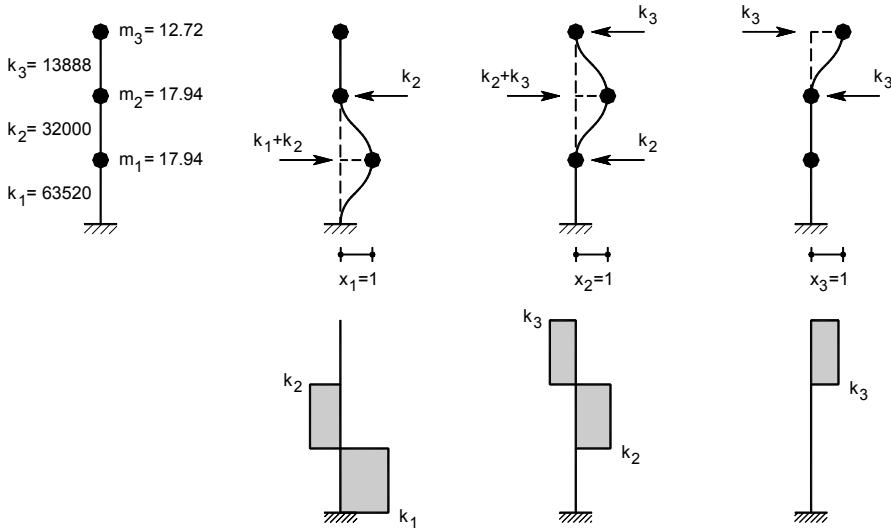
$$\omega^6 - 8974.1\omega^4 + 18198300\omega^2 - 6895540000 = 0$$

$$\omega_1 = 22.17 \text{ Hz} , \omega_2 = 47.45 \text{ Hz} , \omega_3 = 78.94 \text{ Hz}$$

$$\omega_1 = 22.17 \rightarrow T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0.283 \text{ s}$$

$$\omega_2 = 47.45 \rightarrow T_2 = 0.132 \text{ s}$$

$$\omega_3 = 78.94 \rightarrow T_3 = 0.079 \text{ s}$$



Kat kesme kuvvetleri

$\omega = \omega_1$ için

$$\begin{bmatrix} 86702.33 & -32000 & 0 \\ -32000 & 37070.33 & -13888 \\ 0 & -13888 & 7636.007 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_{11} \\ \phi_{21} \\ \phi_{31} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

1. modda 3. katın yerdeğiştirmesi $\phi_{31} = 1.00$ seçilirse

$$-13888\phi_{21} + 7636.007\phi_{31} = 0 \rightarrow \phi_{21} = 0.550$$

$$86702.33\phi_{11} - 32000\phi_{21} = 0 \rightarrow \phi_{11} = 0.203$$

$\omega = \omega_2$ için

$$[k - m\omega^2][\phi_2] = \{0\}$$

$$\begin{bmatrix} 55128.05 & -32000 & 0 \\ -32000 & 5496.045 & -13888 \\ 0 & -13888 & -14751.1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_{12} \\ \phi_{22} \\ \phi_{32} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

2. modda 3. katın yerdeğiştirmesi $\phi_{32} = 1.00$ seçilirse

$$-13888\phi_{22} - 14751.1\phi_{32} = 0 \rightarrow \phi_{22} = -1.062$$

$$55128.05\phi_{12} - 32000\phi_{22} = 0 \rightarrow \phi_{12} = -0.617$$

$\omega = \omega_3$ için

$$[k - m\omega^2][\phi_3] = \{0\}$$

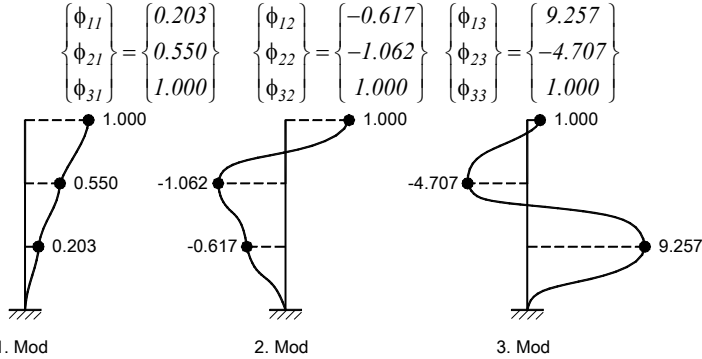
$$\begin{bmatrix} -16273.5 & -32000 & 0 \\ -32000 & -65905.5 & -13888 \\ 0 & -13888 & -65377 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_{13} \\ \phi_{23} \\ \phi_{33} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

3. modda 3. katın yerdeğiştirmesi $\phi_{33} = 1.00$ seçilirse

$$-13888\phi_{23} - 65377\phi_{33} = 0 \rightarrow \phi_{23} = -4.707$$

$$-16273.5\phi_{13} - 32000\phi_{23} = 0 \rightarrow \phi_{13} = 9.257$$

Özvektörler:



Normalizasyon işlemi Denklem (3.81)'de verilen yöntem ile yapılırsa

$$\begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 4.345 \\ 6.307 \\ 44.131 \end{Bmatrix}$$

bulunur ve yeni durumda modal matris

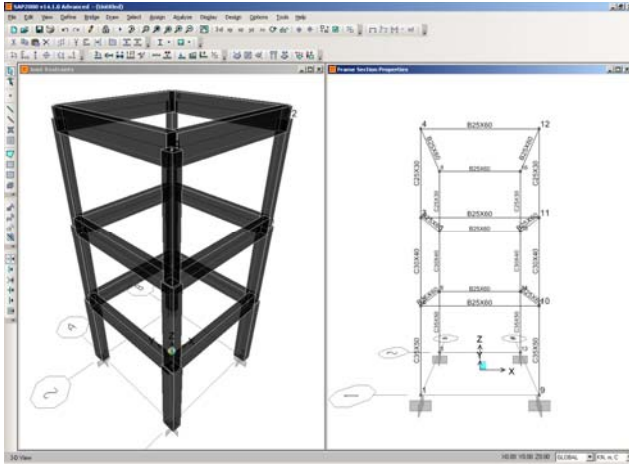
$$[\phi] = \begin{bmatrix} 0.0467 & -0.0978 & 0.2098 \\ 0.1266 & -0.1684 & -0.1067 \\ 0.2301 & 0.1585 & 0.0227 \end{bmatrix}$$

olarak elde edilir.

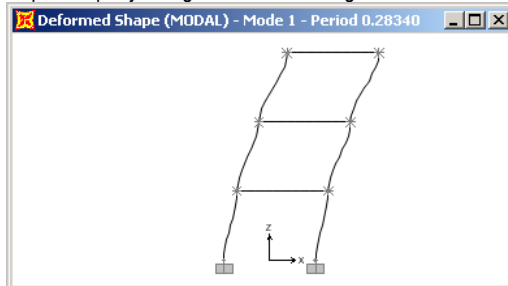
SAP2000 :Örnek 3-5'de verilen sistemin çözümü.

- SAP2000 programını çalıştırınız.
- Birim bölümünden kN,m,C seçiniz.
- Menüde File-New Model → 3D Frame Grid Only seçeneğini seçiniz.
 - 3D Frame Tıpe açılır listesinden Open Frame Building seçeneğini seçiniz.
 - Number of Stories kutucuğuna 3 yazınız
 - Story Height kutucuğuna 3 yazınız
 - Number of Bays,X kutucuğuna 1 yazınız
 - Bay Width,X kutucuğuna 4 yazınız
 - Number of Bays,Y kutucuğuna 1 yazınız
 - Bay Width,X kutucuğuna 4 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set Display Options seçeneğini seçiniz.
 - Joints bölümünde Labels kutucuğunu seçili duruma getiriniz
 - Joints bölümünde Invisible kutucuğunu seçili durumdan çıkarınız
 - Frames/Cables/Tendons bölümünde Labels kutucuğunu seçili duruma getiriniz
 - Ekrandaki pencerenin sağ alt bölümündeki Apply to All Windows kutucuğunu seçili duruma getirin ve OK düğmesine basınız.
- 1,5,9,13 nolu düğüm noktalarını seçili duruma getirin.
- Menüde Assign-Joint-Restraints... seçeneğini seçiniz.
 - Ankastrre mesnet tanımı için Translation ve Rotation kutucuklarının tamamını seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Materials... seçeneğini seçiniz.
 - Add New Material... düğmesine basınız.
 - Material Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz.
 - Weight per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.
 - Units açılır listesinden N,mm,C 'yi seçiniz
 - Modulus of Elasticity, E kutucuğuna 20000 yazınız
 - Poissons's Ratio, U kutucuğuna 0 yazınız.
 - Coefficient of Thermal Expansion, A kutucuğuna 0 yazınız ve iki kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Section Properties-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Add New Property düğmesine basınız.
 - Frame Section Property Type açılır listesinden Concrete seçeneğini seçiniz.
 - Rectangular düğmesine basınız.
 - Section Name kutucuğuna C35X50 yazınız.
 - Depth (t3) kutucuğuna 0.35 yazınız.
 - Width (t2) kutucuğuna 0.50 yazınız.
 - Property Modifiers bölümünde Set Modifiers kutucuğuna basınız.
 - Cross-section (axial) area kutucuğuna 1E6 yazınız
 - Shear Area in 2 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - Shear Area in 3 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - OK düğmesine basınız.
 - Material açılır listesinden MAT seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Add Copy of Property düğmesine basınız.
 - Section Name kutucuğuna C30X40 yazınız.
 - Depth (t3) kutucuğuna 0.30 yazınız.
 - Width (t2) kutucuğuna 0.40 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Add Copy of Property düğmesine basınız.

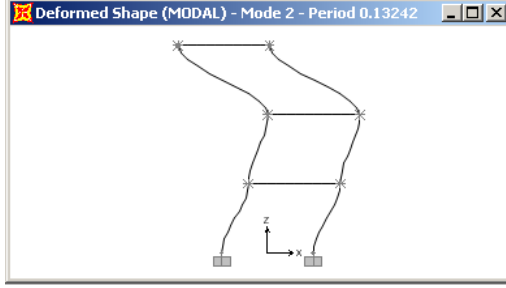
- Section Name kutucuğuna C25X30 yazınız.
- Depth (t3) kutucuğuna 0.25 yazınız.
- Width (t2) kutucuğuna 0.30 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Add Copy of Property düğmesine basınız.
 - Section Name kutucuğuna B25X60 yazınız.
 - Depth (t3) kutucuğuna 0.60 yazınız.
 - Width (t2) kutucuğuna 0.25 yazınız
 - Property Modifiers bölümünde Set Modifiers kutucuğuna basınız.
 - Cross-section (axial) area kutucuğuna 1E6 yazınız
 - Shear Area in 2 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - Shear Area in 3 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - Moment of Inertia about 3 axis kutucuğuna 1E6 yazınız.
 - Moment of Inertia about 2 axis kutucuğuna 1E6 yazınız ve 3 kez OK düğmesine basınız.
- Sol pencereye tıklayınız.
- Menüde View-Set Display Options seçeneğini seçiniz.
 - General bölümünde Extrude View kutucuğunu seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Sağ pencereye tıklayınız ve aktif duruma getiriniz.
- View menüsünde Set 3D View seçeneğini seçiniz.
- Ekranaya gelen pencerede View Direction Angle bölümünde
 - Plan kutucuğuna 270
 - Elevation kutucuğuna 0
 - Aperture kutucuğuna 60 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- 1,4,7,10 nolu kolonları seçiniz.
- Menüde Assign-Frame-Frame Sections... seçeneğini seçiniz.
- Ekranaya gelen Frame Properties penceresinden C35X50 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Klavyede F4 tuşuna basınız.
- 2,5,8,11 nolu kolonları seçiniz.
- Menüde Assign-Frame-Frame Sections... seçeneğini seçiniz.
- Ekranaya gelen Frame Properties penceresinden C30X40 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Klavyede F4 tuşuna basınız.
- 3,6,9,12 nolu kolonları seçiniz.
- Menüde Assign-Frame-Frame Sections... seçeneğini seçiniz.
- Ekranaya gelen Frame Properties penceresinden C25X30 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Klavyede F4 tuşuna basınız.
- Menüde Select-Select-Properties-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Ekranaya gelen pencerede FSEC1 kesitini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Assign-Frame-Frame Sections... seçeneğini seçiniz.
- Ekranaya gelen Frame Properties penceresinden B25X60 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.



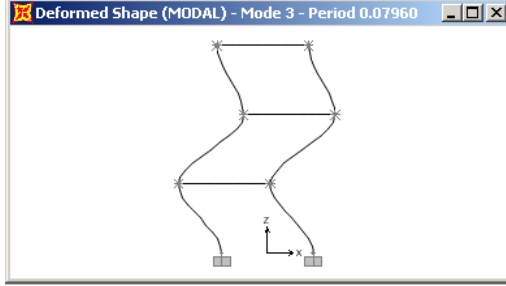
- Klavyede F4 tuşuna basınız.
- 2,6,10,14,3,7,11 ve 15 nolu düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Masses... seçeneğini seçiniz.
 - Local 1 Axis Direction kutucuğuna 4.485 (17.94/4) yazınız ve OK düğmesine basınız.
- 4,8,12 ve 16 nolu düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Masses... seçeneğini seçiniz.
 - Local 1 Axis Direction kutucuğuna 3.18 (12.72/4) yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define Load Cases seçeneğini seçiniz.
- Load Case Name bölümünden MODAL seçeneğini seçiniz.
- Modify/Show Load Case... düğmesine basınız.
- Ekranı gelen pencerede Maximum Number of Modes kutucuğuna 3 yazınız ve 2 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Run Analysis... seçeneğini seçiniz.
 - Run Now düğmesine basınız
 - Dosya adı istendiğinde uygun bir dosya adı veriniz
 - Çözümü yapınız.
- Menüde Display-Show Deformed Shape seçeneğini seçiniz.
- Case/Combo Name açılır listesinden MODAL'I seçiniz
- Mode Number kutucuğuna 1 yazınız ve OK düğmesine basınız. Ekranı gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 0.283s olarak gösterilmektedir.



- Klavyede F6 tuşuna basınız, Mode Number kutucuğuna 2 yazınız ve OK düğmesine basınız. Ekranı gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 0.132s olarak gösterilmektedir.



- Klavyede F6 tuşuna basınız, Mode Number kutucuğuna 3 yazınız ve OK düğmesine basınız. Ekranı gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 0.0796s olarak gösterilmektedir.




- Klavyede F6 tuşuna basınız
- Mode Number kutucuğuna 1 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- 1. kattaki herhangi bir düğüm noktasına sağ mouse tuşuyla tıklayınız. Trans 1 (1 doğrultusundaki modal yerdeğiştirme) değeri 0.0467 olarak hesaplanmıştır.
- Benzer işlemleri diğer katlarda ve diğer modlarda tekrarlayarak ilgili değerler belirlenebilir.
- 2,3 ve 4 nolu düğüm noktalarını seçiniz.
- Display menüsünden Show Tables seçeneğini seçiniz.
- ANALYSIS RESULTS bölümünden Joint Output alt bölümünün üzerine tıklayınız.
 - Displacements seçeneğini seçiniz.
- Pencerenin sağ bölümünden Select Load Cases... düğmesine basınız ve MODAL seçeneğini seçiniz.
- 2 kez OK düğmesine basarak seçilen noktaların modal yerdeğiştirme değerlerini tablo halinde ekrana getirin. Görüldüğü üzere ilgili tablo modal matrisin elemanlarını oluşturmaktadır.

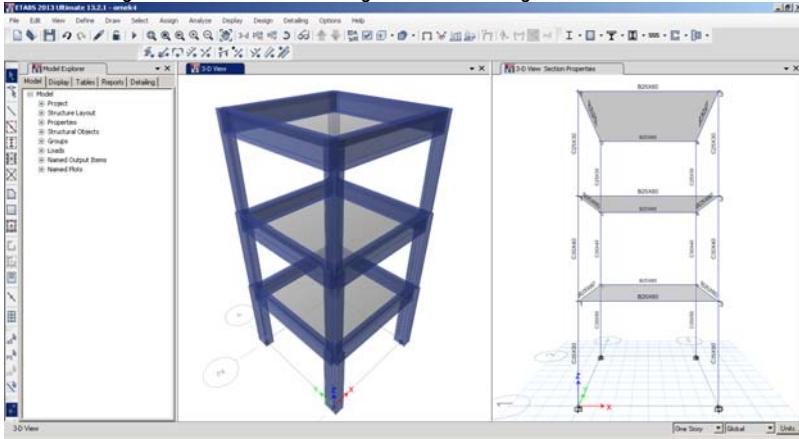
Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	StepNum Unitless	U1 m
2	MODAL	LinModal	Mode	1	0.046702
2	MODAL	LinModal	Mode	2	0.097752
2	MODAL	LinModal	Mode	3	-0.209773
3	MODAL	LinModal	Mode	1	0.126533
3	MODAL	LinModal	Mode	2	0.168399
3	MODAL	LinModal	Mode	3	0.106642
4	MODAL	LinModal	Mode	1	0.230129
4	MODAL	LinModal	Mode	2	-0.158568
4	MODAL	LinModal	Mode	3	-0.022657


ETABS: Örnek 3-5'de verilen sistemin çözümü.

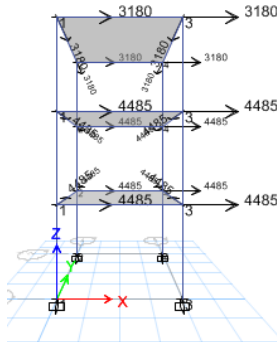
- ETABS programını çalıştırınız.
- File menüsünde New seçeneğine tıklayınız.
- Use Built-in Settings With: bölümünde
 - Display Units bölümünde Metric SI seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Ekrana gelen ileti kutusunda
 - Number of Grid Lines in X Direction kutucuğuna 2 yazınız.
 - Number of Grid Lines in Y Direction kutucuğuna 2 yazınız.
 - Spacing of Grids in X Direction kutucuğuna 4 yazınız.
 - Spacing of Grids in Y Direction kutucuğuna 4 yazınız.
 - Story Dimensions bölümünde Simple Story Data seçeneğini seçiniz.
 - Number of Stories kutucuğuna 3 yazınız.
 - Typical Story Height kutucuğuna 3 yazınız.
 - Bottom Story Height kutucuğuna 3 yazınız.
 - Add Structural Objects bölümünde Two Way seçeneğini seçiniz.
 - Overhangs bölümünde kutucuklara 0 yazınız.
 - Ribs bölümündeki Ribs kutucuğunu seçili durumdan çıkarınız.
 - Restraints at Bottom bölümünde Fixed seçeneğini seçiniz.
 - 2 kez OK düğmesine basınız.
- Sağ pencereye tıklayarak aktif duruma getiriniz.
- Menüde View-Set Elevation View seçeneğini seçiniz.
 - 1 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set 3D View seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set Display Options seçeneğini seçiniz.
 - Joint Objects Invisible kutucuğunu seçili durumdan çıkarınız.
 - Object Assignments sekmesine geçiniz.
 - Joint Assignments bölümünde Labels kutucuğunu seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Material Properties... seçeneğini seçiniz.
 - Add New Material... düğmesine basınız.
 - Region bölümünde User seçeneğini seçiniz.
 - Material Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
 - Weight per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.

- Modulus of Elasticity, E kutucuğuna 20000 yazınız
- Poissons's Ratio, U kutucuğuna 0 yazınız.
- Coefficient of Thermal Expansion, A kutucuğuna 0 yazınız ve iki kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Section Properties-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Add New Property... düğmesine basınız.
 - Concrete bölümünde dikdörtgen kesiti oluşturmak için Rectangular Section simgesine basınız.
 - Material açılır listesinden MAT'ı seçiniz.
 - Depth kutucuğuna 350 yazınız
 - Width kutucuğuna 500 yazınız.
 - Modify/Show Modifiers... düğmesine basınız
 - Cross-section Area kutucuğuna 1E6 yazınız
 - Shear Area in 2 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - Shear Area in 3 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - OK düğmesine basınız.
 -
 - Property Name kutucuğuna C35X50 yazınız.
 - OK düğmesine basınız.
 - Add Copy of Property düğmesine basınız.
 - Depth kutucuğuna 300 yazınız
 - Width kutucuğuna 400 yazınız.
 - Property Name kutucuğuna C30X40 ve OK düğmesine basınız.
 -
 - Add Copy of Property düğmesine basınız.
 - Depth kutucuğuna 250 yazınız
 - Width kutucuğuna 300 yazınız.
 - Property Name kutucuğuna C25X30 ve OK düğmesine basınız.
 - Add Copy of Property düğmesine basınız.
 - Depth kutucuğuna 600 yazınız
 - Width kutucuğuna 250 yazınız.
 - Property Name kutucuğuna B25X60 yazınız.
 - Modify/Show Modifiers... düğmesine basınız
 - Cross-section Area kutucuğuna 1E6 yazınız
 - Shear Area in 2 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - Shear Area in 3 direction kutucuğuna 0 yazınız.
 - Moment of Inetia about 3 axis kutucuğuna 1E6 yazınız.
 - Moment of Inetia about 2 axis kutucuğuna 1E6 yazınız ve 3 kez OK düğmesine basınız.
- Sağ pencerede
 - 1. kat kolonlarını seçiniz.
 - Menüde Assign-Frame-Section Property... seçeneğine tıklayınız.
 - Listeden C35X50 seçeneğini seçiniz ve Apply düğmesine basınız.
 - 2. kat kolonlarını seçiniz.
 - Menüde Assign-Frame-Section Property... seçeneğine tıklayınız.
 - Listeden C30X40 seçeneğini seçiniz ve Apply düğmesine basınız.
 - 3. kat kolonlarını seçiniz.
 - Menüde Assign-Frame-Section Property... seçeneğine tıklayınız.
 - Listeden C25X30 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.

- Menüde Select>Select-Object Type seçeneğine tıklayınız.
- Listeden Beams seçeneğini seçiniz ve sırasıyla Select ve Close düğmelerine basınız.
 - Menüde Assign-Frame-Section Property... seçeneğine tıklayınız.
 - Listeden B25X60 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Select>Select-Object Type seçeneğine tıklayınız.
- Listeden Floors seçeneğini seçiniz ve sırasıyla Select ve Close düğmelerine basınız.
- Menüde Assign-Shell-Stiffness Modifiers... seçeneğine tıklayınız.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda Mass ve Weight kutucuklarına 0 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Sol pencereye tıklayarak aktif duruma getiriniz.
-  düğmesine basarak hacimsel görünümü ekrana getiriniz.

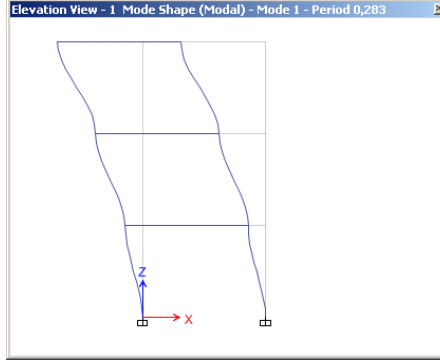


-  düğmesine basarak hacimsel görünümünden çubuk sistem görünümüne geçiş yapınız.
- Sağ pencereye tıklayarak aktif duruma getiriniz.
 - 1. kat ve 2. kat döşemeleri düzeyindeki düğüm noktalarını seçiniz.
 - Menüde Assign-Joint-Additional Mass... seçeneğini seçiniz.
 - Direction X,Y kutucuğuna 4485 (17940/4) yazınız ve Apply düğmesine basınız.
 - 3. kat döşemesi düzeyindeki düğüm noktalarını seçiniz.
 - Direction X,Y kutucuğuna 3180 (12720/4) yazınız ve OK düğmesine basınız.

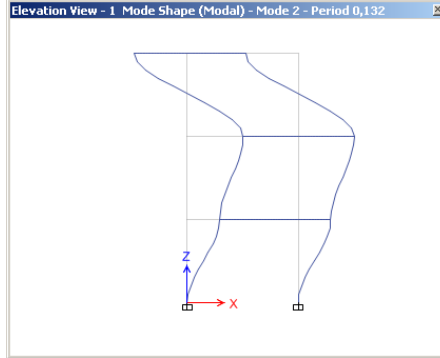


- Menüde Define-Modal Cases... seçeneğini seçiniz.

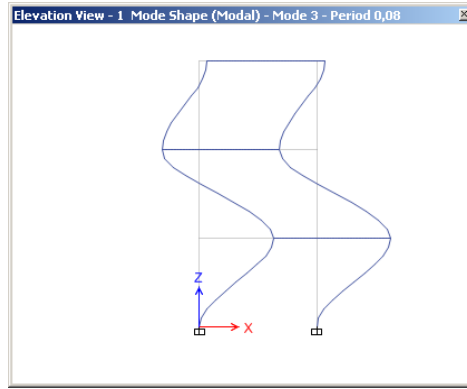
- Modify/Show Case... düğmesine basınız.
- Ekranı gelen pencerede Maximum Number of Modes kutucuğuna 3 yazınız ve 2 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set Elevation View seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda 1 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Set Active Degrees of Freedom... seçeneğini seçiniz.
 - XZ Plane düğmesine basarak UX, UZ, RY serbestliklerinin seçili olmasını sağlayınız.
 - OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Run Analysis... seçeneğini seçiniz.
 - Dosya adı istendiğinde uygun bir dosya adı veriniz
 - Çözümü yapınız.
- Menüde Display-Show Deformed Shape seçeneğini seçiniz.
- Load Case/Load Combination/Modal Case bölümünde Mode seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Ekranı gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 0.283s olarak gösterilmektedir.



- Klavyede F6 tuşuna basınız, Mode Number kutucuğuna 2 yazınız ve OK düğmesine basınız. Ekranı gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 0.132s olarak gösterilmektedir.



- Klavyede F6 tuşuna basınız, Mode Number kutucuğuna 3 yazınız ve OK düğmesine basınız. Ekranı gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 0.08s olarak gösterilmektedir.



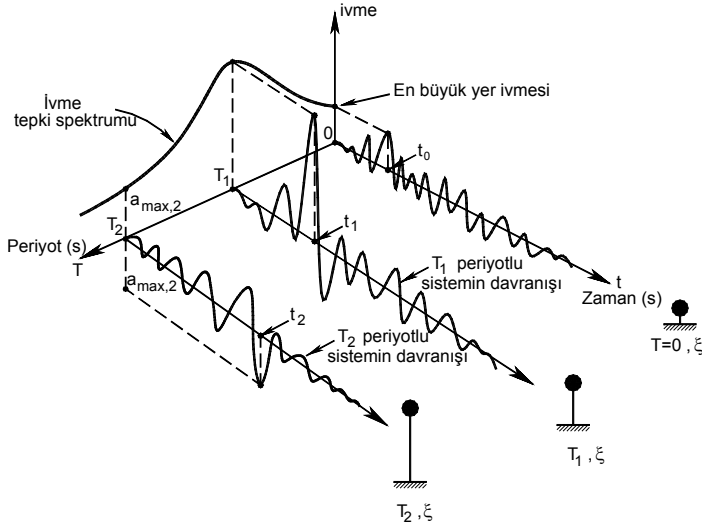
- Klavyede F6 tuşuna basınız
- Mode Number kutucuğuna 1 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- 1. kattaki herhangi bir düğüm noktasına sağ mouse tuşuyla tıklayınız. Translation X (1 doğrultusundaki modal yerdeğiştirme) değeri -4.670E-02 olarak hesaplanmıştır.
- Benzer işlemleri diğer katlarda ve diğer modlarda tekrarlayarak ilgili değerler belirlenebilir.
- Bu değerler modal matrisin elemanlarını oluşturmaktadır.

3.15. Tepki Spektrumları

Tepki spektrumu, aynı sönüm oranına (örneğin $\xi=0.05$) fakat farklı doğal titreşim periyotlarına sahip tek serbestlik dereceli sistemlerin belirli yük fonksiyonuna veya deprem söz konusu ise zemin hareketine karşı gösterdiği en büyük tepkilerin (en büyük yerdeğiştirme, hız, ivme veya diğer büyüklükler) grafiğidir. Yatay eksen periyot veya frekansı, düşey eksen ise en büyük tepkiyi göstermektedir.

Aynı deprem yer hareketi farklı titreşim periyotlarına sahip olan birçok tek serbestlik dereceli sisteme uygulandığında her sistem yer hareketine kendi titreşim özelliği ile farklı tepkiler vererek farklı maksimum ivme değeri oluşturacaktır. Tek serbestlik dereceli birçok sistemin çözümünden elde edilen maksimum ivmelerin sistem periyodu ile değişimini gösteren grafik ivme tepki spektrumu olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3-21'de ivme tepki spektrumunun elde edildiği grafiksel olarak gösterilmektedir.

Tepki spektrumları (yerdeğiştirme, hız veya ivme) belirli bir deprem kaydı etkisinde belirli bir sönüm oranına sahip tüm tek serbestlik dereceli sistemlerin göstereceği en büyük tepkilerin grafiksel özeti olarak değerlendirilebilir.

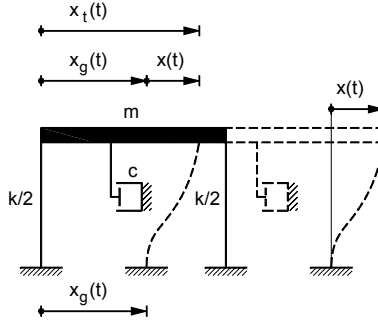


Şekil 3-21 Tepki Spektrumunun grafiksel gösterimi

Bölüm 2'de açıklandığı gibi tek serbestlik dereceli sistemin genel bir yükleme altındaki çözümü Duhamel integrali ile yapılabilir. Şekil 3-22'de gösterilen yer hareketi etkisindeki tek serbestlik dereceli sistemde $x(t)$ m kütesinin yere göre zamana bağlı yerdeğiştirmesi, $x_t(t)$ m kütesinin referans eksene göre zamana bağlı mutlak yerdeğiştirmesi ve $x_g(t)$ ise yerin referans eksene göre mutlak yerdeğiştirmesi olsun. Bu durum için hareket denklemi

$$x + 2\omega\xi\dot{x} + \omega^2x = -\ddot{x}_g \quad (3.93)$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 3-22 TSD Sönümlü sistemin yer hareketi etkisinde yerdeğiştirmesi

Burada $\omega = \sqrt{k/m}$ sönümsüz sistemin açısal frekansını ve $\xi = c/2m\omega$ sönüm oranını göstermektedir. Duhamel integrali ile çözümde başlangıçta yerdeğiştirme ve hızın sıfır olduğu kabul edilirse görelî yerdeğiştirme Denklem (3.94)

$$x(t) = -\frac{1}{\omega_D} \int_0^t \ddot{x}_g e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau \quad (3.94)$$

ile elde edilebilir. Burada $\omega_D = \omega\sqrt{1-\xi^2}$ sönümlü sistemin açılal frekansını göstermektedir.

Hız ve ivme için benzer bağıntılar aşağıdaki türev ilişkisi kullanılarak elde edilebilir.

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\int_0^t f(\tau, t) d\tau \right] = \int_0^t \frac{\partial}{\partial t} f(\tau, t) d\tau + [f(\tau, t)]_{\tau=t} \quad (3.95)$$

Görel yerdęđiřtirme ve mutlak ivme için bağıntılar sırasıyla

$$\dot{x}(t) = -\int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \cos \omega_D(t-\tau) d\tau + \int_0^t \frac{\ddot{x}_g(\tau) \xi}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau \quad (3.96)$$

$$\ddot{x}_i(t) = 2\xi\omega \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \cos \omega_D(t-\tau) d\tau + \int_0^t \frac{\ddot{x}_g(\tau) \omega(1-2\xi^2)}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau \quad (3.97)$$

olarak elde edilir. Denklem (3.94) ve Denklem (3.96) kütlelin görel yerdęđiřtirme ve görel hızını, Denklem (3.97) ise mutlak ivmesini veren bağıntılardır. Newton'un ikinci yasanına göre atalet kuvvetleri mutlak ivme ile orantılı, Hooke yasanına göre eleman iç kuvvetleri elemanın görel yerdęđiřtirmesi ile orantılı ve viskoz sönüme sahip sistemlerde sönüm kuvvetleri de görel hız ile doğru orantılıdır.

Yapı sistemlerinde sönüm oranı ξ genellikle küçük değere sahiptir, bu nedenle $1-\xi^2 \cong 1$, $\sqrt{1-2\xi^2} \cong 1$ ve $\omega_D \cong \omega$ olarak alınabilir. Bu durumda Denklem(3.96)'da ikinci terim, Denklem (3.97)'de birinci terim ξ ile doğrudan ilişkili olduğundan küçük değerler alacaktır ve ihmal edilebilirler. Sönümün küçük olması varsayımı ile sadeleştirme yapılırsa

$$\dot{x}(t) = -\int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \cos \omega_D(t-\tau) d\tau \quad (3.98)$$

$$\ddot{x}_i(t) = \omega \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau \quad (3.99)$$

elde edilir. Denklem (3.94) ve Denklem (3.99)'dan sönüm bulunmadığı durumda mutlak ivme $\ddot{x}_i(t) = -\omega^2 x(t)$ değere eşittir. Bu büyüklüğün mutlak değeri $|\omega^2 x(t)|$ sönümün küçük olduğu durumlarda mutlak ivmenin değerine oldukça yakın değerler vermektedir ve ivme boyutunda olduğundan sözde ivme olarak adlandırılır. Denklem (3.98), \cos ifadesi yerine \sin ifadesi içermiş olsaydı benzer ilişki hız içinde oluşturulabilirdi. Durum böyle olmamakla birlikte kolaylık bakımından sözde hız da $|\omega x(t)|$ olarak tanımlanmaktadır.

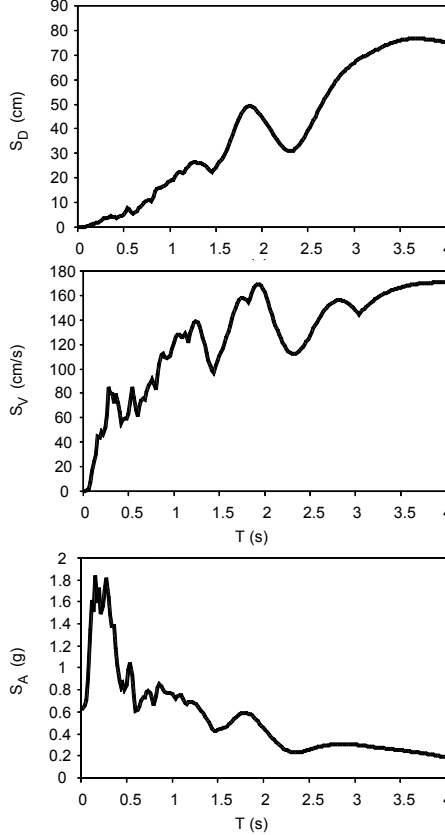
Tepkilerin en büyük değerleri spektral değerler olarak adlandırıldığından spektral yerdęđiřtirme S_D , spektral hız S_V ve spektral ivme S_A aşağıdaki gibi tanımlanabilir. Tipik grafikleri Şekil 3-23'de gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} S_D(\xi, T) &= |x(t, \xi, T)|_{max} && \text{(en büyük görel yerdęđiřtirme)} \\ S_V(\xi, T) &= |\dot{x}(t, \xi, T)|_{max} && \text{(en büyük görel hız)} \\ S_A(\xi, T) &= |\ddot{x}(t, \xi, T) + \ddot{x}_g(t)|_{max} && \text{(en büyük mutlak ivme)} \end{aligned} \quad (3.100)$$

Spektral sözde hız ve spektral sözde ivme de

$$S_v = \omega S_D = \frac{2\pi}{T} S_D ; S_a = \omega S_v = \omega^2 S_D = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 S_D \quad (3.101)$$

olarak elde edilir.

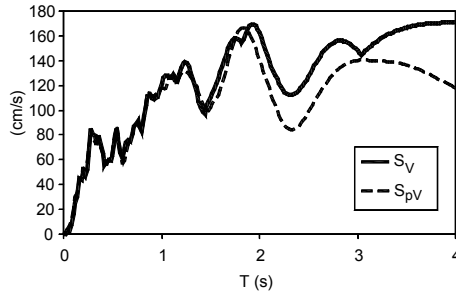


Şekil 3-23 Yerdeğiştirme, hız ve ivme spektrumları (Kocaeli Depremi 1999)

Büyükliklerin elde edilışinden de anlaşılacağı üzere spektral sözde ivme S_a , spektral ivme S_d 'ya oldukça yakın değerler verirken spektral sözde hız S_v ile spektral hız S_V arasında aynı duyarlılıkta yakınsama bulunmamaktadır. Küçük sönüm oranları için yine kabul edilebilir yakınsama sağlanabilmektedir. Şekil 3-24'de spektral hız ile spektral sözde hız grafiklerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.

Denklemler (3.102)'de verilen eşitlikler basit harmonik hareket yapan sönümsüz tek serbestlik dereceli sistem için kesin olarak sağlanırken diğer durumlarda (örneğin sönümün bulunduğu ve çok serbestlik dereceli sistemlerde) yaklaşık olarak sağlanabilmektedir.

$$|S_D| = \left| \frac{S_V}{\omega} \right| = \left| \frac{S_A}{\omega^2} \right| \quad (3.102)$$



Şekil 3-24 Hız spektrumu ve sözde hız spektrumu grafiklerinin karşılaştırılması

Yerdeğiştirme spektrumu, sözde hız spektrumu ve sözde ivme spektrumu aynı bilgileri içerdiklerinden bu spektrumlardan bir tanesinin bilinmesi ile Denklem (3.101) kullanılarak diğerleri elde edilebilmektedir. Aynı bilgiyi içeren spektrumların kullanılmasındaki amaç her birinin farklı fiziksel büyüklüğü temsil edebilmesidir. Yerdeğiştirme spektrumu sistemin en büyük yerdeğiştirmesinin, sözde hız spektrumu en büyük şekildeğiştirme enerjisinin ve sözde ivme spektrumu en büyük eşdeğer statik kuvvetinin ve taban kesme kuvvetinin belirlenmesini sağlamaktadır.

Depremde sistemde depolanan şekildeğiştirme enerjisinin (E_{so}) en büyük değeri Denklem(3.103) ile elde edilebilir. En büyük yerdeğiştirme kinetik enerjisinin sıfır, şekildeğiştirme enerjisinin maksimum olduğu duruma karşı gelmektedir. Bu enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesi durumunda en büyük göreceli hız değeri elde edilir. Denklem sol tarafı şekildeğiştirme enerjisinin maksimum olması durumuna karşı gelirken sağ tarafı m kütle sine ve S_v hızına sahip sistemin kinetik enerjisini göstermektedir. S_v 'nin sözde hız spektrumu olarak adlandırılmasının nedeni hız birimine sahip olmasına karşın \dot{x}_{max} hız spektrumuna eşit olmamasıdır.

$$E_{so} = \frac{kS_D^2}{2} = \frac{k(S_v/\omega)^2}{2} = \frac{mS_v^2}{2} \quad (3.103)$$

Tek serbestlik dereceli sisteme etkiyen yatay kuvvetin veya taban kesme kuvvetinin en büyük değeri Denklem (3.104) ile elde edilebilir.

$$V_{bo} = f_{so} = kS_D = m\omega^2 S_D = mS_a \quad (3.104)$$

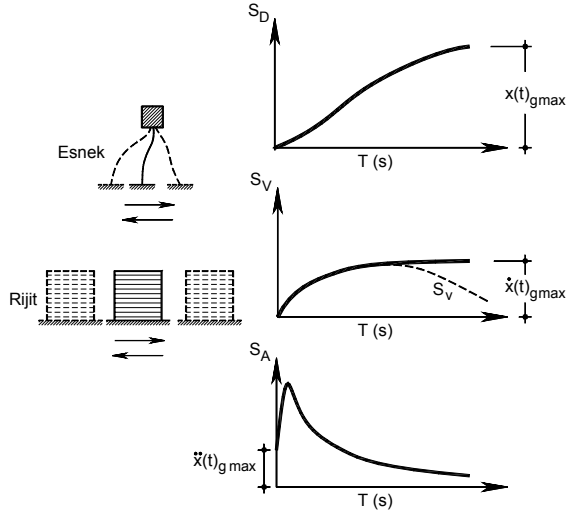
Taban kesme kuvveti m kütleli sistemde S_a ivmesi ile oluşan atalet kuvvetine eşit olmaktadır. Taban kesme kuvvetinin en büyük değeri

$$V_{bo} = mS_a = \frac{S_a}{g} w \quad (3.105)$$

şeklinde de yazılabilir. Burada w yapı ağırlığını, S_a/g ise yatay kuvvetin yapı ağırlığına oranını göstermektedir.

Bir tek deprem kaydı için elde edilen spektrum eğrileri ani değişimler gösterebilmektedir. Bir çok deprem kaydı kullanılarak oluşturulan ortalama spektrum eğrileri daha yumuşak bir şekle sahip olmaktadır. Bu tür ortalama spektrumların belirli bir sönüm oranı için genel şekilleri Şekil 3-25'de gösterilmektedir.

Periyodun çok büyük değerleri için sistem çok esnek olacağından zemin titreşim hareketini yaparken kütle yerinde kalacaktır. Bu durumda spektral yerdeğiştirme değeri (S_D) en büyük zemin yerdeğiştirmesine ($|x(t)_g|_{max}$), spektral hız da (S_V) en büyük zemin hızına ($|\dot{x}(t)_g|_{max}$) eşit olacaktır. Sözde spektral hız (S_v) periyot ile ters orantılı olduğundan sıfır değerine yaklaşacaktır. Spektral ivme değeride sıfıra yaklaşacaktır. Sözde ivme değeride ω^2 ile orantılı T^2 ile ters orantılı olduğundan benzer biçimde sıfır değerine yaklaşacaktır.



Şekil 3-25 Esnek ve rijit yapıların yer hareketi etkisinde davranışı

Periyodun çok küçük değerleri için sistem çok rijit olacağından sistem zemin ile birlikte hareket edecektir. Spektral yerdeğiştirme ve spektral hız sıfıra yaklaşacaktır. Bu durumda spektral ivme ve spektral sözde ivme en büyük yer ivmesine $|\ddot{x}(t)_g|_{max}$ yaklaşacaktır.

4. TASARIM İLKELERİ VE DEPREM ETKİLERİ

4.1. Giriş

Bir yapının deprem esnasındaki davranışı oluşan depremin şiddetine ve yapının kalitesine bağlıdır. Yapı kalitesi; taşıyıcı sistem seçimi, elemanların uygun boyutlandırılması ve uygulamanın denetlenmesi gibi mühendisin kontrolünde olabilen aşamalara bağlı olduğundan yeterli güvenlik daha çok bu değişken üzerinden sağlanmaya çalışılmaktadır. Oluşabilecek deprem şiddetinin belirlenmesi ise, yapının yapılacakı yerdeki arazi çalışmaları veya daha önce yakın bölgelerde oluşan depremlerin değerlendirilmesi ile öngörülme çalışılsa da yapı ömrü boyunca hangi büyüklükte, hangi sıklıkta olacağı hakkında büyük belirsizlikler bulunmaktadır. Bu belirsizlikler nedeniyle deprem etkisi; geoteknik, sismolojik ve zemin dinamiği verileri ve eğer varsa kuvvetli yer hareketi kayıtları kullanılarak belirli bir olasılıkla ve dönüş aralığında ortaya çıkabilecek en büyük yer ivmesinin öngörülmesi ile gözönüne alınmaktadır.

4.2. Modern Deprem Yönetmeliklerinde Kullanılan İlkeler ve Gereklilikler

Deprem etkilerinin hesaplanmasındaki belirsizlikler nedeniyle yapının deprem etkilerine karşı belirli bir dayanıma sahip olarak tasarlanması gerekmektedir. Modern deprem yönetmeliklerinde farklı büyüklüklerdeki olası deprem etkilerine karşı yapı taşıyıcı sisteminin öngörülen belirli performans düzeylerini sağlayabilmesi gerekmektedir.

Genel olarak, yeni yapılacak binalarda depreme dayanıklı tasarımın ana ilkesi

- a) Hafif şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarında herhangi bir hasar oluşmaması
- b) Orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasar sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması
- c) Şiddetli depremlerde ise can güvenliği sağlamak amacıyla kalıcı hasar oluşumunun sınırlandırılması

olarak tanımlanmaktadır. Burada şiddetli deprem, bina önem katsayısı $I=1$ olan binalar için, 50 yıllık bir süre içerisinde aşılma olasılığı %10 olan ve tasarım depremi olarak adlandırılan depremdir.

Deprem etkilerine karşı dayanıklı binalarda, taşıyıcı sistemin bütününde, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlarda ve birleşim bölgelerinde deprem yüklerinin temel zeminine kadar sürekli bir şekilde, güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlikte dayanım, süneklik ve rijitlik bulunmalıdır.

4.2.1. Dayanım

Dayanımın sağlanması için taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların tasarım yüklerini güvenle taşıyabilecek biçimde boyutlandırılması ve detaylandırılması gerekmektedir.

4.2.2. Süneklik

Yapıların şiddetli depremde oluşacak etkileri elastik olarak karşılamalarının ekonomik olmayacağı ve elde edilecek çözümlerin uygulanmasının çok güç olacağı daha önceden belirtilmişti. Bu nedenle büyük depremlerde yapıların hasar göreceğini kabul etmek gerekmektedir. Süneklik, dayanımı kaybetmeden büyük şekildeğiştirme veya yerdeğiştirme yapabilme özelliğine verilen addır. Malzeme sünekliği, kesit sünekliği, eleman sünekliği ve sistem sünekliği olarak farklı süneklik türleri bulunmaktadır. Deprem etkisinde sünek davranış gösteren bir yapı; elemanların ve birleşimlerin doğrusal olmayan davranışları sonucu büyük miktarda enerji yutabilmektedir. Binaya aktarılan deprem enerjisinin önemli bir bölümünün taşıyıcı sistemin sünek davranışı ile tüketilmesi için sünek tasarım ilkelerine uyulmalıdır.

4.2.3. Rijitlik

Taşıyıcı sistemin yeterli rijitliğe sahip olması tasarım yükleri etkisinde oluşacak yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması ile sağlanmaktadır. Yerdeğiştirme sınırı oluşabilecek hasarın göstergesi olabileceği düşünülerek genellikle görelî kat yerdeğiştirmesinin kat yüksekliğine oranına bağlı olarak

tanımlanmaktadır. Göreli yerdeğiştirmelerin büyük olması taşıyıcı olmayan elemanlarda hasarın büyük olmasına neden olmaktadır. Çoğu durumda bu hasarın onarımının veya yeniden yapımının maliyeti yüksek olmaktadır. Ayrıca göreli yerdeğiştirmelerin büyük olması, ikinci mertbe etkilerin büyümesine ve sistemin kararlılığının (stabilitesinin) azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımında yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması, yeterli rijitliğe sahip olacak yerdeğiştirmelerin verilen sınır değerlerden küçük olması önemli tasarım koşullarından biri haline gelmektedir.

4.3. İç Kuvvetlerin Hesabında Yapılan Kabuller

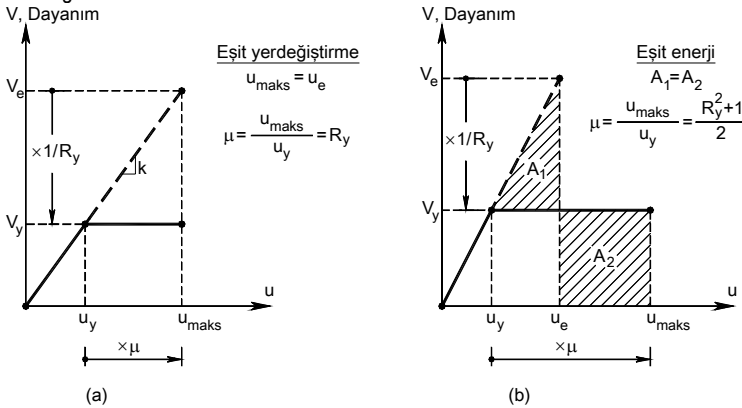
Şiddetli depremlerde yapının sünek bir davranış göstererek hasar görmesine izin verilmesi hesap yükleri etkisinde taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranış göstermesi anlamına gelmektedir. Buna göre taşıyıcı sistemin iç kuvvetlerinin hesap yükleri altında, doğrusal olmayan teori ile çözülmesi gerekmektedir. Uygulamada, doğrusal olmayan teori ile çözüm için bilgisayar programları kullanılabilse bile çözümün elde edilmesinin uzun ve zorlu oluşundan dolayı çok önemli yapılar dışındaki yapılarda doğrusal elastik çözüm ile iç kuvvetler elde edilmektedir.

Ancak, sünek davranış gösteren bir yapıda, doğrusal olmayan bölgede iç kuvvetler yapının doğrusal elastik kaldığı kabulü ile bulunan iç kuvvetlerden, periyodu çok küçük (çok rijit) yapılar dışında oldukça küçüktür. Deneysel ve sayısal araştırmalar sonucu doğrusal elastik durumdaki iç kuvvetler ile doğrusal olmayan davranış durumdaki iç kuvvetler arasında aşağıdaki ilişkinin olduğu gözlemlenmiştir. Bu basitleştirilmiş ilişkiler doğrusal olmayan teori kullanımına gerek kalmadan doğrusal olmayan davranış gösteren taşıyıcı sistemde iç kuvvetlerin düzeyinin belirlenebilmesine olanak tanımaktadır.

4.3.1. Eşit yerdeğiştirme ve eşit enerji kavramları

Eşit yerdeğiştirme kavramı, aynı deprem etkisi altında başlangıç periyotları aynı ve spektrum hız bölgesinde bulunacak kadar uzun olan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan sistemlerin en büyük yerdeğiştirme değerlerinin yaklaşık olarak eşit olacağını öngören ve gözleme dayanarak ulaşılan bir yaklaşıma verilen addır. Bu yaklaşımın geçerliliği, ancak çok sayıda deprem etkisi altında elde edilen çözümlerin ortalaması alındığında görülebilmektedir.

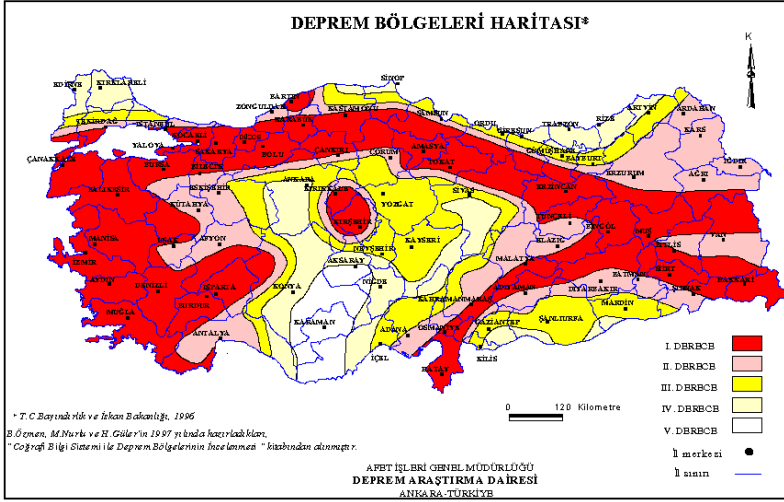
Eşit enej kavramı ise doğrusal elastik olmayan bir sistemin deprem etkisi altında yapabileceği en büyük yerdeğiştirme değerine kadar monotonik olarak itmek için gerekli enerjinin eşlenik doğrusal elastik sisteme sözde hız spektrumu kullanılarak hesaplanan depremin aktardığı enerjiye eşit olduğu kabulüne karşı gelen yaklaşıma verilen addır. Bu yaklaşım periyotları spektrum hız bölgesindeki değerlerden küçük olan sistemlerde geçerlidir ve bu tür sistemlerde elastik yerdeğiştirme elastoplastik sistemdekinden daha küçük olup yaklaşık eşitlik elastik yerdeğiştirmenin birden büyük ve süneklik oranına bağılı bir katsayı ile çarpılması ile sağlanabilir.



Şekil 4-1 Eşit yerdeğiştirme ve eşit enerji kavramları

4.4. Deprem Bölgeleri ve Etkin Yer İvmesi Katsayısı

Türkiye deprem bölgeleri haritasında, Şekil 4-2, deprem tehlikesi bulunan bölgeler derecelendirilerek dört bölgeye ayrılmıştır. Beşinci derece olarak adlandırılan bölgede deprem tehlikesi bulunmamaktadır. Deprem tehlikesi, ilgili bölgede 50 yıllık bir süre içerisinde aşılma olasılığı %10 olan deprem için etkin yer ivmesi katsayısı adı verilen deprem değişkenine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Etkin yer ivmesi katsayısı değeri deprem bölgelerinde 0.40 ile 0.10 arasında değişmekte ve 1. dereceden 4. dereceye doğru azalmaktadır, Tablo 4-1.



Şekil 4-2 Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası (1996)

Tablo 4-1 Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

4.5. Deprem Düşey Bileşeni

Deprem düşey bileşeninin etkisi en büyük düşey yer ivmesi 0.25g değerine eşit veya daha büyük olduğunda (düşey $PGA \geq 0.25g$) ve yapıda

- 20m'den büyük açıklığa sahip yatay elemanlar
- 5m ve üzeri konsol elemanlar
- Öngerilmeli yatay elemanlar
- Kiriş mesnetlenmiş kolonlar
- Sismik taban yalıtımı

bulunması durumunda gözönüne alınmalıdır.

4.6. Deprem Tepki Spektrumları

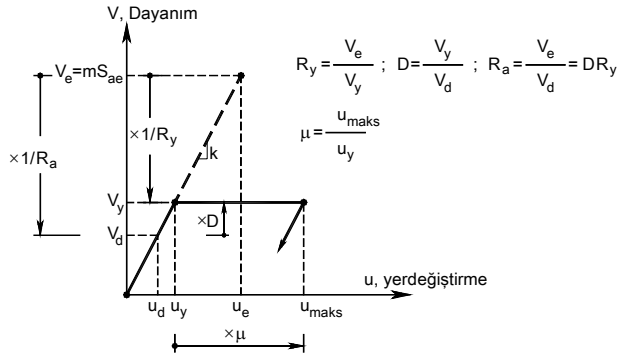
Bir yapının verilen bir deprem ivme kaydı kullanılarak çözümü yapılabilir. Ancak kullanılan deprem kaydının veya kayıtlarının daha sonra oluşacak yer hareketlerini ne derece temsil edeceği belirsizdir. Deprem etkisi altında yapının davranışını belirleyen özellikleri içeren, daha genel ve basitleştirilmiş

yöntemler daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde temel dinamik özellik olarak yapının yanal titreşim periyotları gözönüne alınmakta ve basitleştirme olarak sistem tek serbestlik dereceli sisteme indirgenmektedir. Ayrıca deprem süresince oluşan kuvvetler ve yerdeğıştirmelerin zaman ile değışiminin belirlenmesi yerine bunların en büyük değıerleri hesaplanmaktadır. En büyük etkilere karşı koyabilen yapının daha düşük etkileri de karşılayabileceğı kabul edilmiş olmaktadır.

Bu amaçla Bölüm3'de değınilen tepki spektrum kavramı kullanılmaktadır.

4.6.1. Azaltılmış Deprem Spektrumları

Tek serbestlik dereceli bir sistem deprem etkisi altında elastik davranışı aşır doğrusal olmayan bir davranış gösterirse sistemde (hasar) plastik deformasyonlar oluşacaktır. Böyle bir sistemin yük-yerdeğıştirme ilişkisi de doğrusal olmayacaktır. Şekil 4-3'de bu davranış ideal elastoplastik olarak basitleştirilmiş şekilde gösterilmektedir. Aynı şekil üzerinde doğrusal elastik davranış kesikli çizgiler ile gösterilmektedir.



Tasarım için gözönüne alınan deprem etkisi altında yapının doğrusal elastik davranış gösterecek şekilde kalabilmesi için V_e dayanım istemini karşılaması gerekmektedir. Bu şekilde tasarımın bina türü sistemlerde ekonomik ve uygulanabilir olmayacağı daha önceki bölümlerde belirtilmişti. Ekonomik ve uygulanabilir tasarım ancak yapıda sınırlı hasar oluşmasının baştan kabul edilmesi ile yapılabilecektir. Buna göre tasarlanmış bir yapı elasto-plastik davranış gösterecektir. Sistemin dayanım kapasitesi ise deprem etkisinden bağımsız olarak V_y olacaktır. Doğrusal elastik sisteme ait dayanım istemi ile doğrusal olmayan sistemin dayanımı arasındaki oran dayanım azaltma katsayısı olarak adlandırılmaktadır.

$$R_y = \frac{V_e}{V_y} \quad (4.1)$$

Doğrusal elastik olmayan sistemin en büyük yerdeğıştirmesinin elastik davranışın sona erdiği yerdeğıştirme değıerine oranı sistemin yerdeğıştirme süneklığı olarak adlandırılmaktadır.

$$\mu = \frac{u_{maks}}{u_y} \quad (4.2)$$

4.6.1.1. Dayanım Fazlalığı Katsayısı

Yapıların gerçek dayanımları (V_y) tasarımda gözönüne alınan dayanımdan (V_d) daha fazladır. Bu fazlalık, yapıda deprem etkilerine karşı gerektiğinde kullanılacak ek bir kapasite (rezerv kapasite) oluşturmaktadır. Dayanım fazlalığı katsayısı D , bunun ölçüsünü göstermekte ve gerçek dayanım ile tasarım dayanımının oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$D = \frac{V_y}{V_d} \quad (4.3)$$

Dayanım fazlalığını oluşturan etkenler

- Kullanılan yük katsayıları ile yüklerin artırılması,
- Hesaplarda kullanılan tasarım dayanımlarının karakteristik dayanımların malzeme güvenlik katsayılarına bölünerek (beton ve donatı çeliği için 1.5 ve 1.15 gibi) azaltılması, karakteristik değerlerin de ortalama değerlerden daha küçük olması,
- Taşıyıcı olmayan elemanların katkısı,
- Minimum boyut ve donatı koşullarına uyulması,
- Yüksek dereceden hiperstatiklik ve yeterli sünekliliğin bulunması durumunda kesitlerin birbirlerine yardım etmesi,
- Sargı donatısı gibi sünekliliği ve dayanımı arttıran etmenlerin varlığı

olarak değerlendirilebilir.

Dayanım fazlalığı katsayısı betonarme sistemlerde birçok değışkene bağılı olarak 1.5 ile 3.0 arasında değışen değerler alabilmektedir.

4.6.1.2. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

Dayanım azaltma katsayısını ve dayanım fazlalığını içeren yeni bir katsayı tanımlanır ve deprem yüğü azaltma katsayısı olarak adlandırılırsa doğrusal elastik sisteme ait dayanım istemi V_e 'nin tasarım dayanımı V_d 'ye oranı

$$R_a = \frac{V_e}{V_d} \quad (4.4)$$

şeklinde yazılabilir.

Dayanım Azaltma Katsayısı R_y ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı D 'den yararlanılarak, Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

$$R_a = DR_y \quad (4.5)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Eşit Yerdeğıştirme ilkesi çerçevesinde

(a) Başlangıç rijitliği çok büyük olmayan, diğere deyişle doğal titreşim periyodu sınır periyodundan daha uzun olan ($T > T_A$) görel esnek sistemlerde $R_y = \mu$ olduğundan, $R_a = D\mu$ yazılabilir. Bu bağıntının sağ tarafı, Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan "Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı" R 'ye eşittir: $R = D\mu$. Diğere deyişle, Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R , Süneklilik Katsayısı ile Dayanım Fazlalığı Katsayısının çarpımına eşittir. Dolayısı ile, yeni yapılacak binalarda $T > T_A$ için $R_a = R$ yazılabilir

(b) Başlangıç rijitliği çok büyük olan, diğere deyişle doğal titreşim periyodu sınır periyot değerinden daha kısa olan ($T < T_A$) görel rijit sistemlerde ise, $R_a = DR_y$ bağıntısı ile birlikte $R = D\mu$ tanımından ve $R_y = 1 + (\mu - 1)T / T_A$ bağıntısından yararlanılarak $R_a = D + (R - D)T / T_A$ bağıntısı yazılabilir.

Güvenli tarafta kalmak üzere $D = 1.5$ alınarak, Deprem Yönetmeliğinde verilen

$$R_a = 1.5 + (R - 1.5)T / T_A$$

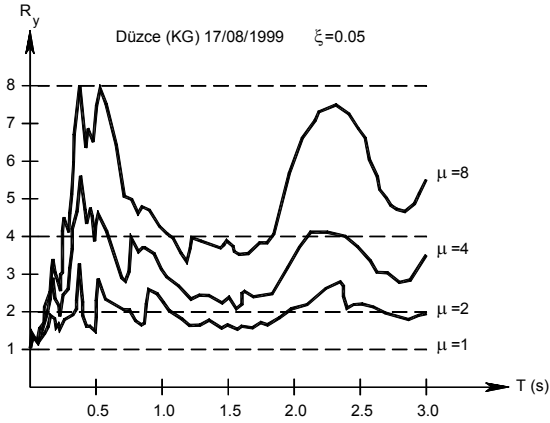
bağıntısı elde edilir,[31].

Deprem Yönetmeliklerinde esas alınan temel tasarım yaklaşımı "Dayanıma Göre Tasarım Yaklaşımı"dır. Bu yaklaşımda öncelikle davranış spektrumu kullanılarak elastik deprem yükleri belirlenir. Belirlenen bu yükler taşıyıcı sistemin türüne ve öngörülen süneklilik düzeyine bağılı olarak azaltılır. Azaltılmış yükler etkisinde taşıyıcı sistemin doğrusal elastik davranış esasına göre çözümü yapılır

4.6.1.3. Dayanım Azaltma Katsayısı- Periyot İlişkisi

Belirli bir deprem etkisi için aynı başlangıç periyoduna sahip doğrusal ve doğrusal olmayan tek serbestlik dereceli sistemler, dayanım azaltma katsayıları değiştirilerek çözülür ve karşı gelen yerdeğiştirme süneklilik değerleri μ belirlenebilir. Benzer işlem farklı periyot değerleri için yinelenerek belirli bir yerdeğiştirme sünekliliğine karşı dayanım azaltma katsayısının periyot ile değişimi elde edilir. $R_y - \mu - T$ olarak adlandırılan bu spektrumlar yardımıyla tek serbestlik dereceli doğrusal olmayan sistemlerin belirli bir deprem etkisi altında en büyük yerdeğiştirmeleri dinamik hesaba gerek kalmadan belirlenebilir. Şekil 4-4'de Kocaeli depreminde Düzce'de kaydedilen yer hareketi kullanılarak elde edilen $R_y - \mu - T$ spektrumu üç farklı yerdeğiştirme sünekliliği ve %5 sönüm değeri için gösterilmektedir.

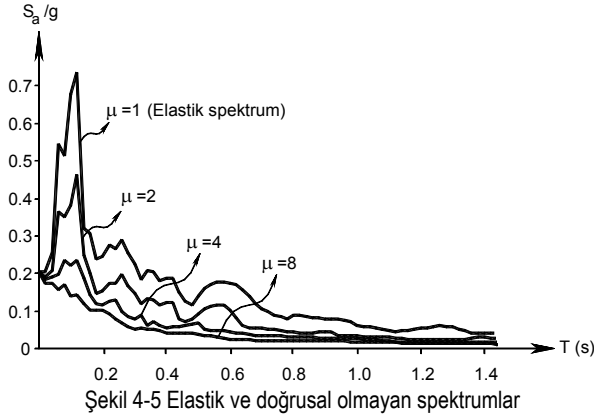
Benzer işlem farklı birçok deprem kaydı için yinlendiğinde R_y değerinin belirli bir periyoda kadar artma eğiliminde olduğu ve daha büyük periyotlarda yerdeğiştirme sünekliliği μ değerine yakın bir değere eşit olduğu gözlemlenmektedir. Bu eşitlik Şekil 4-3'de U_{maks} ile U_e 'nin birbirine yaklaşarak eşit yerdeğiştirme kuralının sağlanması olarak yorumlanabilir. Doğrusal olmayan spektral ivme değerleri $R_y - \mu - T$ spektrumundan yararlanılarak hesaplanabilmektedir. Belirli bir yerdeğiştirme sünekliliği için ve her bir periyoda karşı gelen R_y değeri $R_y - \mu - T$ spektrumundan belirlenmekte ve ilgili periyottaki doğrusal elastik spektral ivmenin belirlenen R_y değerine bölünmesi ile doğrusal olmayan spektrum elde edilmektedir.



Şekil 4-4 R- μ -T spektrumu

Benzer şekilde doğrusal olmayan yatay dayanım isteminin de aynı periyottaki doğrusal elastik yatay kuvvetin R_y değerine bölünmesi ile elde edilebileceği görülür.

$$\frac{V_e}{V_y} = \frac{mS_a}{mS_{ap}} = R_y \quad (4.6)$$

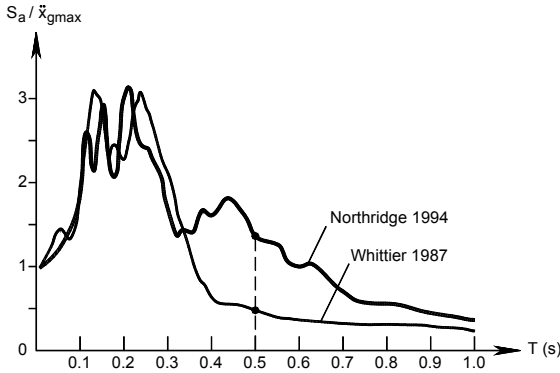


Şekil 4-5 Elastik ve doğrusal olmayan ivme spektrumları

Şekil 4-5'de doğrusal elastik ivme spektrumu ile aynı depreme ait farklı μ değerlerine karşı gelen doğrusal olmayan ivme spektrumları gösterilmektedir.

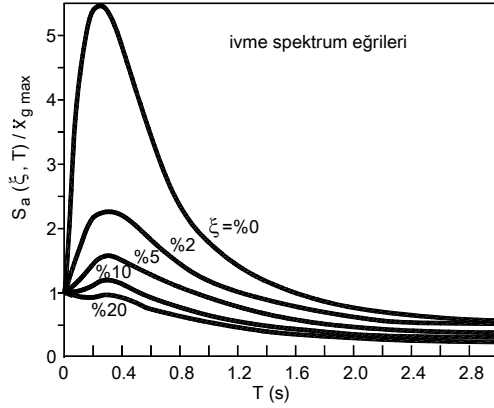
4.6.2. Elastik Tepki Spektrumu ve Tasarım Spektrumu

Elastik deprem etkilerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere her bir deprem kaydı için tepki spektrumu grafiği oluşturulabilmekle beraber bu grafikler depremden depreme farklılıklar gösterir ve ayrıca yerel zemin koşullarından etkilenir. Depremlerin bir çok ortak karakteristiği bulunmakla birlikte herbirinin kendine özgü özellikleride bulunmaktadır. İleride oluşacak depremlerde de aynı spektrumun oluşmasını beklemek gerçekçi değildir, Şekil 4-6.



Şekil 4-6 Farklı depremlere ait ivme spektrumları

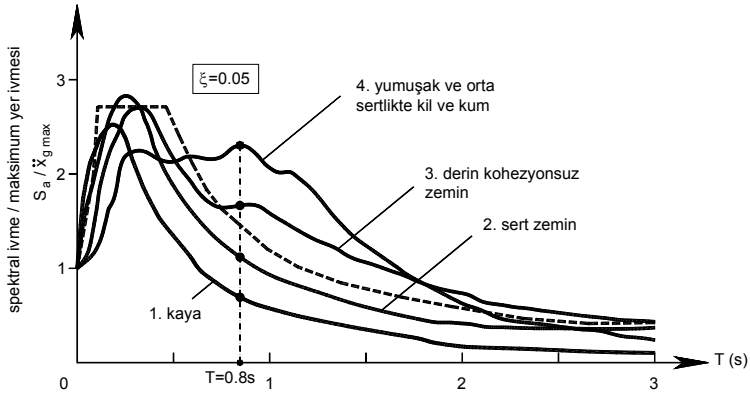
Yapıların periyotlarının ve mod şekillerinin kesin olarak belirlemek de olası değildir. Depreme dayanıklı tasarımda kütlelerin dağılımı, rijitliğin belirlenmesi, zemin koşullarındaki belirsizlik, doğrusal olmayan davranışın yapı karakteristikleri üzerinde oluşturduğu değişimler gibi bir çok başka belirsizlik de bulunmaktadır. Bu nedenle, tasarımda birçok deprem kaydı kullanılarak bunların sonuçları istatistiksel güvenlik sınırlamaları gözetilerek oluşturulan ve tasarım spektrumları adı verilen spektrumların kullanılması daha uygun olmaktadır. Tasarım spektrumları sivrilikler içermeyen daha yumuşak bir eğriden oluşmaktadır.



Şekil 4-7 Farklı sönüm oranları için ivme spektrum eğrileri

Tepki spektrumu bir depreme ait olmakla birlikte tasarım spektrumu uygun bir çok deprem kaydı kullanılarak oluşturulur, analiz ve boyutlandırma için gerekli karakteristik özellikleri içerir. Farklı sönüm değerleri için en büyük yer ivmesine oranlanarak çizilmiş tipik tasarım ivme spektrumu Şekil 4-7'de gösterilmektedir. Sönüm oranı yüksek sistemler düşük olanlara göre harekete daha büyük oranda karşı koyabileceğinden spektrum eğrilerinde sönüm oranı arttıkça spektral ivme değeri azalmaktadır.

Deprem hareketinin spektrumu zemin koşullarından önemli derecede etkilenir. Farklı zemin koşullarına ilişkin spektrum eğrilerinin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için spektrum eğrilerinin normalize edilmesi gerekmektedir. Normalizasyon işlemi periyodun sıfır olduğu noktadaki spektral ivme olan en büyük yer ivmesine göre yapılabilmektedir. Zemin sınıflarına göre ivme spektrumunun değişimi Şekil 4-8'de gösterilmiştir.

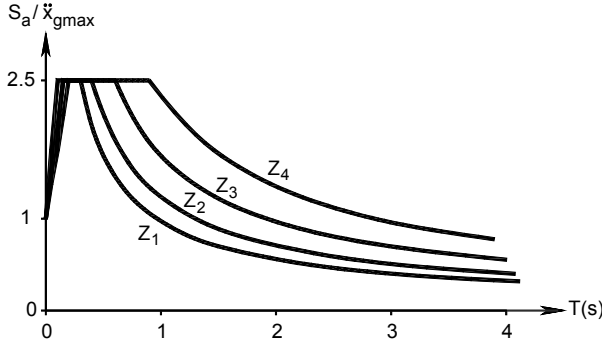


Şekil 4-8 Farklı zemin özelliklerine göre ivme spektrumunun değişimi

Şekilden gözlemlenebileceği gibi sistemin sert zemin yerine yumuşak zemin üzerinde yapılması, genelde, yapıda oluşacak ivmelerin daha büyük olmasına neden olmaktadır. Belirli bir periyot değerinden sonra sert zeminde bulunan sistemde oluşan en büyük ivme değeri maksimum yer ivmesi ile karşılaştırıldığında büyümemiş, tersine küçülmüştür. Bu davranış yumuşak zeminlerde çok daha büyük periyotlara ulaşıncaya kadar görülmemektedir.

4.6.3. DBYBHY 2007 Tasarım İvme Spektrumu

Deprem Yönetmeliğinde A,B,C ve D olmak üzere dört farklı zemin grubu tanımlanmış ve bu gruplar en üst zemin tabakası kalınlığına göre de Z1, Z2, Z3 ve Z4 olmak üzere dört farklı yerel zemin sınıfı belirlenmiştir. Deprem yönetmeliğinde verilen tasarım spektrumu farklı zemin koşulları için Şekil 4-9'da gösterilmektedir.



Şekil 4-9 Farklı zemin sınıfları için tasarım ivme spektrumu

Grafik incelenirse aynı maksimum yer ivmesi etkisinde periyotları farklı sistemlerde ivme değeri büyüebilmekte ve bu büyüme en büyük değer olarak 2.5 kata kadar çıkabilmektedir. Yer ivmesinin yapı içinde ne oranda değiştiğini gösteren ve doğal periyoda bağlı olan ivme büyütme katsayısı $S(T)$ spektrum katsayısı olarak adlandırılır. Zemin sınıflarına bağlı olarak ivme büyütme katsayısının en büyük değeri aldığı periyot aralığının Z1'den Z4'e doğru uzadığı Şekil 4-9'dan görülmektedir. Bu bölgenin sınırlarını oluşturan periyot değerlerine spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B) adı verilmektedir ve değerleri Tablo 4-2'de gösterilmektedir.

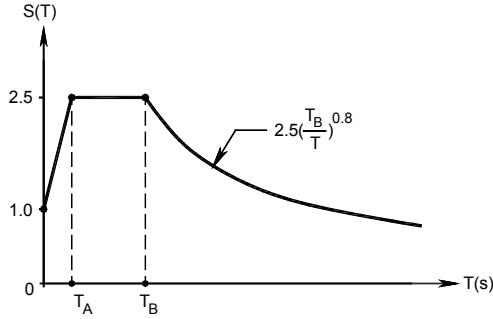
Tablo 4-2 Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A , T_B)

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (sn)	T_B (sn)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Spektrum katsayısı yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye bağlı olarak (4.7)'de verilen bağıntılar ile hesaplanır. Yerel zemin koşulları spektrum karakteristik periyotları T_A ve T_B ile gözönüne alınmaktadır.

$$\begin{aligned}
 S(T) &= 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S(T) &= 2.5 & (T_A \leq T \leq T_B) \\
 S(T) &= 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} & (T > T_B)
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

Spektrum katsayısının grafiği Şekil 4-10'da gösterilmektedir.

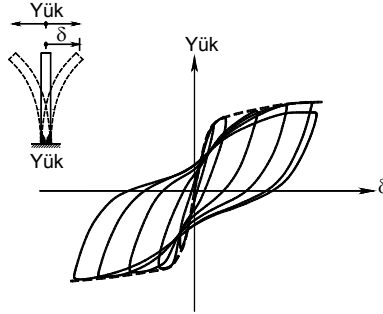


Şekil 4-10 Spektrum Katsayısı

4.7. Elastik Ötesi Doğrusal Olmayan Davranış

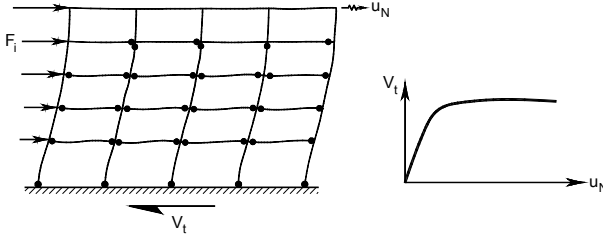
Elastik davranış spektrumu kullanılarak hesaplanan elastik deprem yükleri, taşıyıcı sistemin doğrusal elastik olması ve sistemde etkiyen yükler altında hiçbir hasarın oluşmaması durumunda oluşabilecek yüklerdir. Bu durumda şiddetli depremlerin etkisi altında ortaya çıkacak elastik deprem kuvvetleri çok büyük değerlere ulaşacaktır ve bu değerlerle ekonomik bir yapı tasarımı olanaksız olacaktır. Bu nedenle yeni yapılacak binalarda, kullanacak kişilerin can güvenliğini sağlamak koşulu ile şiddetli depremlerde taşıyıcı sistemde belirli düzeyde hasara tasarımda "bilerek" izin verilmektedir. Burada tasarımda hasara izin verilmesi, taşıyıcı sistemin bazı elemanlarının doğrusal olmayan davranış gösterebilecek şekilde tasarlanması anlamına gelmektedir, [31].

Şekil 4-11'de konsol bir kolonun taban kesitindeki belirli bir bölgede oluşan plastik şekildeğışirmelere (hasara) bağlı olarak çevrimsel yükleme altında dayanım-yerdeğışirme eğrisi gösterilmektedir. Kesikli çizgi ile gösterilen çevrimsel yüklemede elde edilen eğrilerin tepe noktalarının birleştirilmesi ile çizilen eğri zarf eğrisi veya iskelet eğrisi adını almaktadır. Genellikle zarf eğrisinin, aynı sisteme yükün monotonik artırılarak etkimesi durumunda elde edilecek eğri ile benzer olacağı deneysel çalışmalarda gözlemlenen bir sonuçtur.



Şekil 4-11 Betonarme Konsol Elemanda Dayanım-Yerdeğışirme İlişkisi

Etkiyen statik çevrimsel yükleme yerine aynı sistemin tabanına deprem yer hareketi etkimesi durumunda Şekil 4-11'de gösterilen davranış eğrileri zamana bağlı olarak oluşacaktır. Bu durumda da sistemin taşıyabileceği en büyük yük değeri statik çevrimsel yüklemede elde edilen en büyük yük değerine yaklaşık eşit olacaktır. Bu yük, sisteme etkiyecek deprem yükü olarak değerlendirilebilir ve deprem yer hareketinin büyüklüğünden bağımsız olarak, taşıyıcı sistemin dayanımına eşit olacaktır. Bu sonuç, doğrusal olmayan sistemde şiddetli bir depremde yapıya etkiyecek olan deprem yükünün, depremin büyüklüğü ile değil, tasarım mühendisinin oluşturduğu sistemin dayanımı ile ilişkili olduğunu göstermektedir.



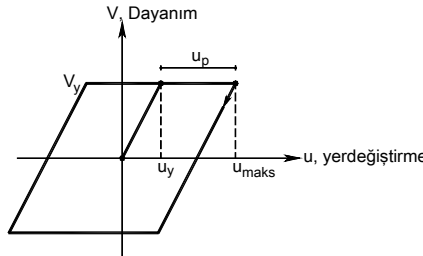
Şekil 4-12 Çerçeve sistemde oluşan plastik mafsallar ve dayanım-yerdeğiştirme ilişkisi

Bina türü sistemler çok serbestlik dereceli sistemler olduğundan deprem etkisi altında oluşacak plastikleşme (hasar) iç kuvvetlerin en büyük olduğu kesitlerde oluşacaktır. Şekil 4-12'de kolon ve kirişlerden oluşan çerçeve sisteminin plastikleşen kesitleri (plastik mafsallar) ve tipik dayanım-tepe yerdeğiştirme ilişkisi gösterilmektedir. Bu eğri tek serbestlik dereceli sistem için tanımlanan zarf eğrisinin benzeri olarak değerlendirilebilir. Elde edilen taban kesme kuvveti de çerçeve sistemin dayanımına karşı gelmektedir.

4.8. Doğrusal Olmayan Davranış ve Hesaplarda Kullanım Amacıyla İdealleştirme

Depremi oluşturduğu yer hareketinin özelliğine bağlı olarak, deprem yüklerinde tersinmeler oluşur. Deprem sırasında, bu yük tersinmeleri bir çok kez yinelenir. Bu yük tersinmelerine "yük çevrim halkaları" adı da verilmektedir. Şiddetli depremlerde oluşan yük çevrim halkaları, dayanım ile ötelenme arasında, tersinir etkileri de içeren ilişkiyi göstermektedir.

Hesaplamalarda kullanılmak üzere Şekil 4-11'de gösterilen doğrusal olmayan davranışın basitleştirilerek idealleştirilmesi gerekmektedir. En basit olarak zarf eğrisi Şekil 4-13'de gösterildiği şekilde iki doğrulu olarak modellenebilmektedir. Genellikle ikinci doğrunun eğimi yatay olarak alınarak model elasto-plastik model olarak adlandırılmaktadır. Bu modelde yükleme ve boşaltma eğrileri, zarf eğrisinin başlangıç doğrusuna paralel doğru parçalarından oluşacak şekilde temsil edilmektedir. İdealleştirilmiş zarf eğrisindeki iki doğrunun kesişim noktası akma noktası, bu noktaya karşı gelen dayanım akma dayanımı, yerdeğiştirme ise akma yerdeğiştirme olarak adlandırılmaktadır. Maksimum toplam yerdeğiştirme u_{maks} ile gösterilmiştir.



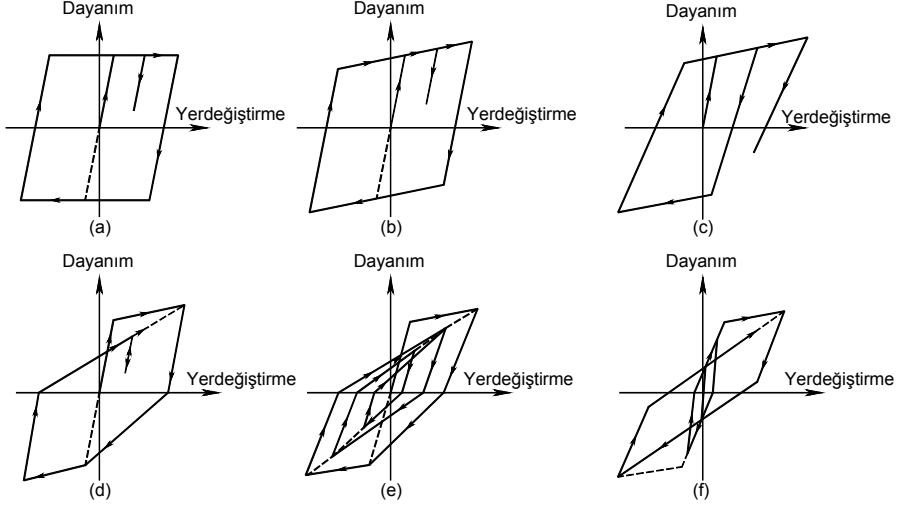
Şekil 4-13 Elasto-plastik dayanım-yerdeğiştirme modeli

Çevrim halkaları davranış hakkında fikir verebilecek özelliklere sahiptir. Çevrim halkaları içinde kalan alan deprem sırasında tüketilen enerjinin ölçüsünü göstermektedir. Çevrim halkaları

- Eğilme momentinin etkin olduğu
- Kesme kuvvetinin etkin olduğu

halkalar olarak iki grupta sınıflandırılabilir. Taşıyıcı sisteme deprem sırasında aktarılan enerji taşıyıcı sistem içinde tüketilmelidir. Bu tüketimin, taşıyıcı elemanlarda eğilme momentinin etkin olduğu çevrim halkaları

oluşturularak sağlanması gereklidir. Bunun nedeni, güç tükenmesinin eğilme momenti dayanımına ulaşarak oluşmasının sünek bir davranış türü olmasıdır.



Şekil 4-14 Eğilme türü davranışın belirleyici olduğu betonarme elemanlar için farklı dayanım-yerdeğiştirme modelleri a) İdeal elastoplastik model b) Pekleşmeli elastoplastik model c) İki doğrulu rijitliğin azaldığı model d) Değiştirilmiş Clough Modeli e) Takeda modeli f) Üç doğrulu rijitliğin azaldığı model

Kesme kuvvetinin davranışı belirlediği durumdaki çevrim halkalarında tüketilen enerjinin miktarı, eğilme momentinin etkin olduğu çevrim halkalarında tüketilene göre çok azdır. Bu nedenle davranışı kesme kuvvetinin belirleyeceği bir tasarımdan kaçınılmalıdır.

Hesaplarda kullanılan ve betonarme elemanların çevrimsel davranışlarını temsil etmek üzere geliştirilen çeşitli davranış modelleri bulunmaktadır. Sıkça kullanılan ve eğilme davranışının belirleyici olduğu davranış modellerine örnekler Şekil 4-14'de gösterilmektedir.

4.9. Depremın Dayanım İstemi ve Sunulan Dayanım

Verilen şiddetli bir deprem etkisi altında tasarlanan yapının doğrusal elastik davranması istenirse Şekil 4-3'de gösterilen V_e yüküne göre tasarlanması gerekecektir. Bu değer depremin yapıdan istediği "elastik dayanım istemi" olarak adlandırılmaktadır. Bu istemin karşılanması için ilgili yükü karşılayacak bir dayanımın sunulması gerekmektedir. Ekonomik olmayacağı için bu istem karşılanmaz. Onun yerine elastik dayanım isteminden daha küçük ama kullanıcıların can güvenliğini sağlayacak düzeyde olan bir dayanım oluşturularak bu sunulur. Sunulan bu dayanıma "dayanım kapasitesi" adı verilmektedir. Bu durumda taşıyıcı sistem, sunulan dayanımı (kapasitesi) V_y olan ve doğrusal olmayan bir davranış gösteren sistem olacaktır. Doğrusal olmayan sistemi tanımlayan iki temel değişkenden birincisi Dayanım Azaltma Katsayısı R_y 'dir. Bu katsayı doğrusal elastik dayanım isteminin (V_e) sunulan dayanıma (V_y) oranı şeklinde tanımlanır. İkinci değişken doğrusal olmayan sistemin en büyük yerdeğiştirmesinin (u_{maks}) akma yerdeğiştirmesine (u_y) oranı olan ve Süneklik Katsayısı μ olarak adlandırılan değişkendir. Süneklik katsayısı, yapı tarafından sunulan dayanıma bağlı olarak depremin yapıdan istemde bulunduğu plastik yerdeğiştirmenin ölçüsüdür.

Dayanım azaltma katsayısı ile süneklik katsayısı arasında da bir ilişki kurulabilmektedir. Faya çok yakın olarak kaydedilen depremler dışında bir çok yer hareketi kaydı kullanılarak yapılan sayısal çalışmalar

sonucu doğal titreşim periyodu belirli bir sınır periyot değerinden daha uzun olan görelî esnek sistemlerde, doğrusal olmayan sistemin yapabileceği en büyük yerdeğiştirme değeri sistemin doğrusal elastik olarak çözümlenmesi durumundaki en büyük yerdeğiştirme değerine yaklaşık olarak eşit olmaktadır. Bu durumdaki sistemlerde $R_y = \mu$ alınabileceği sonucuna varılmaktadır. Doğal titreşim periyodu belirli bir sınırdan daha küçük olan görelî rijit sistemlerde ise doğrusal olmayan sistemin en büyük yerdeğiştirme u_{maks} , doğrusal elastik sistemin en büyük yerdeğiştirmesinden daha büyük olmaktadır. Bu durumda doğal periyot T 'nin değerine bağlı olarak R_y 'nin değeri μ 'den daha küçük olmaktadır. Sınır periyot T_s depremin hakim periyodu olarak adlandırılmaktadır. Deprem Yönetmeliğinde bu değer yeni binalar için spektrum karakteristik periyotlarından küçük olanına (T_A), mevcut binalar için büyük olanına (T_B) eşit alınmıştır.

4.10. Süneklik Türleri

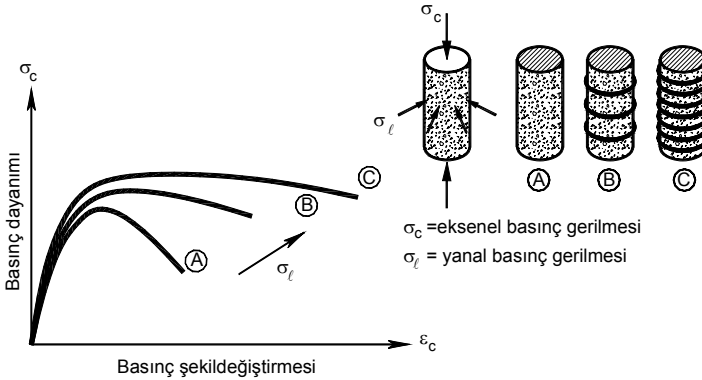
Bir yapının şiddetli deprem etkisinde dayanımını kaybetmeden deprem enerjisinin önemli bir bölümünü tüketebilmesi için yapıda yeterli sünekliğin bulunması gerektiğinden, süneklik deprem etkilerine karşı gösterilen önemli bir davranış özelliğidir.

Süneklik

- malzeme sünekliği
- kesit sünekliği
- eleman sünekliği
- sistem sünekliği

olarak sınıflandırılabilir. Bu süneklik türlerinden malzeme sünekliği dışındakiler tasarımcının kontrolindedir. Kesit sünekliği, eleman sünekliği ve sistem sünekliği birbiri ile ilişkili ve etkileşimlidir.

Malzeme sünekliği ilgili malzemenin gerilme-şekildeğiştirme diyagramından belirlenebilmektedir. Beton ve çelik malzeme sünekliği bakımından karşılaştırıldığında betonun gevrek, çeliğin sünek bir davranış gösterdiği gözlemlenmektedir. Betonun sargı donatısı ile sarılması durumunda dayanımı ve daha büyük oranda sünekliği artmaktadır, Şekil 4-15.



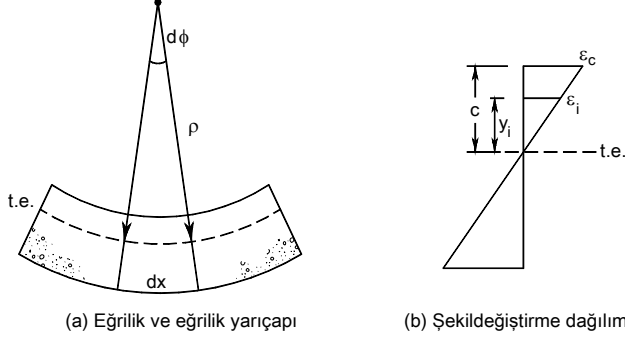
Şekil 4-15 Sargı etkisi ile betonun gerilme-şekildeğiştirme davranışının değişimi

Moment-Eğrilik İlişkisi

Elemanların davranışları önemli oranda kesitlerinin davranışına bağlıdır. Eğilme etkisindeki bir kesitin davranışı moment-eğrilik ilişkisinden incelenebilir.

Moment eğrilik ilişkisinden kesit davranışının sünek olup olmadığı, farklı moment düzeylerinde kesit rijitliğinin değişimi, kullanılan malzeme modellerine göre kabuk ve çekirdek betonlarında ezilmenin başlayıp başlamadığı ve eğilme donatısının pekleşmesinin davranış üzerindeki etkisi gözlemlenebilir.

Eğrilik, kesitteki şekildeğiştirmeyi belirten geometrik bir değişkendir. Matematiksel tanımı bir eğrideki iki komşu nokta arasındaki açı değişiminin, iki nokta arasındaki uzaklığa oranı ile elde edilen birim dönme açısı olarak yapılmaktadır.

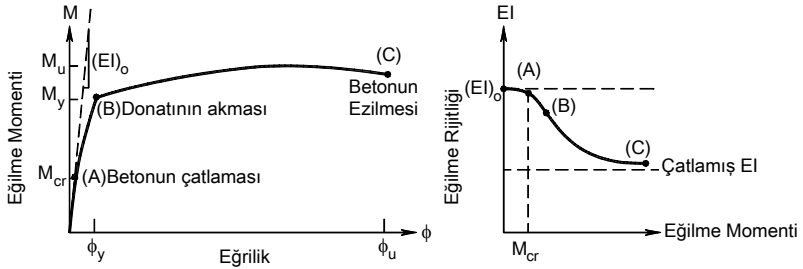


Şekil 4-16 Eğrilik

Şekil 4-16'da eğilme ve aksenal kuvvet etkisi altında şekildeğiştirmiş bir eleman parçası gösterilmektedir. Eğriliğin tanımı kullanılarak Denklem (4.8) elde edilir.

$$\kappa = \frac{d\phi}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{I}{\rho} = \frac{\epsilon_i}{y_i} = \frac{\epsilon_c}{c} \quad (4.8)$$

Şekil 4-17'de basit eğilme ekisindeki bir kiriş kesitinde moment-eğrilik ilişkisi gösterilmektedir. Eğilme rijitliğinin kesite etkileyen momentin düzeyine bağlı olduğu görülmektedir. Kesitin çatlaması ile eğilme rijitliğinde azalma meydana gelmektedir. Eğilme momentinin artması ile eğilme rijitliği çatlamış kesit eğilme rijitliğine iner. Çatlamış ve çatlamamış kesit rijitlikleri arasında önemli fark bulunmaktadır.



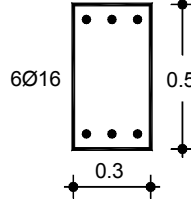
Şekil 4-17 Basit eğilmede moment-eğrilik ve eğilme rijitliği-eğilme momenti ilişkisi

Eğilme etkisindeki bir betonarme kesitte süreklilik, kesitin dayanımında önemli bir azalma oluşmadan oluşan en büyük eğriliğin, çekme donatısında akmanın olduğu durumdaki eğriliğe oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$\mu = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (4.9)$$

Örnek 4-1:

Verilen kesit için moment-eğrilik ilişkisini elde ederek bir grafik üzerinde gösteriniz. Malzeme C25/S420 Beton örtüsü $d'=30\text{mm}$.



Çözüm:

$$\begin{array}{llll} \text{C25} & \text{için} & E_c = 30000 \text{ MPa} & f_{ck} = 25 \text{ MPa} & f_{ctk} = 1.8 \text{ MPa} \\ \text{S420} & \text{için} & E_s = 200000 \text{ MPa} & f_{yk} = 420 \text{ MPa} & \end{array}$$

$$\text{Alt ve üst donatı alanları } A_s = A'_s = 603 \text{ mm}^2$$

Çatlama Momenti

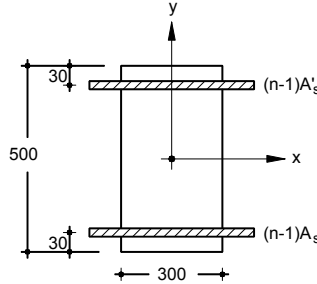
Eğilmeye çekme dayanımı $\sigma_c = 2 f_{ctk} = 2 \cdot 1.8 = 3.6 \text{ MPa}$ olarak kabul edilebilir.

$$\text{Elastisite modülleri oranı } n = 200000/30000 = 6.67$$

$$n-1 = 5.67$$

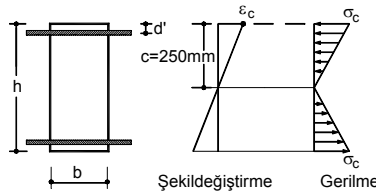
$$A = 300 \cdot 500 + 2 \cdot 3437 = 156838 \text{ mm}^2$$

$$I = 300 \cdot \frac{500^3}{12} + 2 \cdot 3437 \cdot 220^2 = 3456 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



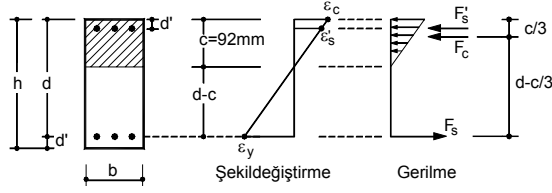
$$M_{cr} = \sigma_c \frac{I}{y_{alt}} = 3.6 \frac{3456 \cdot 10^6}{250} \rightarrow M_{cr} = 49.77 \text{ kNm}$$

$$\phi_{cr} = \frac{\sigma_c / E_c}{c} = \frac{3.6 / 30000}{250} = 0.48 \cdot 10^{-6} \text{ rad / mm}$$



Akma Durumu

Bu durumda basınç bölgesinde gerilme dağılımının doğrusal olduğu kabul edilebilir.



Basınç donatısının akmadığı varsayılırsa

$$\varepsilon_c = \frac{c}{d-c} \varepsilon_y = \frac{0.0021c}{470-c}$$

$$\sigma_c = E_c \varepsilon_c = E_c \frac{c}{d-c} \varepsilon_y = 30000 \frac{c}{470-c} 0.0021 = \frac{63c}{470-c}$$

$$F_c = \frac{1}{2} \sigma_c \cdot b \cdot c = \frac{1}{2} \cdot E_c \frac{c}{d-c} \varepsilon_y \cdot b \cdot c = \frac{9450c^2}{470-c}$$

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_c \frac{c-d'}{c} = \frac{c}{d-c} \varepsilon_y \frac{c-d'}{c} = \frac{0.0021(c-30)}{470-c}$$

$$\sigma'_s = E_s \cdot \varepsilon'_s = \frac{420(c-30)}{470-c}$$

$$F'_s = A_s \sigma'_s = \frac{253260(c-30)}{470-c}$$

$$F_s = A_s f_y = 253260 \text{ N}$$

$$F_c + F'_s = F_s$$

$$\frac{9450c^2 + 253260(c-30)}{470-c} = 253260 \quad \rightarrow \quad c=92.02 \text{ mm}$$

$$F_c = 211703 \text{ N} = 211.7 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_c = 0.511 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon'_s = 0.34 \cdot 10^{-3} < \varepsilon_y = 2.1 \cdot 10^{-3} \quad (\text{Basınç donatısının akmadığı varsayımı geçerli})$$

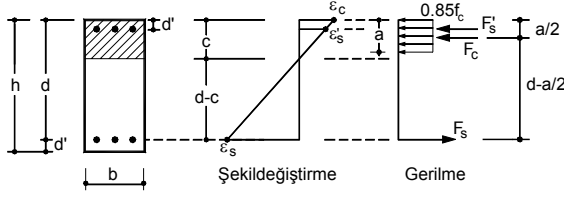
$$\sigma'_s = \varepsilon'_s E_s = 0.345 \cdot 10^{-3} \cdot 200000 = 69 \text{ MPa}$$

$$F'_s = 41607 \text{ N} = 41.61 \text{ kN}$$

$$M_y = F_c \left(d - \frac{c}{3} \right) + F'_s (d - d') = 111.3 \text{ kNm}$$

$$\phi_y = \frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{511 \cdot 10^{-6}}{92.03} = 5.56 \cdot 10^{-6} \text{ rad / mm}$$

Güç Tükenmesi Durumu



Basınç donatısının akmadığı varsayılırsa

$$F_c = 0.85 f_c b a = 0.85 \cdot 25 \cdot 300 \cdot 0.85 \cdot c = 5418.75 c$$

$$F_s = A_s f_y = 253260 N$$

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_c \frac{c - d'}{c} = 0.003 \frac{c - 30}{c}$$

$$\sigma'_s = E_s \cdot \varepsilon'_s = \frac{600(c - 30)}{c}$$

$$F'_s = A_s \sigma'_s = \frac{361800(c - 30)}{c}$$

$$F_c + F'_s = F_s$$

$$5418.75 c + \frac{361800(c - 30)}{c} = 253260 N$$

$$c = 35.85 \text{ mm} \quad a = 0.85 c = 30.5 \text{ mm}$$

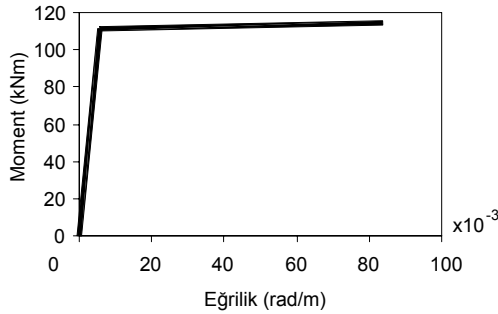
$$\varepsilon'_s = 0.49 \cdot 10^{-3} < \varepsilon_y = 2.1 \cdot 10^{-3} \text{ (Basınç donatısının akmadığı varsayımı geçerli)}$$

$$F_c = 194.26 \text{ kN}$$

$$F'_s = 59.04 \text{ kN}$$

$$M_u = F_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + F'_s (d - d') = 114.3 \text{ kNm}$$

$$\phi_u = \frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{0.003}{35.85} = 83.68 \cdot 10^{-6} \text{ rad / mm}$$



Dönme sünekliği

$$\mu_{dönme} = \frac{\phi_u}{\phi_y} = \frac{83.68}{5.56} = 15.06 \text{ olarak hesaplanır.}$$

SAP2000

Örnek 4-1'de verilen kesitin moment-eğrilik ilişkisini elde ediniz.

- SAP2000 programını çalıştırınız.
- Birim bölümünden kN,m,C seçiniz.
- Menüde File-New Model → Blank seçeneğini seçiniz.

- Menüde Define-Materials... seçeneğini seçiniz.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda Show Advanced Properties (Gelişmiş özellikleri göster) kutucuğunu seçili duruma getiriniz.
 - Add New Material... düğmesine basınız.
 - Material Name kutucuğuna C25 yazın.
 - Material Type açılır listesinden Concrete seçeneğini seçiniz.
 - Modify/Show Material Properties düğmesine basınız.
 - Weight per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.
 - Modulus of Elasticity, E kutucuğuna 30000000 yazınız
 - Poisson's Ratio, U kutucuğuna 0.2 yazınız.
 - Coefficient of Thermal Expansion, A kutucuğuna 1E-5 yazınız
 - Specified Concrete Compressive Strength f'c kutucuğuna 21250 yazınız.
 - Nonlinear Material Data... düğmesine basınız.
 - Hysteresis Type açılır listesinden Elastic seçeneğini seçiniz.
 - Stress-Strain Curve Definition Options (Gerilme-Şekildeğiştirme Eğrisi Seçenekleri) bölümünden User-Defined (Kullanıcı tanımlı) seçeneğini seçiniz.
 - Number of Points in Stress-Strain Curve kutucuğuna 11 yazınız ve tabloyu aşağıdaki şekilde doldurunuz.

Strain	Stress
-0.003	-21250.00
-0.002	-21250.00
-0.00175	-20917.97
-0.0015	-19921.88
-0.00125	-18261.72
-0.001	-15937.50
-0.00075	-12949.22
-0.0005	-9296.88
-0.00025	-4980.47
0	0.00
1.00E-06	1

Nonlinear Material Data
Edit

Material Name: C25 Material Type: Concrete

Hysteresis Type: Elastic Drucker-Prager Parameters: Friction Angle: 0 Dilatational Angle: 0 Units: KN, m, C

Stress-Strain Curve Definition Options:
 Parametric
 User Defined Convert To User Defined

User Stress-Strain Curve Data
 Number of Points in Stress-Strain Curve: 11

	Strain	Stress	Point ID
1	-0.003	-21250.00	
2	-0.002	-21250.00	
3	-0.00175	-20917.97	
4	-0.0015	-19921.88	
5	-0.00125	-18261.72	
6	-0.001	-15937.50	
7	-0.00075	-12949.22	
8	-0.0005	-9296.88	
9	-0.00025	-4980.47	
10	0	0.00	A
11	1.00E-06	1	

Order Flows Show Plot...

OK Cancel

- Üç kez OK düğmesine basınız
- Add New Material... düğmesine basınız.
- Material Name kutucuğuna S420 yazın.
- Material Type açılır listesinden Rebar seçeneğini seçiniz.
- Modify/Show Material Properties düğmesine basınız.
- Weight per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.
- Mass per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.
- Modulus of Elasticity, E kutucuğuna 2E8 yazınız
- Poissons's Ratio, U kutucuğuna 0.3 yazınız.

- Coefficient of Thermal Expansion, A kutucuğuna 1.2E-5 yazınız
- Minimum Yield Stress, Fy kutucuğuna 420000 yazınız
- Minimum Tensile Stress, Fu kutucuğuna 420000 yazınız
- Expected Yield Stress, Fye kutucuğuna 420000 yazınız
- Expected Tensile Stress, Fue kutucuğuna 420000 yazınız

- Nonlinear Material Data... düğmesine basınız.
- Hysteresis Type açılır listesinden Elastic seçeneğini seçiniz.
- Stress-Strain Curve Definition Options (Gerilme-Şekildeğiştirme Eğrisi Seçenekleri) bölümünden User-Defined (Kullanıcı tanımlı) seçeneğini seçiniz.
- Number of Points in Stress-Strain Curve kutucuğuna 5 yazınız ve tabloyu aşağıdaki şekilde doldurunuz.

Strain	Stress
-0.1	-420000
-2.10E-03	-420000
0	0
2.10E-03	420000
0.1	420000

- Dört kez OK düğmesine basınız

Nonlinear Material Data

Edt

Material Name: S420 Material Type: Rebar

Hysteresis Type: Elastic Drucker-Prager Parameters: Friction Angle: Dilatational Angle: Units: KN, m, C

Stress-Strain Curve Definition Options: Parametric User Defined Convert To User Defined



User Stress-Strain Curve Data


Number of Points in Stress-Strain Curve: 5

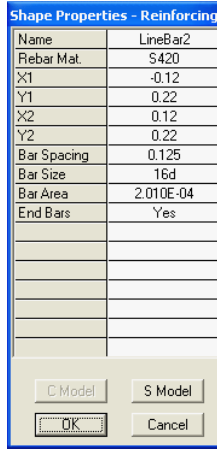
	Strain	Stress	Point ID
1	-0.1	-420000.	
2	-2.100E-03	-420000.	
3	0.	0.	A
4	2.100E-03	420000.	
5	0.1	420000.	

Order Rows Show Plot...

OK Cancel

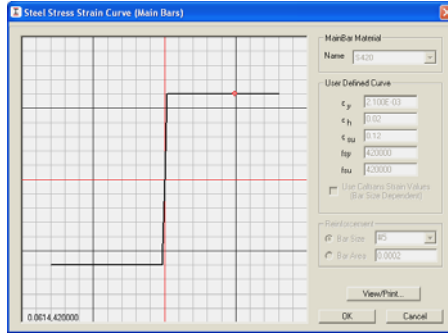
- Menüde Define-Section Properties-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Add New Property düğmesine basınız.
 - Frame Section Property Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz.
 - Section Designer düğmesine basınız.
 - Section Name kutucuğuna C50X30 yazınız
 - Base Material açılır listesinden C25'1 seçiniz.
 - Section Designer düğmesine basınız.
 - Kesit özelliklerinin oluşturulacağı yardımcı bir program çalışacaktır.
 - Ekranı gelen pencerenin sol bölümünde  simgesine basınız.
 - Dikdörtgen kesiti tanımlamak için alt bölüm olarak  simgesine tıklayınız.
 - Ekranın orta bölümünde eksenlerin kesişim noktasına tıklayınız.
 - Çizilen şeklin üzerine sağ mouse tuşuyla tıklayınız ve ekrana gelen pencerede
 - Height kutucuğuna 0.5 yazınız
 - Width kutucuğuna 0.3 yazınız



- Bir çizgi boyunca donatı oluşturmak için  alt simgesine tıklayınız.
- Kesitin üst bölümünde bir çizgi çizin.
- Çizilen donatının üzerine sağ mouse tuşuyla tıklayınız.
- X1 kutucuğuna -0.12 yazınız
- Y1 kutucuğuna 0.22 yazınız
- X2 kutucuğuna 0.12 yazınız
- Y2 kutucuğuna 0.22 yazınız
- Bar Size açılır listesinden 16d ($\phi 16$ donatı) seçeneğini seçiniz
- Çizginin uçlarında donatıları oluşturmak için End Bars açılır listesinden Yes seçeneğine tıklayınız.



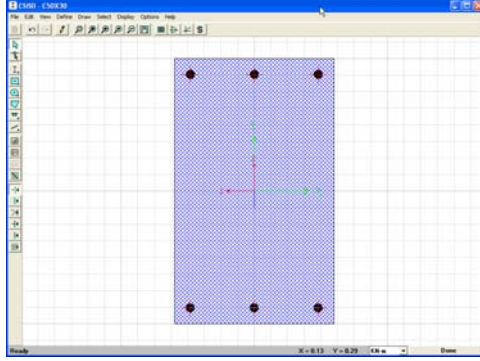
Name	LineBar2
Rebar Mat.	S420
X1	-0.12
Y1	0.22
X2	0.12
Y2	0.22
Bar Spacing	0.125
Bar Size	16d
Bar Area	2.010E-04
End Bars	Yes


- S Model düğmesine basarak donatı için hesaplarda kullanılacak gerilme-şekildeğiştirme ilişkisini ekrana getiriniz.

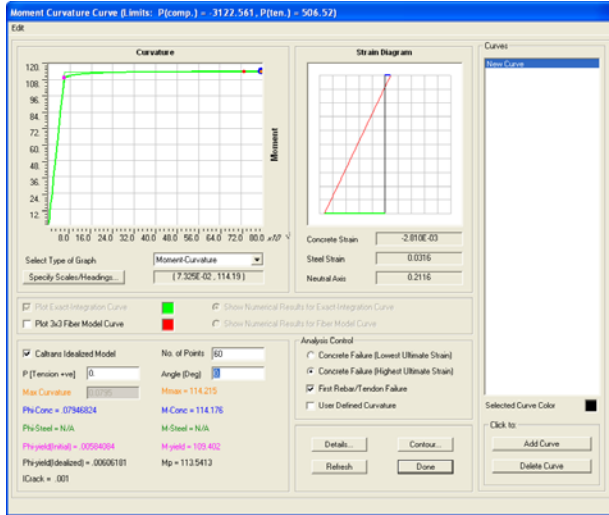


- 2 kez OK düğmesine basınız.
- Alt donatıyı çizmek için  simgesine tıklayınız.
- Bir çizgi boyunca donatı oluşturmak için  alt simgesine tıklayınız.
- Kesitin üst bölümünde bir çizgi çizin.
- Çizilen donatının üzerine sağ mouse tuşuyla tıklayınız.
- X1 kutucuğuna -0.12 yazınız
- Y1 kutucuğuna -0.22 yazınız

- X2 kutucuğuna 0.12 yazınız
- Y2 kutucuğuna -0.22 yazınız
- Bar Size açılır listesinden 16d ($\phi 16$ donatı) seçeneğini seçiniz
- Çizginin uçlarında donatıları oluşturmak için End Bars açılır listesinden Yes seçeneğine tıklayınız.
- OK düğmesine basınız.



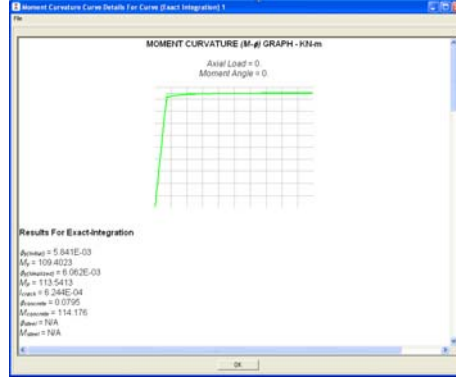
- Moment-Eğrilik grafiğini oluşturmak için  simgesine tıklayınız.
 - Ekranaya gelen ileti kutusunda No. of Points kutucuğuna 60 yazınız.
 - Caltrans Idealized Model kutucuğunu seçili duruma getirin.



- Details düğmesine basarak sonuçların ayrıntılarını inceleyiniz.
- Akma durumunda moment $M_y=109.4\text{kNm}$, karşı gelen eğrilik $5.84\text{E-}3\text{rad/m}$ olarak belirlenmiştir.
- Güç tükenmesi durumunda moment $M_u=114.2\text{kNm}$ karşı gelen eğrilik 0.0795rad/m olarak belirlenmiştir.

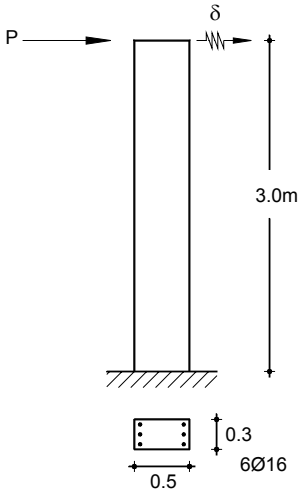
	M_y (kNm)	ϕ_y (10^{-6} rad/mm)	M_u (kNm)	ϕ_u (10^{-6} rad/mm)
Teorik	111.3	5.56	114.3	83.68
Section Designer	109.4	5.84	114.2	79.5

İki çözüm arasındaki küçük fark gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.



Not: Bilgisayar programları kullanıldığında daha fazla değişkeni gözönüne alan (betonda sargı etkisi, donatıda pekleşme vb.) malzeme modelleri kullanılarak kesit davranışı daha ayrıntılı olarak elde edilebilir.

Örnek 4-2:



Şekilde verilen sistemin yük yerdeğiştirme eğrisini elde ediniz ve yerdeğiştirme sünekliğini belirleyiniz.

Malzeme: C25/S420 $d'=30\text{mm}$

Çözüm:

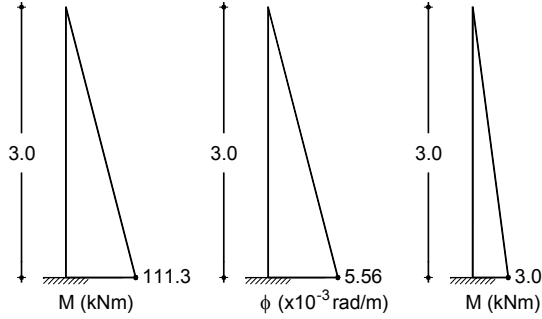
Kesit ve malzeme özellikleri Örnek 4-1'de verilen kesit ile aynı olduğundan akma ve güç tükenmesi durumunu karşı gelen eğilme momenti ve eğrilik değerleri buradan alınarak çözüme devam edilmektedir.

$$M_y = 111.3 \text{ kNm}$$

$$\phi_y = 5.56 \cdot 10^{-6} \text{ rad / mm}$$

$$M_u = 114.3 \text{ kNm}$$

$$\phi_u = 83.68 \cdot 10^{-6} \text{ rad / mm}$$



Akma durumunda yerdeğiştirmenin belirlenmesi farklı yöntemler kullanılarak yapılabilir. Mohr Yöntemi ile

$$\delta_y = \frac{\phi_y \cdot L}{2} \cdot \frac{2L}{3} = \frac{5.56 \cdot 10^{-3} \cdot 3}{2} \cdot \frac{2 \cdot 3}{3} = 16.68 \cdot 10^{-3} m$$

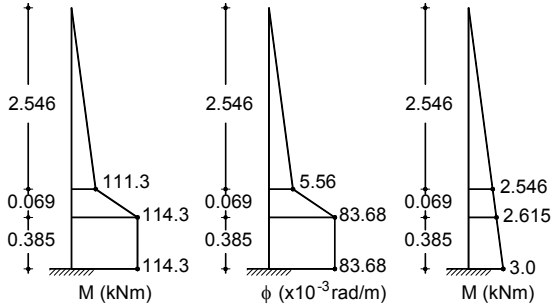
Birim Yükleme ile

$$\delta_y = \frac{1}{3} Lik = \frac{1}{3} \cdot 3 \cdot 5.56 \cdot 10^{-3} \cdot 3 = 16.68 \cdot 10^{-3} m$$

Plastik mafsalsal boyu

$$L_p = 0.5d + 0.05z = 0.5 \cdot 0.47 + 0.05 \cdot 3 = 0.385 m$$

Burada z kritik kesit ile moment sıfır noktası arasındaki uzaklığı göstermektedir.

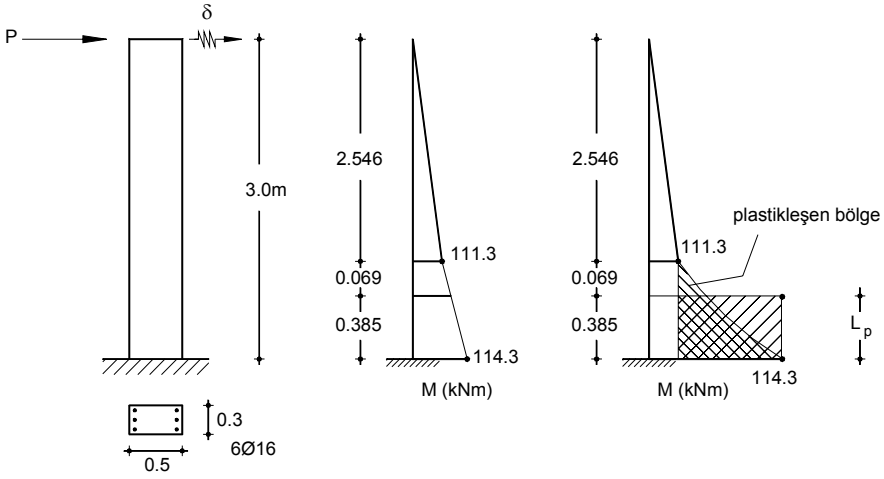


Mohr Yöntemi ile

$$\delta_y = \frac{5.56 \cdot 10^{-3} \cdot 2.546}{2} \cdot \frac{2 \cdot 2.546}{3} + 5.56 \cdot 10^{-3} \cdot 0.069 \cdot \left(2.546 + \frac{0.069}{2} \right) + \dots$$

$$(83.68 - 5.56) \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0.069}{2} \cdot \left(2.546 + \frac{2 \cdot 0.069}{3} \right) + \dots$$

$$83.68 \cdot 10^{-3} \cdot 0.385 \cdot \left(2.615 + \frac{0.385}{2} \right) = 110.43 \cdot 10^{-3} m$$



Birim Yükleme ile

$$\delta_y = \frac{1}{3} Lik + \frac{1}{6} L(2i_1k_1 + i_1k_2 + i_2k_1 + 2i_2k_2) + \frac{1}{2} Li(k_1 + k_2)$$

$$\delta_y = \frac{1}{3} \cdot 2.546 \cdot 5.56 \cdot 2.546 + \dots$$

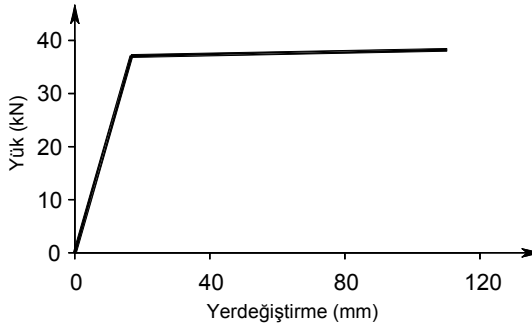
$$\frac{1}{6} \cdot 0.069(2 \cdot 5.56 \cdot 2.546 + 5.56 \cdot 2.615 + 83.68 \cdot 2.546 + 2 \cdot 83.68 \cdot 2.615) + \dots$$

$$\frac{1}{2} \cdot 0.385 \cdot 83.68(2.615 + 3.0) = 110.43 \text{ mm}$$

Yerdeğiştirme sünekliği

$$\mu_{\text{yerdeğiştirme}} = \frac{\delta_u}{\delta_y} = \frac{110.43}{16.67} = 6.62$$

olarak elde edilir. Yerdeğiştirme sünekliği kesit sünekliğinden daha küçüktür.

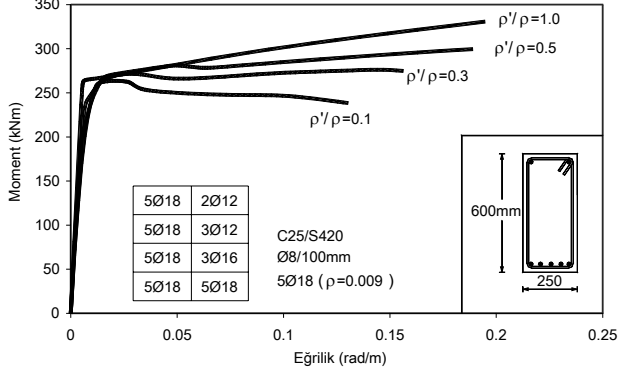


Basınç donatısı ve çekme donatısı oranlarının sünekliğe etkisi

Basınç donatısının varlığı ile zorlanmaların yüksek olduğu basınç bölgesinde basınç kuvvetinin bir bölümünün gevrek davranış gösteren beton malzemesi yerine sünek davranış gösteren donatıyla karşılanması kesit sünekliğinin artmasını sağlamaktadır. Tipik bir kiriş kesitinin moment-eğrilik grafikleri,

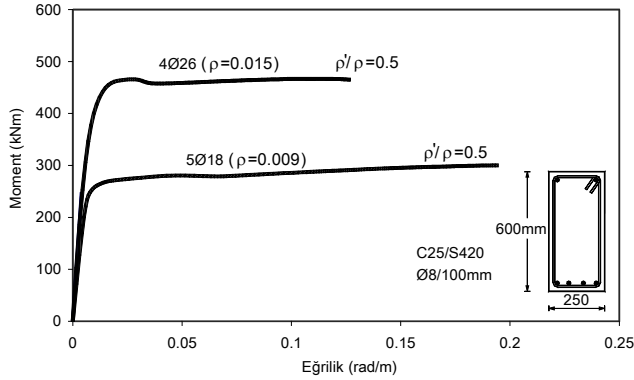
basınç bölgesindeki donatı oranının çekme bölgesindeki donatı oranına bağlı olarak Şekil 4-18'de gösterilmektedir. Bu oran (ρ'/ρ) arttıkça süneklik artmaktadır, ancak sünekliği etkileyen tek değişken ρ'/ρ değildir. Şekil 4-19'de ρ'/ρ oranları aynı, çekme donatısı oranları farklı benzer iki kirişin moment-eğrilik grafikleri gösterilmektedir.

Kesit davranışından görüldüğü üzere çekme donatısı oranı arttıkça taşınabilecek moment değeri artmakla birlikte sünekliğin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4-18 Basit eğilme durumunda basınç donatısı oranının sünekliğe etkisi

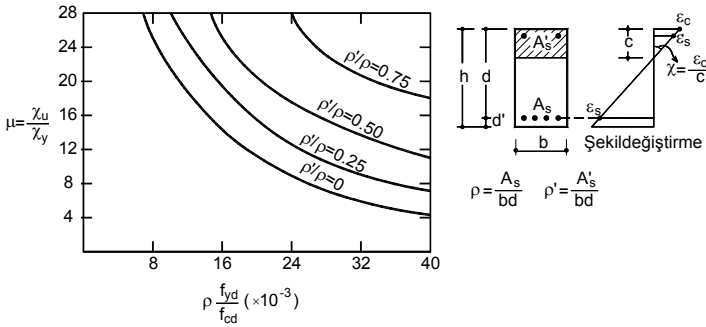
Deprem yönetmeliğinde verilen (Madde 3.4.2.4) "süneklik düzeyi yüksek kirişlerde açıklık ve mesnet kesitlerinde çekme donatısı oranı TS500'de verilen maksimum değerden ($0.85\rho_b$) ve %2'den fazla olmayacaktır" koşulu çekme donatısı oranını sınırlandırarak kesite belirli bir süneklik kazandırma amaçlıdır.



Şekil 4-19 Basit eğilme durumunda çekme donatısı oranının sünekliğe etkisi

Şekil 4-20'de çekme donatı oranı ve basınç donatısı/çekme donatısı oranının sünekliğe etkisi birlikte gösterilmektedir. Burada aşağıdaki gözlemler yapılabilmektedir.

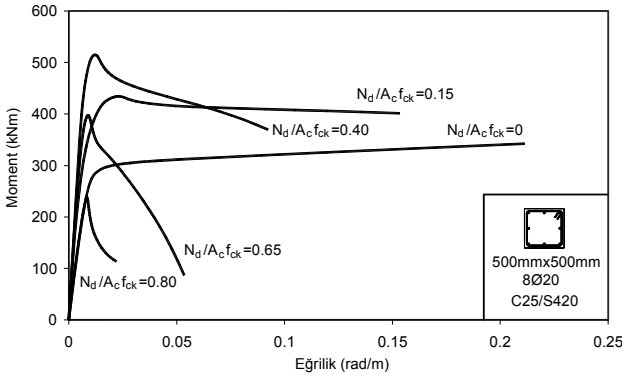
- Çekme donatısı oranı arttıkça süneklik azalmaktadır.
- Aynı çekme donatısı oranı için basınç donatısının çekme donatısına oranı arttıkça süneklik artmaktadır.



Şekil 4-20 Çekme donatısı ve basınç donatısı/çekme donatısı oranının süneklığe etkisi
Eksenel kuvvet düzeyinin süneklığe etkisi

Betonarme bir kesitin süneklığı Şekil 4-16'daki tanım uyarınca kesitin şekildeğiştirme dağılımının eğiminin artmasına ve tarafsız eksen derinliğinin azalmasına bağlı olarak artmaktadır. Buna göre kesite etkiyen eksenel kuvvet düzeyi arttıkça süneklilik azalmaktadır. Eksenel kuvvet düzeyinin değişimi karşılıklı etki diyagramından da gözlemlenebileceği gibi kesitin moment taşıma kapasitesini de etkilemektedir.

Şekil 4-21'de tipik bir kolon kesiti için farklı eksenel kuvvet düzeylerinde verilen moment-eğrilik ilişkilerinden $N_o / A_c f_{ck}$ oranındaki artışa bağlı olarak kesitin süneklığinin belirgin olarak azaldığı görülmektedir.



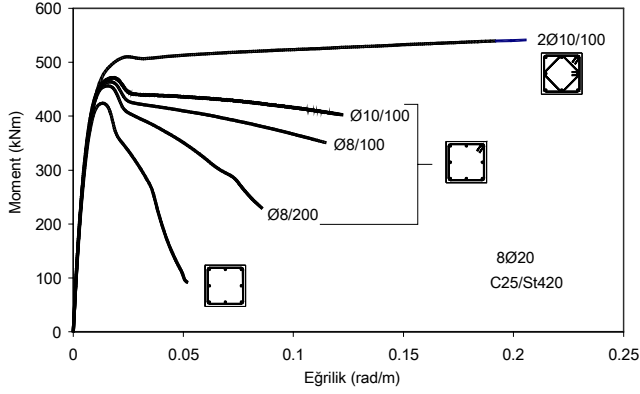
Şekil 4-21 Eksenel Kuvvet Düzeyinin Süneklığe Etkisi

Deprem yönetmeliğinde Bölüm 3.3.1.2'de verilen $N_d / A_c f_{ck} \leq 0.5$ koşulu eksenel kuvvet düzeyini sınırlandırarak kesite belirli bir süneklilik kazandırmak amaçlıdır.

Sargı Etkisi

Beton çekirdek bölgesini saran sargı donatısının, özellikle kolonların dayanım ve süneklığı üzerinde olumlu etkisi bulunmaktadır. Betonarme kolonlarda eksenel yük düzeyi belirli bir değere ulaştığında kabuk betonu ezilmektedir. Bundan sonra artan eksenel kısalma altında çekirdek betonu yanal doğrultuda genişlemeye çalışmakta fakat sargı donatısı bu genişlemeyi sınırlandırarak çekirdek betonuna pasif basınç uygulamaktadır. Bu basınç ile çekirdek betonu tek eksenli basınç gerilmesi etkisinden üç eksenli basınç gerilmesi etkisi altına geçmektedir. Böylece sargı donatısının etkisi ile betonun dayanımı ve süneklığı artmış olmaktadır. Sargı donatısının bulunması betonun en büyük birim kısalmasını (ϵ_{cu}) artırarak süneklığın artmasını sağlamaktadır.

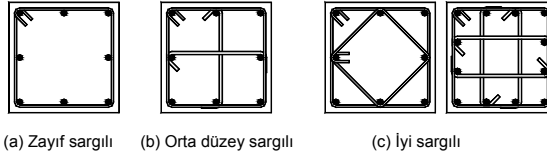
Sargı donatısının etkinliği kesit alanının (A_o) artması ve adım aralığının (s) azalması ile artmaktadır. Bir etriye köşesi veya çiroz tarafından tutulan iki boyuna donatı arasındaki uzaklık (a_i) arttıkça sargı donatısı etkinliği azalmaktadır.



Şekil 4-22 Sargı donatısının kesit davranışına etkisi

Şekil 4-22'de aynı boyuna donatı miktarına ve malzeme özelliklerine sahip tipik bir kolon kesiti için değişik etriye oranları bulunması durumunda sabit bir eksenel yük düzeyindeki moment eğrilik ilişkileri gösterilmektedir. Etriyesi sargı etkisi oluşturamayacak bir detaya sahip (uçlarında 135° kanca bulunmayan) olan kesit gevrek bir davranış gösterirken, detaylandırması sargı etkisi oluşturan (uçlarında 135° kanca bulunan) durumda artan etriye oranı ile davranış sünek bir duruma gelmektedir. Sargı etkisi ile süneklilikte görülen artış dayanımda olan artıştan daha büyük olmaktadır.

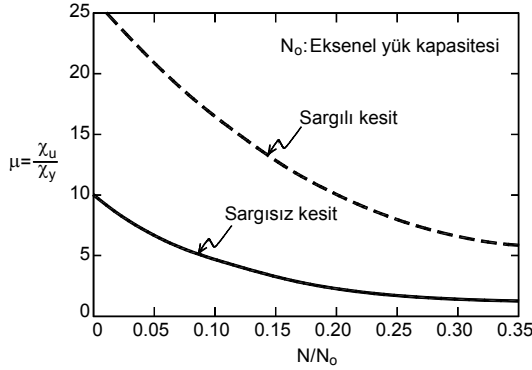
Şekil 4-23'de farklı sargı donatısı yerleşim detayları ve bunların sargılama etkinlikleri gösterilmektedir. Yönetmelikler donatı ara uzaklıkları yeterli olduğunda Şekil 4-23a'da gösterilen, boyuna donatıları saran tek bir etriye düzenine izin vermekle birlikte sargılama etkisi zayıf olacağından bu detaylandırmanın kullanılması önerilmemektedir.



Şekil 4-23 Sargı donatısı yerleşimi örnekleri ve sargılama düzeyleri

Şekil 4-24'de eksenel yük düzeyi ve sargı etkisinin sünekliliğe etkisi birlikte gösterilmektedir. Buradan aşağıdaki gözlemler yapılabilmektedir.

- Eksenel yük düzeyi arttıkça süneklilik azalmaktadır.
- Aynı eksenel yük düzeyi için sargı etkisi arttıkça süneklilik artmaktadır.



Şekil 4-24 Eksenel yük düzeyi ve sargı etkisi ile sünekliğin değişimi

4.10.1. Süneklik Düzeyi ve Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı İlişkisi

Deprem Yönetmeliğinde taşıyıcı sistem davranış katsayısı R , sistemin süneklik düzeyine bağlı olarak tanımlanmaktadır, Tablo 4-3.

Tablo 4-3 Betonarme Sistemlerde Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)

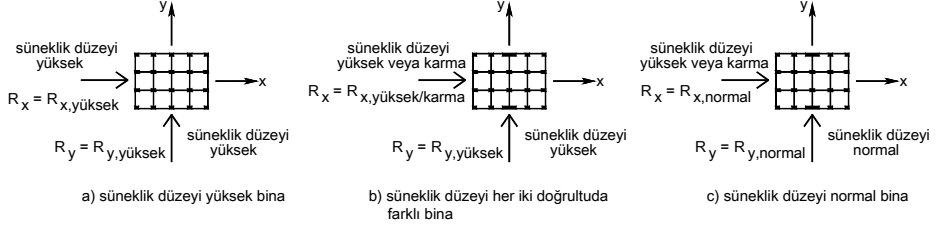
BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin 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

4.10.2. Betonarme Sistemlerin süneklik düzeyine bağlı olarak sınıflandırılması

Deprem Yönetmeliğinde betonarme binaların taşıyıcı sistemleri, süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi normal olarak sınıflandırılmaktadır. Yönetmelik bu sınıflandırmaya ek olarak süneklik düzeyi yüksek perdeler ile süneklik düzeyi normal sistemlerin birarada kullanılması durumunda süneklik düzeyi bakımından karma sistemler olarak adlandırılan sistemlerin kullanımına da izin vermektedir.

Taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanacak binalarda, sünekliğin yüksek olarak oluşması için tasarımda bazı ek koşulların sağlanması gerekmektedir.

Süneklik düzeyi yüksek olarak gözönüne alınan taşıyıcı sistemlerde, süneklik düzeyinin her iki yatay deprem doğrultusunda da yüksek olması zorunludur. Süneklik düzeyi bir deprem doğrultusunda yüksek veya karma, buna dik diğer deprem doğrultusunda ise normal olan sistemler, her iki doğrultuda da süneklik düzeyi normal sistemler olarak sayılmalıdır, Şekil 4-25.



Şekil 4-25 Farklı doğrultulardaki süneklik düzeyi özelliğinin davranışa etkisi

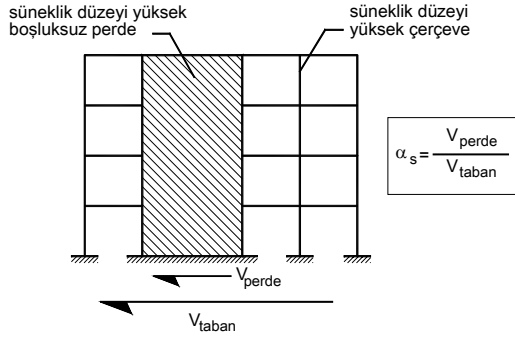
Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde Bina Önem Katsayısı $I = 1.5$ ve $I = 1.4$ olan tüm betonarme binalarda süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler veya süneklik düzeyi bakımından karma taşıyıcı sistemler kullanılmalıdır.

Perde içermeyen kirişsiz döşemeli betonarme sistemler ile, kolonları, kirişleri ve birleşim bölgeleri süneklik düzeyi yüksek olma koşullarından herhangi birini sağlamayan dişli ve kaset döşemeli betonarme sistemler, süneklik düzeyi normal sistemler olarak gözönüne alınmalıdır.

Perde içermeyen süneklik düzeyi normal taşıyıcı sistemlere, sadece üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde, aşağıdaki koşullarla izin verilebilir:

- Perde içermeyen kirişsiz döşemeli betonarme sistemler ile, kolonları, kirişleri ve birleşim bölgeleri süneklik düzeyi yüksek olma koşullarından herhangi birini sağlamayan dişli ve kaset döşemeli betonarme sistemlerin yapılmasına $H_N \leq 13m$ olmak koşulu ile izin verilmektedir.
- Bunun dışındaki taşıyıcı sistemi sadece süneklik düzeyi normal çerçevelerden oluşan binalar, $H_N \leq 25m$ olmak koşulu ile yapılabilir.

Deprem yüklerinin süneklik düzeyi yüksek boşluksuz perdeler ile süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle taşınan binalarda binanın tümü için tabanda oluşan taban kesme kuvvetinin çok büyük bir bölümü perdeler tarafından karşılanır. Perdelerin rijitliği, çerçeve sistemdeki kolonlara göre çok büyük olduğundan deprem etkilerinin çok büyük bir bölümünü üzerlerine çekerler. Perdelerin tabanında deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetlerinin toplamı, binanın tümü için tabanda oluşan kesme kuvvetinin %75'inden fazla olmaması ($\alpha_s \leq 0.75$), çerçeve sistemin toplam taban kesme kuvvetinin en az %25'ini taşıması uygundur, Şekil 4-26. Bunun nedeni iki sistemden (perde ve çerçeve sistemleri) daha sünek olan çerçeve sistemin, deprem etkilerini karşılamada belirli bir oranın üzerinde katkıda bulunmasının istenmesidir. Bu koşulun sağlanamaması durumunda ($0.75 < \alpha_s \leq 1.0$) aralığında kullanılacak R katsayısı, yerinde dökme betonarme ve çelik çerçeve durumu için $R = 10 - 4\alpha_s$ bağıntısı ile, prefabrike betonarme çerçeve durumu için ise $R = 9 - 4\alpha_s$ bağıntısı ile belirlenmektedir.



Şekil 4-26 Perde taban kesme kuvveti ve toplam taban kesme kuvveti

$H_w / \ell_w \leq 2.0$ olan perdelerde hesaplanan iç kuvvetler $\left[3 / (1 + H_w / \ell_w)\right]$ katsayısı ile çarpılarak büyütülmelidir. Büyütme katsayısı 2'den büyük alınmamalıdır.

Süneklik düzeyi normal sistemlerin yukarıda verilen sınırlamaların dışında kullanılabilmesi için sistemde tüm bina yüksekliği boyunca devam eden perdelerin bulunması gerekmektedir. Süneklik düzeyi normal sistemlerde kullanılacak olan perdelerin de süneklik düzeyinin normal olarak seçilmesi durumunda deprem yüklerine göre perdelerin tabanında elde edilen kesme kuvvetlerinin toplamı, binanın tümü için tabanda meydana gelen toplam kesme kuvvetinin %75'inden daha fazla olmalıdır.

Süneklik düzeyi normal sistemlerin, süneklik düzeyi yüksek perdelerle birarada kullanılması ile oluşturulan süneklik düzeyi bakımından karma sistemlerde, aşağıda belirtilen koşullara uyulmak kaydı ile, süneklik düzeyi yüksek boşluksuz, bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler kullanılabilir.

Bu tür karma sistemlerin deprem hesabında çerçeveler ve perdeler birarada gözönüne alınmalı, ancak her bir deprem doğrultusunda mutlaka $\alpha_s \geq 0.40$ olmalıdır.

Her iki deprem doğrultusunda da $\alpha_s \geq 2/3$ olması durumunda, deprem yüklerinin tamamının *süneklik düzeyi yüksek* perde tarafından taşındığı durum için verilen R katsayısı ($R = R_{YP}$), taşıyıcı sistemin tümü için kullanılabilir.

$0.40 < \alpha_s < 0.75$ aralığında ise, her iki deprem doğrultusunda da taşıyıcı sistemin tümü için $R = R_{NC} + 1.5\alpha_s (R_{YP} - R_{NC})$ bağıntısı uygulanmalıdır.

4.11. Kapasite Tasarımı İlkesi

Kapasite tasarımı ilkesinde, şiddetli bir depremde yapıda ortaya çıkacak olan hasar dağılımının ve dayanıma ulaşma türünün tasarımcı mühendis tarafından önceden öngörülmesi, düzenlenmesi ve tasarımın buna göre yapılması amaçlanmaktadır. Bu tasarıma göre betonarme elemanlarda her durumda sünek güç tükenmesinin (örneğin eğilme dayanımına donatının akması ile ulaşma) gevrek güç tükenmesinden (örneğin kesme kuvvetinden dolayı dayanıma ulaşma) önce oluşması sağlanmalıdır. Öngörülen sünek davranışın sağlanabilmesi amacıyla taşıyıcı sistemde hasarların oluşabileceği uygun yerlerin seçilmesi, buralarda istenen kapasitenin oluşturulması ve sünekliğin artırılması için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Tasarımda sünek davranış özelliğinden yararlanılmak istenmesi (tasarımın azaltılmış deprem etkileri ile yapılması), doğrusal olmayan davranışı dolayısıyla hasarın oluşmasını kabul etmek anlamına gelmektedir. Kapasite tasarımında bu hasarın türünün ve nerelerde olduğunun çok büyük önemi bulunmaktadır.

Kapasite tasarımına göre boyutlandırılan bir taşıyıcı sistemde aşağıdaki koşulların sağlanması beklenmektedir

- a) Taşıyıcı sistem, en az tasarımda öngörülen süneklik düzeyini sağlayacak şekilde doğrusal olmayan şekildedışirmeleri yapabilmelidir.

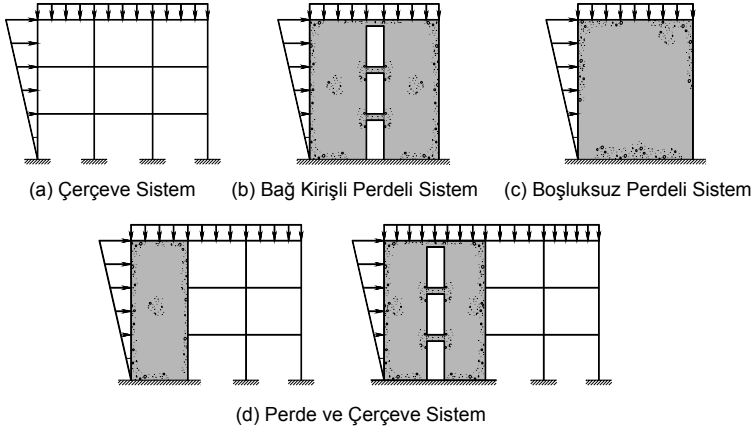
- Hasarların kesit sünekliği yüksek olan elemanlarda, örneğin kirişlerde, oluşması sağlanmalıdır.
- Oluşacak hasarlardan dolayı kat mekanizması veya benzeri sünek olmayan bölgesel ve ani göçme mekanizmalarının oluşmaması sağlanmalıdır. Örneğin kolonlar kirişlerden daha güçlü olarak tasarlanarak kat mekanizması oluşumu engellenmelidir.
- Taşıyıcı sistemin tüm elemanları ve birleşim bölgeleri, öngörülen yerlerde sünek eğilme hasarlarının oluşumundan önce kesme ve aderans yetersizliği oluşmayacak şekilde boyutlandırılmalıdır.
- Malzeme dayanımlarındaki olası artışlar, kesit boyutları ve donatı oranlarındaki düzenlemelerden, yapısal olmayan elemanların taşıyıcı sistemin davranışına olan katkılarından dolayı oluşabilecek dayanım artışları hesaba katılmalı ve bu etkenlerin öngörülen hasar dağılımı ve türlerinin oluşumunu engellemesi sağlanmalıdır.

4.12. Taşıyıcı Sistem

4.12.1. Betonarme Taşıyıcı Sistem Türleri

Deprem Yönetmeliğinde yerinde dökme betonarme binaların taşıyıcı sistemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır, Şekil 4-27.

- Çerçeve sistemler: Düşey ve yatay yüklerin tamamının kolon ve kirişlerden oluştuğu sistemler.
- Bağ kirişli perdeli sistemler: Perdeleri birbirine bağlayan bağ kirişlerin bulunduğu sistemler.
- Boşluksuz perdeli sistemler: Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişsiz perdelerle taşındığı sistemler.
- Çerçeveler ve boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.



Şekil 4-27 Taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılması

4.12.2. Taşıyıcı Sistemin Oluşturulması

Yapıların deprem davranışını belirleyen önemli özelliklerinden bir tanesi taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların, etkiyen kuvvetleri büyük dönmeler ve yerdeğiştirmeler oluşmadan ve sünek bir davranış göstererek zemine kadar güvenle aktarmasını sağlayacak şekilde düzenlenmelidir.

Taşıyıcı sistem oluşturulurken genel olarak

- Yapı sisteminin basit olması
- Taşıyıcı elemanların kat planı içerisinde düzgün olarak yerleştirilmesi ve simetriye sahip olması

- Sistemin yüksek dereceden hiperstatik olması
- Her iki doğrultuda yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olması
- Burulma etkilerine karşı yeterli dayanım ve rijitliğin bulunması
- Döşemelerin rijit diyafram davranışı gösterebilecek özelliklere sahip olması
- Temel sistemin gelen etkileri zemine güvenle aktarabilecek özelliklere sahip olması

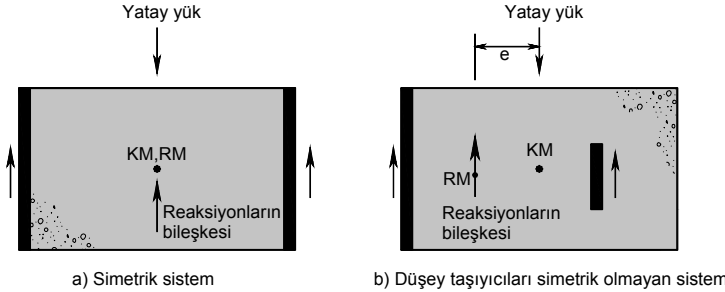
koşullarının olabildiğince sağlanması gerekmektedir.

4.12.3. Kütle ve Rijitlik Merkezi Kavramları

Katlara etkiyen deprem yüklerinin kat kütle merkezine etkidiği kabul edilmektedir. Kütlenin kat içinde düzgün dağıldığı varsayımı yapıldığında kat planının ağırlık merkezi kütle merkezinin konumuna karşı gelmektedir. Kütlenin düzgün dağılmadığı durumlarda düşey taşıyıcıların eksenel kuvvetlerinin ağırlık merkezi hesaplanarak kütle merkezi yaklaşık olarak bulunabilir.

Rijitlik merkezi bir kattaki düşey taşıyıcıların yatay öteleme rijitliklerinin ağırlık merkezidir. Kat rijitlik merkezi katin yalnız x ve y doğrultularında öteleme yapması durumunda oluşacak düşey eleman kesme kuvvetlerinin bileşkesinin uygulama noktasına karşı gelmektedir. Bu noktaya etkilenecek yatay bir yapıda yalnızca öteleme oluşur.

Kütle merkezinin rijitlik merkezine göre koordinatlarına dış merkezlik adı verilmektedir. Kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışması durumunda yalnızca öteleme yerdeğiştirmesi oluşacak, çakışmaması durumunda ise katlarda ötelemelere ek olarak düşey eksen etrafında dönme (burulma) oluşacaktır.



Şekil 4-28 Kütle merkezi ve rijitlik merkezi

Kat kütle merkezi ile rijitlik merkezinin üst üste düşmediği durumlarda, katlar deprem etkisi altında öteleme yerdeğiştirmeleri yanında düşey eksen etrafında kata etkiyen burulma momenti sonucu dönme yerdeğiştirmesi de yaparlar. Bu ise kolon ve kirişlerde ek kesme kuvveti ve eğilme momentleri oluşmasına neden olmaktadır.

Deprem Yönetmeliğinde,

- Düzgün olmayan ve değişiklik gösterebilecek kütle dağılımları etkisini
- Hesaplarda kullanılan eleman rijitliklerinin gerçek yapıdaki eleman rijitlik değerlerinden farklı olma olasılığını
- Deprem sırasında farklı elemanlarda farklı rijitlik kayıpları oluşmasından dolayı burulma etkileri oluşma olasılığını

gözönüne alabilmek için varolan dışmerkezliğe ek olarak, ek dışmerkezlik kullanılmasını öngörülmektedir. Ek dışmerkezliğin değeri, ilgili katta etkiyen yatay kuvvete dik doğrultudaki en büyük yapı uzunluğunun %5'i kadardır. Burulma düzensizliğinin bulunduğu katlarda bu değer artırılmaktadır.

4.12.4. Taşıyıcı Sistem Seçimi ve Düzensizlikler

Deprem yönetmeliklerinde verilen hesap ilkeleri bir çok farklı türde binalara uygulanmak üzere olabildiğince basitleştirilerek tanımlanmış genel kurallardan oluşmaktadır. Şiddetli bir depremlerde yapının davranışı bir çok bakımdan yönetmeliklerde tanımlanan davranıştan daha karmaşıktır. Yönetmelikler davranışı daha da karmaşık ve belirsiz duruma getiren düzenlemeleri sınırlandırmaktadır. Bu nedenle taşıyıcı sistemlerin olabildiğince düzenli olarak yapılması yönetmeliklerde belirtilmektedir.

Yapı düzensizlikleri, binanın deprem davranışını olumsuz yönde etkileyen faktörlerdir. Deprem etkilerine karşı dayanıklı taşıyıcı sistem oluşturmak için düzensizliklerden olabildiğince kaçınılmalıdır. Taşıyıcı sistem planda simetrik veya simetriğe yakın düzenlenmeli ve burulma düzensizliğine olası ölçüde yer verilmemelidir. Perde vb. rijit taşıyıcı sistem elemanlarının binanın burulma rijitliğini arttıracak biçimde yerleştirilmesine özen gösterilmelidir. Düşey doğrultuda ise herhangi bir katta zayıf kat veya yumuşak kat durumu oluşturan düzensizliklerden kaçınılmalıdır.

4.12.5. Düzensizlikler

Deprem Yönetmeliğinde düzensizlikler planda ve düşey doğrultuda olmak üzere iki ayrı grupta incelenmektedir. Düzensizliklerin bulunması depreme karşı davranışı olumsuz olarak etkileyeceğinden düzensiz binaların tasarımı ve yapımından kaçınılmalıdır.

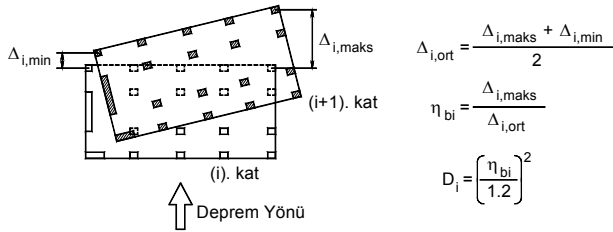
4.12.5.1. Planda Düzensizlikler

A1- Burulma düzensizliği

Bu düzensizliğin bulunduğu taşıyıcı sistemlerde deprem etkileri altında ötelemelere ek olarak düşey eksen etrafında burulmalar ortaya çıkar ve bunun sonucu olarak taşıyıcı sistem elemanlarında düzenli olmayan ek yerdeğiştirmeler ve iç kuvvetler oluşur.

Deprem yönetmeliğinde, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görel kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görel ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumunda taşıyıcı sistemde burulma düzensizliğinin bulunduğu belirtilmektedir. Burulma düzensizliği katsayısının hesaplanmasında kullanılan görel kat ötelemelerinin hesabı $\pm\%5$ ek dış merkezlik etkileri de gözönüne alınarak yapılmalıdır.

Ortalama görel öteleme, döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda en büyük ve en küçük görel kat ötelemelerinin ortalaması olarak alınabilmektedir, Şekil 4-29.



Şekil 4-29 Burulma düzensizliği (A1)

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 büyütülmelidir.

$$D_i = \left(\frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2 \quad (4.10)$$

Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} 'nin 2.0'den büyük olması durumunda burulmalı titreşim modlarının etkisini doğrudan gözönüne alınabilmesi amacıyla mod birleştirme yöntemi veya zaman tanım alanında

hesap yapılması zorunlu olmaktadır. Her ne kadar bu yöntemlerle hesap yapılabilsede, bu düzensizliği azaltacak yönde taşıyıcı sistemin yeniden düzenlenmesi daha uygun bir yol olacaktır.

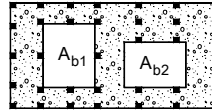
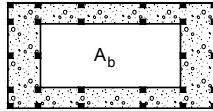
A2- Döşeme Süreksizlikleri :

Herhangi bir kattaki döşemede;

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

durumunda ilgili binada döşeme süreksizliği düzensizliği bulunduğu kabul edilmektedir, Şekil 4-30.

Bu düzensizliğin bulunduğu binalarda, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiği hesapla doğrulanmalıdır.



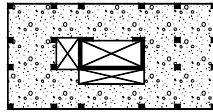
$$A_b = A_{b1} + A_{b2}$$

A-2 türü düzensizlik -I

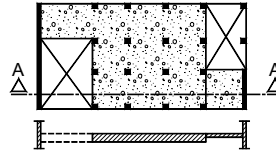
$$A_b / A > 1/3$$

A_b : Boşluk alanları toplamı

A : Brüt kat alanı



A-2 türü düzensizlik -II



A-A kesiti

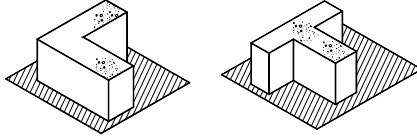
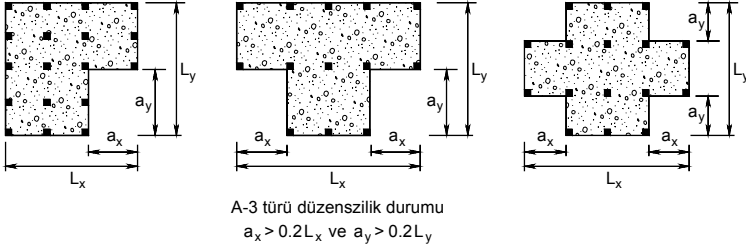
A-2 türü düzensizlik -II ve III

Şekil 4-30 Döşeme süreksizlikleri (A2)

A3-Planda çıkıntıların bulunması

Planda her iki doğrultudaki çıkıntıların bu doğrultudaki yapı boyutunun %20'sinden fazla olması durumunda planda çıkıntıların bulunması düzensizliğinin varlığı kabul edilecektir, Şekil 4-31. Bu düzensizliğin bulunduğu binalarda da A2 türü düzensizliğe benzer olarak, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiği hesapla doğrulanmalıdır.

A2 döşeme süreksizlikleri ve A3 planda çıkıntıların bulunması düzensizlikleri kütlelerin daha yoğun olarak bulunduğu kat döşemelerinde yoğunlaşan deprem yüklerinin taşıyıcı sistemin düşey elemanlarına sağlıklı şekilde aktarılmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle yönetmelik yük aktarımının sağlıklı olarak gerçekleştiğinin doğrulanmasını şart koşmaktadır.



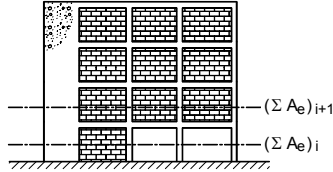
Şekil 4-31 Planda çıkıntılıların bulunması (A3)

4.12.5.2. Düşey Doğrultuda Düzensizlikler

B1-Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat), taşıyıcı sistemin herhangi bir kattaki yatay yük taşıma kapasitesinin (dayanımının) bir üstteki kata göre ani olarak azaltılmasına ve böylece zayıf kat adı verilen oluşmasına karşı gelmektedir.

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 durumunda zayıf kat düzensizliğinin bulunduğu kabul edilmelidir, Şekil 4-32.

$$\eta_{ci} = \frac{(\sum A_e)_i}{(\sum A_e)_{i+1}} < 0.80 \quad (4.11)$$



$(\sum A_e)$ = kolon+perde+0.15 kargir duvar kesit alanı

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

B₁ Zayıf kat düzensizliği

Şekil 4-32 Zayıf kat düzensizliği (B1)

Herhangi bir katta gözönüne alınan deprem doğrultusundaki etkili kesme alanı, kolon enkesiti etkin gövde alanları, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanları ve yine deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamının %15'inin toplamından oluşmaktadır.

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k \quad (4.12)$$

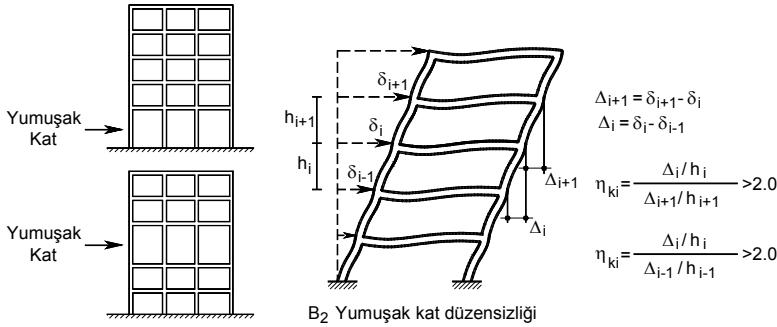
B1 türü zayıf kat düzensizliğinin bulunduğu binalarda, gözönüne alınan i'inci kattaki

- Dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise, η_{ci} 'nin hesabında dolgu duvarları gözönüne alınmamalıdır.

- $0.60 \leq \eta_{ci} < 0.80$ aralığında taşıyıcı sistem davranış katsayısı R , $1.25 \eta_{ci}$ değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanmalıdır.
- $\eta_{ci} < 0.60$ ise zayıf katın dayanımı ve rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat), kat yatay rijitliklerinin aşağıya veya yukarıya doğru ani olarak azaltılmasına ve yumuşak kat adı verilen durumun oluşmasına karşı gelmektedir.

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak hesaplanan ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması durumunda yumuşak kat düzensizliğinin bulunduğu kabul edilmelidir.



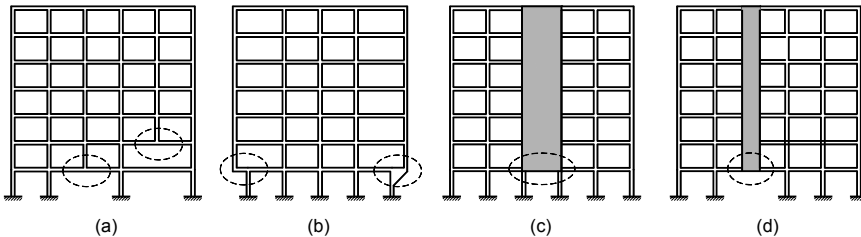
Şekil 4-33 Yumuşak kat düzensizliği (B2)

B3-Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği:

Yatay yük taşıyan kolon, perde gibi elemanların alt katlarda devam etmemesi durumunda "Düşey Elemanlarının Süreksizliği" düzensizliğinin bulunduğu kabul edilecektir. Bu tür düzensizliğin bulunduğu binalarda 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 artırılmalıdır. (Şekil 4-34a).

Kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına (Şekil 4-34b), üst katlardaki perdenin altta kolonlara (Şekil 4-34c) ve perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına (Şekil 4-34d) hiçbir zaman izin verilmemektedir.

Yukarıda verilen B3 türü düzensizliğin bulunduğu binalara ilişkin koşullar bütün deprem bölgelerinde uygulanmalıdır.



Şekil 4-34 Düşey eleman süreksizliği ile oluşan düzensizlik (B3)

Burulma (A1) ve yumuşak kat (B2) düzensizliklerinin varlığı; deprem hesap yönteminin seçiminde etkilidirler.

4.13. Deprem Hesabında Kullanılan Yöntemler

Yapıların deprem etkileri altında öngörülen güvenliği sağlaması amacıyla yapılan hesap ve detaylandırma düşey yükler için yapılanlardan farklılık göstermektedir. Deprem etkilerinin dinamik bir özelliğe sahip olduğu, kesin olarak hesaplanması mümkün olmadığından ancak belirli kabuller altında yaklaşık olarak hesaplanabileceği unutulmamalıdır.

Binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılabilecek yöntemler aşağıda verilmektedir.

- Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi
- Mod Birleştirme Yöntemi
- Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri

Bu yöntemlerden Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri tüm binaların ve bina türü yapıların hesabında kullanılırken, Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin kullanılabilmesi için hesabı yapılacak binanın Tablo 4-4'de verilen koşulları sağlaması gerekmektedir.

Deprem etkileri (E) altında yukarıda verilen yöntemlerden biri ile elde edilen iç kuvvetlerin, düşey yüklerle birlikte boyutlamaya esas olacak şekilde birleştirilmesi aşağıdaki yük birleşimleri kullanılarak yapılmalıdır.

$$1.0G + 1.0Q \pm 1.0E \quad 0.9G \pm 1.0E \quad (4.13)$$

Bu yük birleşimlerinden birincisi depremin sık olarak oluşmadığı ve kısa süreli olduğu düşünülerek yük katsayılarının birim olarak alınmasıyla oluşturulmuştur. Diğer yük birleşimi ise düşey yüklerin deprem yükünün karşılanmasında olumlu etkisinin olabileceği durumu öngörerek oluşturulmuştur.

Tablo 4-4 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin Uygulanabileceği Binalar

Deprem Bölgesi	Bina Türü	Toplam Yükseklik Sınırı
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25$ m
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$H_N \leq 40$ m
3, 4	Tüm binalar	$H_N \leq 40$ m

4.13.1. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Eşdeğer deprem yükü yöntemi binaya etki ettirilecek toplam yatay kuvvetin (V_t) hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu yöntemde gözönüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yükü (taban kesme kuvveti), V_t ,

$$V_t = W \frac{A(T_1)}{R_a(T_1)} = W \frac{A_o I S(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_o I W \quad (4.14)$$

şeklinde belirlenmektedir. Burada $A(T_1)$ birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen spektral ivme katsayısıdır.

W yapı ağırlığını gösterirken, A_o etkin yer ivme, I yapı önem, $S(T_1)$ spektrum ve $R_a(T_1)$ deprem yükü azaltma katsayısını göstermektedir.

Bir binanın birçok titreşim modu vardır. Bu titreşim modları içerisinde, toplam deprem etkisine en büyük katkıyı yapan birinci titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen birinci doğal titreşim modudur.

Binanın deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak toplam ağırlığı, W ,

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (4.15)$$

olup, w_i kat ağırlığı

$$w_i = G_i + nQ_i \quad (4.16)$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada G_i ve Q_i ilgili kattaki sabit ve hareketli yüklerin toplamıdır. Tasarımda kullanılan depremin olduğu anda binanın tüm katlarında hareketli yükün tamamının bulunması olasılığının çok düşük olacağı düşünülerek, hareketli yükler için bir azaltma katsayısı (n) öngörülmüştür, Tablo 4-5.

Tablo 4-5 Hareketli yük katılım katsayısı (n)

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

Endüstri binalarında sabit ekipman ağırlıkları için $n=1$ alınmalı, ancak vinç kaldırma yükleri kat ağırlıklarının hesabında gözönüne alınmamalıdır. Deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılacak çatı katı ağırlığının hesabında kar yüklerinin %30'u gözönüne alınmalıdır.

Aynı periyotla harmonik titreşimler yapan çok serbestlik dereceli bir sistemde bir kütlede oluşacak atalet kuvveti hareketin genliği ile doğru orantılıdır. Binanın düşey bir konsol şeklinde düşünülmesi ve genliklerin zemin seviyesinden yukarı doğru arttığının gözönüne alınması ile deprem kuvvetlerinin de benzer değişim göstereceği kabul edilebilir. Doğrusal bir artış esas alınır, yapının kat düzeylerine uygulanacak F_i yatay kuvvetleri

$$F_i = (V_i - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (4.17)$$

denklemler ile hesaplanabilir. Bu denklem toplam deprem yükünün bina yüksekliği boyunca ters üçgene benzer şekilde dağıtılmasına karşı gelmektedir. Deprem yükünün katlara bu şekilde dağıtılması, dinamik davranış altında oluşan devrilme momentlerini eksik yansıtmaktadır. Bu eksikliği gidermek ve eşdeğer deprem yükü yönteminde gözönüne alınmayan diğer modların etkisini yaklaşık olarak hesaba katmak amacıyla binanın en üst katına ΔF_N ek eşdeğer deprem yükü etkiltilir.

$$\Delta F_N = 0.0075 N V_i \quad (4.18)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına Denklem (4.17) ile dağıtılmalıdır.

Deprem yönetmeliğine göre bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, bodrum katlarına ve üstteki katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri, ayrı ayrı hesaplanmakta ve bu yükler, üst ve alt katların birleşiminden oluşan taşıyıcı sisteme birlikte etkiltilmektedir, Şekil 4-35.

(a) Üstteki katlara etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünün ve eşdeğer kat deprem yüklerinin belirlenmesinde, bodrumdaki rijit çevre perdeleri gözönüne alınmaksızın sistem için seçilen R katsayısı kullanılmakta ve sadece üstteki katların ağırlıkları hesaba katılmaktadır. Bu durumda ilgili bütün tanım ve

bağıntılarda temel üst kotu yerine zemin katın kotu gözönüne alınmaktadır. Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında da, fiktif yüklerin belirlenmesi için sadece üstteki katların ağırlıkları kullanılmaktadır.

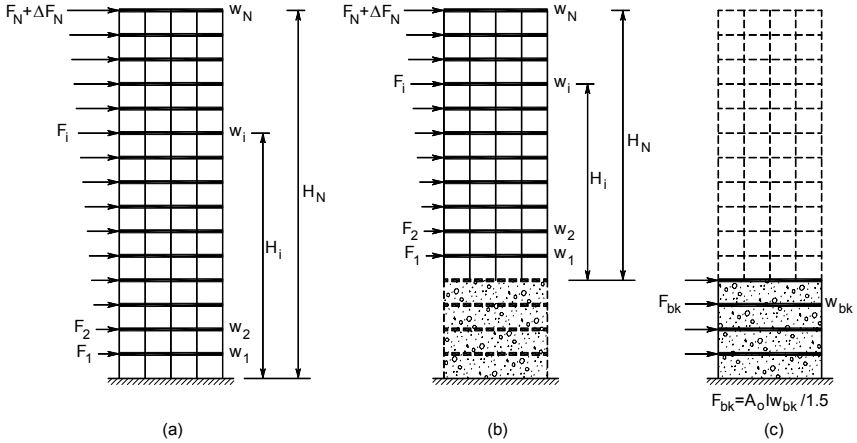
(b) Rijit bodrum katlarına etkiyen eşdeğer deprem yükleri her bir kat için

$$F_{bk} = A_o I \frac{w_{bk}}{1.5} \quad (4.19)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntı bodrum katların doğal titreşim periyotlarının çok küçük olması nedeniyle ($T \cong 0s$) bodrum katlarda oluşan ivmenin etkin yer ivmesine eşit olacağı varsayımı ile elde edilmektedir.

$$T \cong 0 \rightarrow S(T) = 1.0 ; R_a(T) = 1.5 \rightarrow F = W \frac{A_o I S(T)}{R_a(T)} = W \frac{A_o I}{1.5}$$

(c) Üstteki katlardan bodrum katlarına geçişte yer alan ve çok rijit bodrum perdeleri ile çevrelenen zemin kat döşeme sisteminin kendi düzlemi içindeki dayanımı, bu hesapta elde edilen iç kuvvetlere göre kontrol edilmelidir.



Şekil 4-35 Rijit bodrum kat bulunan yapılarda katlara etkiyen yükler

Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacı ile hesaplanan F_i kat yatay yükleri, gözönüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun $+5\%$ 'i ve -5% 'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ayrıca kat kütle merkezine uygulanmalıdır.

A1 türü burulma düzensizliğinin bulunması durumunda, ilgili katta uygulanan $\pm 5\%$ ek dışmerkezlik, her iki deprem doğrultusu için Denklem (4.10)'da verilen D_i katsayısı ile çarpılarak büyütülmelidir.

Eşdeğer deprem yükü yönteminde ters üçgen olarak bina yüksekliğince dağıtılan $(V_i - \Delta F_N)$ deprem yükünün etki merkezi bina temel kotundan, rijit bodrumlu yapılarda zemin kat kotundan $(2/3)H$ yükseklikte olur. Bu durumda, deprem yükünün binanın temel kotunda, rijit bodrumlu yapılarda zemin kat kotunda oluşturduğu devrilme momenti

$$M_D = (V_i - \Delta F_N) \frac{2}{3} H + \Delta F_N H \quad (4.20)$$

olarak hesaplanabilir.

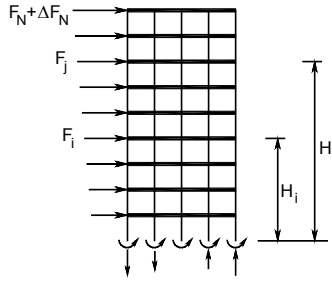
Deprem etkisinde her kat düzeyinde oluşan eylemsizlik kuvvetleri, binanın düşey taşıyıcılarında oluşan kesme kuvvetleri ile yatay dengededir. Benzer şekilde eylemsizlik kuvvetlerinin oluşturduğu devrilme momenti de, her kat düzeyinde, düşey taşıyıcılarda oluşan momentler ve eksenel kuvvetlerin oluşturduğu kuvvet çiftleri tarafından dengelenir.

Herhangi bir j . kattaki devrilme momenti

$$\sum_{j=i+1}^n F_j (H_j - H_i) \quad (4.21)$$

olarak hesaplanabilir.

Temel kotunda devrilme momenti ise $\sum_{i=1}^n F_i H_i$ bağıntısıyla hesaplanabilir.



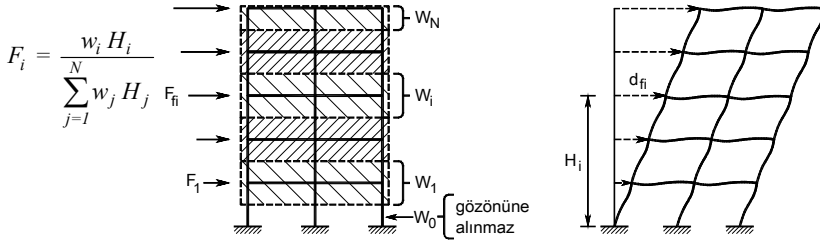
Şekil 4-36 Devrilme Momenti

4.13.2. Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanması durumunda, binanın deprem doğrultusundaki hakim doğal periyodu,

$$T_I = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (4.22)$$

ile hesaplanan değerden daha büyük alınmamalıdır. Katlara etkiyen fiktif yükler F_{fi} Denklem(4.17)'de $(V_i - \Delta F_N)$ yerine herhangi bir değer (örneğin birim değer) alınması ile elde edilebilmektedir. Denklem(4.22) kullanılarak hesaplanan periyot değerinden bağımsız olarak, bodrum katlar hariç kat sayısı $N > 13$ olan binalarda doğal periyot, $0.1N$ 'den daha büyük alınmamalıdır.



Şekil 4-37 Kat ağırlıklarının belirlenmesi ve katlara etkiyen fiktif deprem yükleri

4.13.3. Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemde maksimum iç kuvvetler ve yerdeğştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir. Bölüm 3.14.2'de belirtildiği gibi yapının deprem davranışını belirleyen hareket denklemi, çok serbestlik dereceli sistemler için bilinmeyenler açısından girişimli bir denklem takımı olarak ortaya çıkmaktadır. Mod birleştirme yönteminde bu denklem takımı ayrılaştırılarak her biri bir bilinmeyen içeren denklem sistemine dönüştürülmektedir.

Mod birleştirme yönteminde ilk adım olarak serbest titreşim analizi yapılarak yapının doğal frekans, periyot ve mod şekilleri belirlenmektedir. Bunun için (3.75) denklemine benzer olarak yazılan

$$[k][\Phi] = \omega^2 [m][\Phi]$$

öz değer problemi çözülerek frekans ω_i ve karşılık gelen mod şekilleri $\{\phi_i\}$ belirlenmektedir.

Titreşim mod vektörleri genellikle

$$\{\phi_i\}^T [m] \{\phi_i\} = M_i = 1$$

olacak şekilde normalize edilmektedir. Yapıya ait yerdeğştirmeler, titreşim modlarına bağlı olarak

$$\{x\} = \{\phi_1\} Y_1 + \{\phi_2\} Y_2 + \dots + \{\phi_N\} Y_N \quad (4.23)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

$[\Phi] = [\{\phi_1\} \{\phi_2\} \dots \{\phi_N\}]$ modal matris, $[Y]^T = [Y_1, Y_2, \dots, Y_N]$ modal yerdeğştirme olarak tanımlanırsa (4.23) denklemi

$$\{x\} = [\Phi] \{Y\} \quad (4.24)$$

olarak yazılabilir.

Denklem (4.24), hareket denkleminde yerine yazılır ve $[\Phi]^T$ ile soldan çarpılırsa

$$[\Phi]^T [m] [\Phi] \{\ddot{Y}\} + [\Phi]^T [c] [\Phi] \{\dot{Y}\} + [\Phi]^T [k] [\Phi] \{Y\} = -[\Phi]^T [m] \{r\} \ddot{x}_g \quad (4.25)$$

elde edilir.

$$[\Phi]^T [m] [\Phi] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

$$[\Phi]^T [c][\Phi] = \begin{bmatrix} 2\xi_1\omega_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 2\xi_2\omega_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 2\xi_N\omega_N \end{bmatrix}$$

$$[\Phi]^T [k][\Phi] = \begin{bmatrix} \omega_1^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \omega_2^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \omega_N^2 \end{bmatrix}$$

$$[\Phi]^T [m]\{r\} = \begin{Bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_N \end{Bmatrix}$$

$L_i = \{\phi_i\}^T [m]\{r\}$ i. modal kütle çarpanı olduğundan i.inci mod için

$$\ddot{Y}_i + 2\xi_i\omega_i\dot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = -L_i\ddot{x}_g \quad (4.26)$$

ayrıklaştırılmış hareket denklemi normal koordinatlarda elde edilmiş olur. Denklem (4.26), tek serbestlik dereceli sistem için verilen (3.34) denklemi ile karşılaştırılırsa

$$x \rightarrow Y_i$$

$$\xi \rightarrow \xi_i$$

$$\omega \rightarrow \omega_i$$

$$x_g \rightarrow L_i x_g$$

olduğu görülmektedir.

Buna göre i.inci moda ait maksimum yerdeğiştirme

$$Y_{i,maks} = L_i \frac{S_{pa}(T_i, \xi_i)}{\omega_i^2} \quad (4.27)$$

olarak normal koordinatlarda elde edilir. $\{x\}$ yerdeğiştirmelerine her moddan gelen maksimum katkı

$$\{x\}_{i,maks} = \{\phi_i\} Y_{i,maks} \quad (4.28)$$

şeklinde hesaplanabilir. Her moddan gelen maksimum katkı aynı anda oluşmadığı için bu katkıların üst üste eklenmesi uygun olmamaktadır. Söz konusu katkıların tam karesel birleştirme (CQC) veya karelerinin toplamının karekökü (SRSS) yöntemlerinden uygun olanı ile birleştirilmesi gerekmektedir.

4.13.3.1. İvme Spektrumu

Herhangi bir n'inci titreşim modunda gözönüne alınacak azaltılmış ivme spektrumu ordinatı

$$S_{aR}(T_m) = \frac{S_{ae}(T_m)}{R_a(T_m)} \quad (4.29)$$

bağıntısı ile belirlenmektedir.

Elastik tasarım ivme spektrumunun özel olarak belirlenmesi durumunda, $S_{ae}(T_m)$ yerine, ilgili özel spektrum ordinatı gözönüne alınmalıdır.

4.13.3.2. Gözönüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her bir katta, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi gözönüne alınmalıdır. Her katta modal deprem yükleri bu serbestlik dereceleri için hesaplanmalı, ancak ek dışmerkezlik etkisi'nin hesaba katılabilmesi amacı ile, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ek bir yükleme olarak kat kütle merkezine uygulanmalıdır.

A2 türü döşeme süreksizliğinin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin kendi düzlemleri içindeki şekildeğiştirmelerinin gözönüne alınmasını sağlayacak yeterlikte dinamik serbestlik derecesi gözönüne alınması gerekmektedir. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılılı bulunan tekil kütlelere etkiyen modal deprem yüklerinin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılmaktadır. Bu tür binalarda, sadece ek dışmerkezlik etkilerinden oluşan iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre de hesaplanabilir. Bu büyüklükler, ek dışmerkezlik etkisi gözönüne alınmaksızın her bir titreşim modu için hesaplanarak birleştirilen büyüklüklere doğrudan eklenmelidir.

4.13.3.3. Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı

Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, Y , gözönüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan *etkin kütle*'lerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenmelidir.

$$\sum_{n=1}^Y M_{xn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i \quad \sum_{n=1}^Y M_{yn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{yn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i \quad (4.30)$$

Denklemden yer alan L_{xn} ve L_{yn} ile modal kütle M_n 'nin ifadeleri, kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalar için aşağıda verilmiştir:

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \phi_{xin} \quad ; \quad L_{yn} = \sum_{i=1}^N m_i \phi_{yin} \quad (4.31)$$

$$M_n = \sum_{i=1}^N (m_i \phi_{xin}^2 + m_i \phi_{yin}^2 + m_{0i} \phi_{0in}^2) \quad (4.32)$$

Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binaların hesabında, sadece bodrum katların üstündeki katlarda etkin olan titreşim modlarının gözönüne alınması ile yetinilebilir. Bu durumda, Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılacak hesapta, bodrumdaki rijit çevre perdeleri gözönüne alınmaksızın bodrum katların üzerindeki bölüm için seçilen R katsayısı kullanılmalı ve sadece üstteki katların kütleleri gözönüne alınmalıdır. Rijit bodrum katlarına Eşdeğer deprem yükü yönteminde uygulanan kat ağırlıkları ile orantılı olan Denklem (4.19) kullanılarak hesaplanan yükler etkilenmelidir.

4.13.3.4. Mod Katlarının Birleştirilmesi

Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yerdeğiştirme ve görelî kat ötelemesi gibi büyüklüklerin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere, her titreşim modu için hesaplanan ve eşzamanlı olmayan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi için uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir:

- $T_m < T_n$ olmak üzere, gözönüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima $T_m / T_n < 0.80$ koşulunu sağlaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Karelerin Toplamının Kare Kökü Kuralı uygulanabilir.
- Yukarıda belirtilen koşulun sağlanamaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı uygulanmalıdır. Bu kuralın

uygulanmasında kullanılacak çapraz korelasyon katsayıları'nın hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınmaktadır.

4.13.3.5. Hesaplanan Büyüklüklere İlişkin Altsınır Değerleri

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, birleştirilerek elde edilen bina toplam deprem yükü V_{IB} 'nin, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nde hesaplanan bina toplam deprem yükü V_{I_i} 'ye oranının aşağıda tanımlanan β değerinden küçük olması durumunda ($V_{IB} < \beta V_{I_i}$), Mod Birleştirme Yöntemi'ne göre bulunan tüm iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri, Denklem (4.33)'e göre büyütülecektir.

$$B_D = \frac{\beta V_{I_i}}{V_{IB}} B_B \quad (4.33)$$

A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden en az birinin binada bulunması durumunda Denk.(4.33)'de $\beta=0.90$, bu düzensizliklerden hiçbirinin bulunmaması durumunda ise $\beta=0.80$ alınmaktadır.

4.13.3.6. Mod Birleştirme Yöntemine Göre Hesapta İzlenecek Adımlar

1. Adım - Hesap modelini oluşturulur. Model, rijitlik ve kütle dağılımını uygun şekilde temsil etmelidir.
2. Adım - Yapının mod şekilleri $\{\phi_i\}$ ve karşı gelen periyotları T_i belirlenir.
3. Adım - Her bir mod için (örneğin m. mod)

$$\text{Katılım faktörü} \quad L_m = \sum_{i=1}^N m_i \phi_{im} = \sum_{i=1}^N w_i \phi_{im} / g$$

$$\text{Modal kütle} \quad M_m = \sum_{i=1}^N m_i \phi_{im}^2 = \sum_{i=1}^N w_i \phi_{im}^2 / g$$

$$\text{Etkin ağırlık} \quad W_m = \frac{L_m^2}{M_m} g$$

$$\text{Kütle katılım oranı} \quad \eta_m = \frac{L_m^2 g}{M_m W} = \frac{W_m}{W}$$

hesaplanır

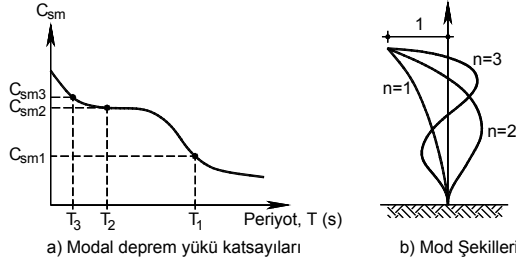
Burada $W = \sum_{i=1}^N w_i$ toplam yapı ağırlığını, w_i i nolu kat ağırlığını ϕ_{im} m. Modda i. kat döşemesinin modal genliğini göstermektedir.

4. Adım - Gözönüne alınacak yeterli mod sayısı belirlenir veya seçilen mod sayısının yeterli olup olmadığı kontrol edilir. Kütle katılım oranlarının toplamı en az toplam yapı kütlelerinin %90'ı kadar olmalıdır.

$$\sum \eta_m = \sum \frac{W_m}{W} \geq 0.90$$

5. Adım - Her bir mod için spektral ivme değeri ve deprem tasarım yükü katsayısı belirlenir.
 - a. Elastik ivme spektrumundan T_m periyoduna karşılık gelen $S_{a,m}$ değeri belirlenir
 - b. Modal deprem yükü katsayısı belirlenir.

$$C_{sm} = \frac{S_{a,m}}{R_{a,m}}$$



Burada $R_{a,m}$ m. moda karşılık gelen yatay yük azaltma katsayısını göstermektedir.

6. Adım – Modal taban kesme kuvvetleri V_m ve toplam taban kesme kuvveti belirlenir.

$$V_m = C_{sm} \frac{W_m}{g}$$

Herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima $T_m / T_n < 0.80$ koşulunu sağlaması durumunda $V_{t,B}$

$$V_{t,B} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_N^2}$$

olarak hesaplanır. Koşul sağlanmıyorsa birleştirme işlemi Tam Karesel Birleştirme yöntemi kullanılarak yapılmalıdır.

7. Adım – İlgili doğrultudaki birinci doğal titreşim periyodu esas alınarak eşdeğer deprem yükü yönteminde hesaplanacak taban kesme kuvveti değeri hesaplanır mod birleştirme yönteminde elde edilen taban kesme kuvveti ile karşılaştırılır.

$$V_t = W \frac{A_o IS(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_o IW$$

8. Adım – $V_{t,B} < \beta V_t$ ise Mod birleştirme yöntemi sonuçları ölçeklenir

Ölçek katsayısı $\frac{\beta V_t}{V_{t,B}}$

Ölçeklenmiş V_m $\bar{V}_m = \frac{\beta V_t}{V_{t,B}} V_m$

Ölçeklenmiş V_d $\bar{V}_d = \sqrt{\bar{V}_1^2 + \bar{V}_2^2 + \dots + \bar{V}_N^2}$

9. Adım – Her bir mod için hesaplanan taban kesme kuvveti katlara dağıtılır.

$$F_{im} = \frac{w_i \phi_{im}}{\sum_{i=1}^N w_i \phi_{im}} V_m$$

Burada F_{im} m. modda i. kat düzeyine etkiyen yatay kuvvet, V_m m. mod için taban kesme kuvvetini göstermektedir.

10. Adım – Her bir mod için yatay yükler etkisinde çözüm yapılır ve gözönüne alınan mod için iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler belirlenir. Ek dış merkezlik etkisi sonucu oluşan burulma etkileri gözönüne alınır.

11. Adım – Her bir mod için elde edilen analiz sonuçları (iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler) gözönüne alınan modlar için karelerinin toplamının karekökü (SRSS) veya tam karesel birleştirme kuralı ile birleştirilir.

Örnek 4-3:

Örnek 3-5'de verilen sistemin 1. derece deprem bölgesinde, Zemin sınıfı Z2 olan süneklik düzeyi yüksek bir konut yapısı olduğunu kabul ederek mod birleştirme yöntemi ile boyutlamaya esas olan taban kesme kuvveti, kolon kesme kuvvetleri ve eğilme momentlerini bulunuz.

1. Adım – Rijitlik ve kütle matrislerinin belirlenmesi (Örnek 3-5'den)

$$[k] = \begin{bmatrix} 95520 & -32000 & 0 \\ -32000 & 45888 & -13888 \\ 0 & -13888 & 13888 \end{bmatrix}$$

$$[m] = \begin{bmatrix} 17.94 & 0 & 0 \\ 0 & 17.94 & 0 \\ 0 & 0 & 12.72 \end{bmatrix}$$

2. Adım - Yapının mod şekilleri $\{\phi_i\}$ ve karşı gelen periyotları T_i belirlenir. (Örnek 3-5'den)

$$\begin{aligned} \omega_1 = 22.17 &\rightarrow T_1 = 0.283s \\ \omega_2 = 47.45 &\rightarrow T_2 = 0.132s \\ \omega_3 = 78.94 &\rightarrow T_3 = 0.079s \end{aligned} \quad [\phi] = \begin{bmatrix} 0.0467 & -0.0978 & 0.2098 \\ 0.1266 & -0.1684 & -0.1067 \\ 0.2301 & 0.1585 & 0.0227 \end{bmatrix}$$

$$\text{Modal katılım faktörü } L_m = \sum_{i=1}^N m_i \phi_{im} = \sum_{i=1}^N w_i \phi_{im} / g$$

$$L_1 = \sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1} = \{\phi_1\}^T [m] \{r\} = \begin{Bmatrix} 0.0467 \\ 0.1266 \\ 0.2301 \end{Bmatrix}^T \begin{bmatrix} 17.94 & 0 & 0 \\ 0 & 17.94 & 0 \\ 0 & 0 & 12.72 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$L_1 = 0.0467 \cdot 17.94 + 0.1266 \cdot 17.94 + 0.2301 \cdot 12.72 = 6.0358 \text{ kN} - s^2 / m$$

$$M_1 = \sum_{i=1}^3 m_i \phi_{i1}^2 = \{\phi_1\}^T [m] \{\phi_1\} = \begin{Bmatrix} 0.0467 \\ 0.1266 \\ 0.2301 \end{Bmatrix}^T \begin{bmatrix} 17.94 & 0 & 0 \\ 0 & 17.94 & 0 \\ 0 & 0 & 12.72 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0.0467 \\ 0.1266 \\ 0.2301 \end{Bmatrix}$$

$$M_1 = 0.0467^2 \cdot 17.94 + 0.1266^2 \cdot 17.94 + 0.2301^2 \cdot 12.72 = 1.0 \text{ kN} - s^2 / m$$

$$L_2 = \sum_{i=1}^N m_i \phi_{i2} = \{\phi_2\}^T [m] \{r\} = \begin{Bmatrix} -0.0978 \\ -0.1684 \\ 0.1585 \end{Bmatrix}^T \begin{bmatrix} 17.94 & 0 & 0 \\ 0 & 17.94 & 0 \\ 0 & 0 & 12.72 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$L_2 = -0.0978 \cdot 17.94 - 0.1684 \cdot 17.94 + 0.1585 \cdot 12.72 = -2.759 \text{ kN} - s^2 / m$$

$$M_2 = \sum_{i=1}^3 m_i \phi_{i2}^2 = \{\phi_2\}^T [m] \{\phi_2\} = \begin{Bmatrix} -0.0978 \\ -0.1684 \\ 0.1585 \end{Bmatrix}^T \begin{bmatrix} 17.94 & 0 & 0 \\ 0 & 17.94 & 0 \\ 0 & 0 & 12.72 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -0.0978 \\ -0.1684 \\ 0.1585 \end{Bmatrix}$$

$$M_2 = (-0.0978)^2 \cdot 17.94 + (-0.1684)^2 \cdot 17.94 + 0.1585^2 \cdot 12.72 = 1.0 \text{ kN} - s^2 / m$$

$$L_3 = \sum_{i=1}^N m_i \phi_{i3} = \{\phi_3\}^T [m] \{r\} = \begin{Bmatrix} 0.2098 \\ -0.1067 \\ 0.0227 \end{Bmatrix}^T \begin{bmatrix} 17.94 & 0 & 0 \\ 0 & 17.94 & 0 \\ 0 & 0 & 12.72 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$L_3 = 0.2098 \cdot 17.94 - 0.1067 \cdot 17.94 + 0.0227 \cdot 12.72 = 2.138 \text{ kN} - s^2 / m$$

$$M_3 = \sum_{i=1}^3 m_i \phi_{i3}^2 = \{\phi_3\}^T [m] \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 0.2098 \\ -0.1067 \\ 0.0227 \end{Bmatrix}^T \begin{bmatrix} 17.94 & 0 & 0 \\ 0 & 17.94 & 0 \\ 0 & 0 & 12.72 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0.2098 \\ -0.1067 \\ 0.0227 \end{Bmatrix}$$

$$M_3 = 0.2098^2 \cdot 17.94 + (-0.1067)^2 \cdot 17.94 + 0.0227^2 \cdot 12.72 = 1.0 \text{ kN} - s^2 / m$$

Etkin ağırlıkların belirlenmesi

$$W_1 = \frac{L_1^2}{M_1} g = \frac{6.0358^2}{1} \cdot 9.81 = 357.3 \text{ kN}$$

$$W_2 = \frac{L_2^2}{M_2} g = \frac{(-2.759)^2}{1} \cdot 9.81 = 74.7 \text{ kN}$$

$$W_3 = \frac{L_3^2}{M_3} g = \frac{2.138^2}{1} \cdot 9.81 = 44.8 \text{ kN}$$

Tüm titreşim modları gözönüne alındığında etkin ağırlıkların toplamı yapı ağırlığına eşit olmalıdır.

$$\sum W_i = W = 357.3 + 74.7 + 44.8 = 476.8 \text{ kN}$$

$$\sum w_i = 124.8 + 176 + 176 = 476.8 \text{ kN}$$

$$\eta_1 = \frac{W_1}{W} = \frac{357.3}{476.95} = 0.749$$

$$\eta_2 = \frac{W_2}{W} = \frac{74.7}{476.95} = 0.157$$

$$\eta_3 = \frac{W_3}{W} = \frac{44.8}{476.95} = 0.094$$

İlk iki modun gözönüne alınması yönetmelik koşulunun sağlanması için yeterli olmakla birlikte

$(\eta_1 + \eta_2 = 0.749 + 0.157 = 0.906 > 0.90)$ üç mod gözönüne alınarak çözüm yapılacaktır.

$$Z_2 T_A = 0.15s, T_B = 0.40s$$

$$S_{a,m} = A_o I S(T_m) g$$

$$T_1 = 0.283s \rightarrow S_{a,1} = 0.40 \cdot 1.0 \cdot 2.5g = 1.0g$$

$$T_2 = 0.132s \rightarrow S_{a,2} = 0.40 \cdot 1.0 \cdot 2.32g = 0.928g$$

$$T_3 = 0.079s \rightarrow S_{a,3} = 0.40 \cdot 1.0 \cdot 1.79g = 0.716g$$

$$R = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A}$$

$$C_{s1} = \frac{1.0}{8} g = 0.125g$$

$$C_{s2} = \frac{0.928}{1.5 + (8-1.5) \frac{0.132}{0.15}} g = 0.129g$$

$$C_{s3} = \frac{0.716}{1.5 + (8-1.5) \frac{0.079}{0.15}} g = 0.145g$$

Taban kesme kuvvetlerinin belirlenmesi $V_m = C_{sm} \frac{W_m}{g}$

$$1. \text{ Mod} \quad V_1 = C_{s1} \frac{W_1}{g} = 0.125 \cdot 357.3 = 44.66 \text{ kN}$$

$$2. \text{ Mod} \quad V_2 = 0.129 \cdot 74.7 = 9.64 \text{ kN}$$

$$3. \text{ Mod} \quad V_3 = 0.145 \cdot 44.8 = 6.50 \text{ kN}$$

$$V_{t,B} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2} = \sqrt{44.66^2 + 9.64^2 + 6.50^2} = 46.15 \text{ kN}$$

Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvveti Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak elde taban kesme kuvvetinin %80'inden az olmamalıdır.

$$V_t = W \frac{A_o I S(T_1)}{R_d(T_1)} \geq 0.10 A_o I W$$

$$V_t = 476.8 \frac{0.40 \cdot 1.0 \cdot 2.50}{8} = 59.6 \text{ kN} \geq 0.10 \cdot 0.40 \cdot 1.0 \cdot 476.8 = 19.07 \text{ kN}$$

$$V_{t,B} < \beta V_t \quad V_{t,B} = 46.15 \text{ kN} < 0.80 \cdot 59.6 = 47.68 \text{ kN}$$

Mod birleştirme yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar $\frac{47.68}{46.15} = 1.033$ oranında büyütülecektir.

$$1. \text{ Mod} \quad V_1 = 1.033 \cdot 44.66 = 46.13 \text{ kN}$$

$$2. \text{ Mod} \quad V_2 = 1.033 \cdot 9.64 = 9.96 \text{ kN}$$

$$3. \text{ Mod} \quad V_3 = 1.033 \cdot 6.50 = 6.72 \text{ kN}$$

$$V_{t,B} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2} = \sqrt{46.13^2 + 9.96^2 + 6.72^2} = 47.67 \text{ kN}$$

Her bir mod için taban kesme kuvvetinin katlara dağıtılması $F_{im} = \frac{w_i \phi_{im}}{\sum_{i=1}^N w_i \phi_{im}} V_m$

$$V_1 = 46.13 \text{ kN}$$

Kat	w_i	ϕ_{li}	$w_i \phi_{li}$	$F_{li} \text{ (kN)}$	$V_{kat,li} \text{ (kN)}$	$V_{kolon,li} \text{ (kN)}$
3	124.8	0.2301	28.72	26.31	26.31	6.58
2	176	0.1266	15.8	14.48	40.79	10.20
1	176	0.0467	5.83	5.34	46.13	11.53
$\Sigma =$			50.35	46.13		

$$V_2 = 9.96 kN$$

Kat	w_i	ϕ_{2i}	$w_i\phi_{2i}$	F_{2i} (kN)	$V_{kat,2i}$ (kN)	$V_{kolon,2i}$ (kN)
3	124.8	0.1585	19.78	-14.65	-14.65	-3.66
2	176	-0.1684	-21.02	15.57	0.92	0.23
1	176	-0.0978	-12.21	9.04	9.96	2.49
			$\Sigma=$	-13.45	9.96	

$$V_3 = 6.72 kN$$

Kat	w_i	ϕ_{3i}	$w_i\phi_{3i}$	F_{3i} (kN)	$V_{kat,3i}$ (kN)	$V_{kolon,3i}$ (kN)
3	124.8	0.0227	2.83	1.21	1.21	0.30
2	176	-0.1067	-13.32	-5.7	-4.49	-1.12
1	176	0.2098	26.18	11.21	6.72	1.68
			$\Sigma=$	15.69	6.72	

Örnek olmak üzere en alt kat kolon kesme kuvveti ve momenti hesabı yapılırsa

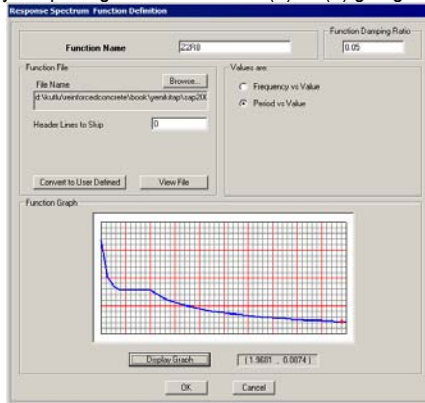
$$V_{kolon} = \sqrt{11.53^2 + 2.49^2 + 1.68^2} = 11.92 kN$$

$$M_{kolon} = V_{kolon} \frac{h}{2} = 11.92 \frac{3}{2} = 17.88 kNm \text{ olarak elde edilir.}$$

SAP2000 : Örnek 3-5'deki sistemin mod birleştirme yöntemi ile çözümü

Define menüsünden Functions → Response Spectrum seçeneğini seçiniz.

- Choose Function Type to Add açılır listesinden From File seçeneğini seçiniz ve Add New Function... düğmesine basınız.
 - Ekrana gelen ileti kutusunda Browse düğmesine basarak ilgili dosyayı seçiniz.
 - Values are: bölümünde Period vs Value radio düğmesine basınız.
 - Display Graph düğmesine basarak S(T)/Ra(T) grafiğini ekrana getiriniz.



- Define menüsünde Load Cases seçeneğini seçiniz.

- Add New Load Case... düğmesine basınız.
- Ekranı gelen ileti kutusunda
 - Load Case Name kutucuğuna MBY yazınız
 - Load Case Type açılır listesinden Response Spectrum seçeneğini seçiniz.
 - Modal Combination bölümünde SRSS radyo düğmesini seçiniz. (Klasik çözümden karelerinin toplamının karekökü yöntemi kullanıldığından burada da aynı yöntemin kullanımı seçilmiştir.)
 - Loads Applied bölümünde Function açılır listesinden Z2R8 fonksiyonunu seçiniz
 - Scale Factor kutucuğuna $0.40 \times 1 \times 9.81 = 3.924$ yazınız, sırasıyla Add ve OK düğmelerine basınız.

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: MBY | Notes: | Load Case Type: Response Spectrum | Design...

Modal Combination: CQC, SRSS, Absolute, GMC, NRC 10 Percent, Double Sum. GMC f1: 1, GMC f2: 0. Periodic + Rigid Type: SRSS.

Directional Combination: SRSS, CQC3, Absolute. Scale Factor: []

Modal Load Case: Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	Z2R8	3.924
Accel	U1	Z2R8	3.924

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0.05

- Menüde Analyze → Run Analysis → Run Now düğmesine basarak çözümü yapınız.
- Menüde Display → Show Tables seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda ANALYSIS RESULTS bölümünde Structure Output → Base Reactions kutucuğunu seçiniz.
- Load Cases (Results) bölümünde Select Load Cases... düğmesine basınız.
- Ekranı gelen ileti kutusunda MBY seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.

Base Reactions


File View Format Filter-Sort Select Options

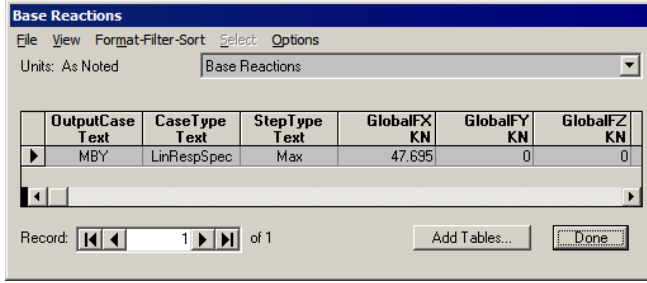
Units: As Noted | Base Reactions

Output Case Text	Case Type Text	Step Type Text	Global FX KN	Global FY KN	Global Z KN
▶ MBY	LinRespSpec	Max	46.172	0	0

Record: 1 of 1 | Add Tables... | Done

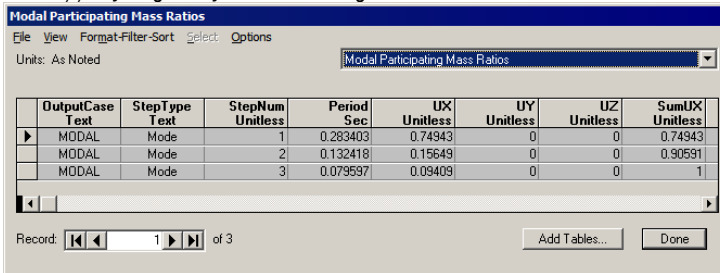
- Taban kesme kuvveti 46.172 kN olarak hesaplanmıştır.
- Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvveti Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak elde taban kesme kuvvetinin %80'inden az olduğundan Mod birleştirme sonuçları 1.033 oranında büyütülecektir.

- Kilidi açınız 
- Menüde Define→Load Cases seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda Load Case Name bölümünden MBY seçeneğini seçerek Modify/Show Load Case... düğmesine basınız.
- Ekranı gelen ileti kutusunda Scale Factor kutucuğuna 4.0535 (3.924x1.033) yazınız ve sırasıyla Modify ve 2 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze→Run Analysis→Run Now düğmesine basarak çözümü yapınız.
- Menüde Display→Show Tables seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda ANALYSIS RESULTS bölümünde Structure Output→Base Reactions kutucuğunu seçiniz.
- Load Cases (Results) bölümünde Select Load Cases... düğmesine basınız.
- Ekranı gelen ileti kutusunda MBY seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Taban kesme kuvveti 47.695kN olarak hesaplanmıştır. (Klasik çözümde 47.67kN hesaplanmıştır)



OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalZ KN
MBY	LinRespSpec	Max	47.695	0	0

- Menüde Display→Show Tables seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda ANALYSIS RESULTS bölümünde Structure Output→Modal Information kutucuğunu seçiniz.
- Select Load Cases... düğmesine basınız. Ekranı gelen ileti kutusunda MODAL seçeneğini seçiniz ve 2 kez OK düğmesine basınız.
- Ekranı gelen ileti kutusunda açılır listeden Modal Participating Mass Ratios (Kütle katılım oranları) seçeneğini seçiniz ve Done düğmesine basınız.



OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless
MODAL	Mode	1	0.283403	0.74943	0	0	0.74943
MODAL	Mode	2	0.132418	0.15649	0	0	0.90591
MODAL	Mode	3	0.079597	0.09409	0	0	1

Klasik çözümden elde edilen kütle katılım oranlarının program ile bulunanlar ile aynı olduğu görülmektedir.

$$\eta_1 = 0.749, \eta_2 = 0.157, \eta_3 = 0.094$$

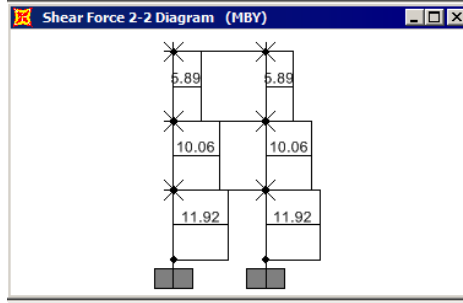
- Modal Participation Factors (Modal katılım faktörleri) seçeneğini seçiniz ve Done düğmesine basınız.

OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX KN-s2	ModalMass KN-m-s2	ModalStiff KN-m
MODAL	Mode	1	0.283403	-6.03507	1	491.53092
MODAL	Mode	2	0.132418	-2.757765	1	2251.48403
MODAL	Mode	3	0.079597	2.138378	1	6231.11999

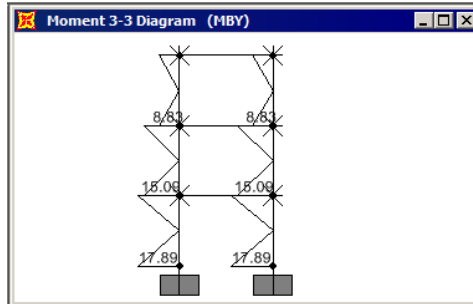
Klasik çözümden elde edilen katılım faktörlerinin program ile bulunanlar ile aynı olduğu görülmektedir.

$$L_1=6.0358kN - s^2 / m , L_2 = -2.759kN - s^2 / m , L_3=2.138kN - s^2 / m$$

- Menüde Display→Show Forces/Stresses→Frames/Cables... seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda Case/Combo Name açılır listesinden MBY seçeneğini seçiniz.
- Component bölümünde Shear 2-2 , Options bölümünde Show Values on Diagram radyo düğmesini seçiniz ve OK düğmesine basınız.



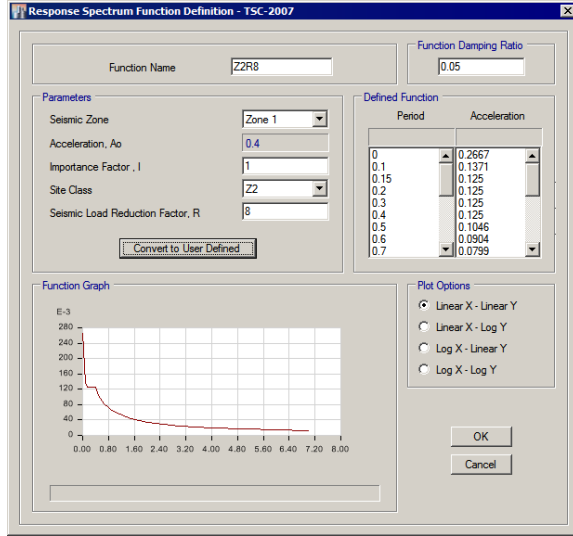
- $V_{I,B} = 11.924 \times 4 = 47.7kN$ olarak elde edilir.
- Kolon eğilme momentleri



- En alt kat kolon momenti $17.89kNm$ olarak hesaplanmıştır. (Klasik çözüm $17.88kNm$)

ETABS: Örnek 3-5'deki sistemin mod birleştirme yöntemi ile çözümü

- Define menüsünden Functions → Response Spectrum seçeneğini seçiniz.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda Choose Function Type to Add listesinden TSC-2007 seçeneğini seçiniz ve Add New Function... düğmesine basınız.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda Function Name kutucuğuna Z2R8 yazınız.
 - Seismic Zone bölümünde Zone 1 seçeneğini seçiniz.
 - Importance Factor, I kutucuğuna 1 yazınız.
 - Site Class listesinden Z2 seçeneğini seçiniz.
 - Seismic Load Reduction Factor, R kutucuğuna 8 yazınız ve 2 kez OK düğmesine basınız.



- Define menüsünde Load Cases seçeneğini seçiniz.
- Add New Case... düğmesine basınız.
- Ekranı gelen ileti kutusunda
 - Load Case Name kutucuğuna MBY yazınız
 - Load Case Type açılır listesinden Response Spectrum seçeneğini seçiniz.
 - Modal Combination Method bölümünde SRSS radyo düğmesini seçiniz. (Klasik çözümde karelerinin toplamının karekökü yöntemi kullanıldığından burada da aynı yöntemin kullanımı seçilmiştir.)
 - Loads Applied bölümünde Add düğmesine basınız.
 - Function açılır listesinden Z2R8 fonksiyonunu seçiniz
 - 2 kez OK düğmesine basınız.

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: MBY [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Response Spectrum [Design...]

Modal Combination:

CQC SRSS Absolute GMC NRC 10 Percent Double Sum

GMC #1: 1.0 GMC #2: 0.0

Periodic + Rigid Type: SRSS

Directional Combination:

SRSS CQC3 Absolute

Scale Factor: []

Modal Load Case: Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	Z2R8	3.924
Accel	U1	Z2R8	3.924

[Add] [Modify] [Delete]

Show Advanced Load Parameters

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]


[OK] [Cancel]

- Menüde Analyze-Run Analysis... seçeneğini seçiniz.
- Menüde Display-Show Tables seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda Analysis-Results-Reactions-Base Reactions kutucuğunu seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Ekranı gelen tabloda MBY için FX kolonunda 46.2616kN değeri bulunmaktadır.

Base Reactions

3 of 3 [Reload] [Apply]

Load Case/Combo	FX kN	FY kN	FZ kN	MX kN-m	MY kN-m	MZ kN-m
Dead	0	0	0	0	0	0
Live	0	0	0	0	0	0
MBY Max	46.2616	0	0	0	314.8965	92.5232

- Taban kesme kuvveti 46.26kN olarak hesaplanmıştır.
- Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvveti Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak elde taban kesme kuvvetinin %80'inden az olduğundan Mod birleştirme sonuçları 1.033 oranında büyütülecektir.
- Kilidi açınız 
- Menüde Define→Load Cases seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda Load Case Name bölümünden MBY seçeneğini seçerek Modify/Show Load Case... düğmesine basınız.
- Ekranı gelen ileti kutusunda Scale Factor kutucuğuna 10130 (9806x1.033) yazınız ve sırasıyla Modify ve 2 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Run Analysis... seçeneğini seçiniz.
- Menüde Display-Show Tables seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda Analysis-Results-Reactions-Base Reactions kutucuğunu seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Ekranı gelen tabloda MBY için FX kolonunda 47.787kN değeri bulunmaktadır. (Klasik çözümde 47.67kN hesaplanmıştır)

Load Case/Combo	FX kN	FY kN	FZ kN	MX kN-m	MY kN-m	MZ kN-m
Dead	0	0	0	0	0	0
Live	0	0	0	0	0	0
MBY Max	47.787	0	0	0	325.2795	95.5739

- Menüde Display→Show Tables seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda Analysis-Results-Modal Results-Modal Participating Mass Ratios (Kütle katılım oranları) kutucuğunu seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX
Modal	1	0.283	0.7494	0	0	0.7494
Modal	2	0.132	0.1565	0	0	0.9059
Modal	3	0.08	0.0941	0	0	1

- Klasik çözümden elde edilen kütle katılım oranlarının program ile bulunanlar ile aynı olduğu görülmektedir.
- $\eta_1 = 0.749$, $\eta_2 = 0.157$, $\eta_3 = 0.094$

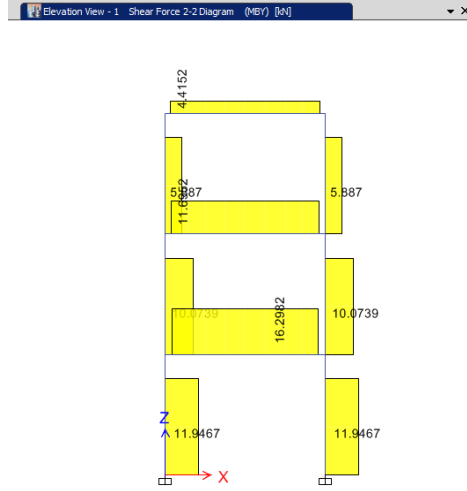
- Menüde Display→Show Tables seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda Analysis-Results-Modal Results- Modal Participation Factors (Modal katılım faktörleri) kutucuğunu seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.

Case	Mode	Period sec	UX N/mm	UY N/mm	UZ N/mm	FX N/mm	FY N/mm	FZ N/mm	Modal Mass N mm-s ⁴	Modal Stiffness N/mm
Modal	1	0.283	6.03507	0	0	0	8212.858162	0	1	491.53
Modal	2	0.132	-2.757765	0	0	0	10423	0	1	2251.48
Modal	3	0.08	-2.138378	0	0	0	5736.355568	0	1	6231.12

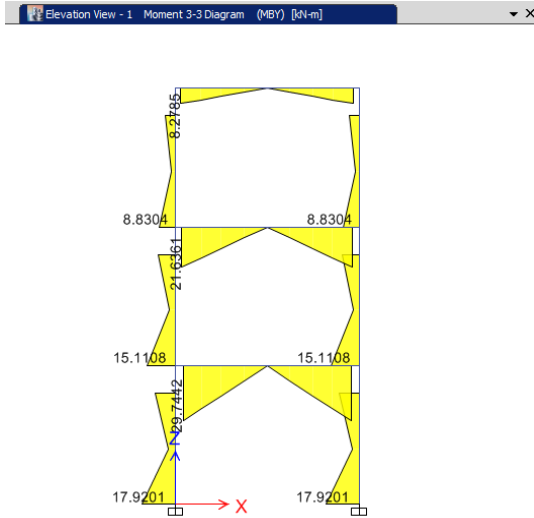
Klasik çözümden elde edilen katılım faktörlerinin program ile bulunanlar ile aynı olduğu görülmektedir.

$$L_1=6.0358kN - s^2 / m , L_2 = -2.759kN - s^2 / m , L_3=2.138kN - s^2 / m$$

- Oluşan kesme kuvvetlerini görmek için menüden Display-Force/Stress Daigrams – Frame/Pier/Spandrel/Link Forces... seçeneğini seçiniz.
- Case kutucuğundan MBY seçeneğini seçiniz.
- Component bölümünden Shear 2-2 seçeneğini seçiniz
- Display Options bölümünden Show Values at Controlling Stations on Diagram seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.



- $V_{1,B} = 11.9467 \times 4 = 47.7868 \text{ kN}$ olarak elde edilir.
- Kolon eğilme momentleri



- En alt kat kolon momenti 17.92 kNm olarak hesaplanmıştır. (Klasik çözüm 17.88 kNm)

4.14. Eleman Asal Eksen Doğrultularındaki İç Kuvvetler

Taşıyıcı sisteme ayrı ayrı etki ettirilen x ve y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi en elverişsiz sonucu verecek şekilde

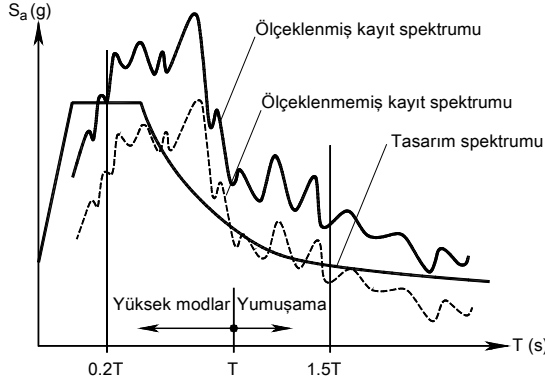
$$\pm E_x \pm 0.30 E_y ; \mp E_x \pm 0.30 E_y ; \pm E_y \pm 0.30 E_x ; \mp E_y \pm 0.30 E_x \quad (4.34)$$

yük birleşimleri olarak gözönüne alınmalıdır. Bu yük birleşimi depremin öngörülenden farklı bir doğrultuda etkimesi durumunda oluşabilecek etkileri gözönüne alabilmeyi amaçlamaktadır.

4.15. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri

Zaman tanım alanında hesap yönteminde taşıyıcı sistem yapay yollarla üretilmiş veya kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketi kayıtları kullanılarak zaman alanında adım adım çözülür. Bu yöntem bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için kullanılabilir. Kullanılacak deprem yer hareketleri aşağıdaki koşulları sağlamalıdır.

- En az üç adet olmalıdır
- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır.
- Yer hareketinin sıfır periyoada karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_0g' den daha küçük olmamalıdır.
- %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, $S_{ae}(T) = A_0IS(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmamalıdır, Şekil 4-38.



Şekil 4-38 %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme grafiği

Zaman tanım alanında *doğrusal elastik analiz* yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için esas alınacak spektral ivme değerleri

$$S_{aR}(T_m) = \frac{S_{ae}(T_m)}{R_d(T_m)} \quad (4.35)$$

bağıntısı ile hesaplanmalıdır.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile, ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanmaktadır.

Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınmalıdır.

Bu yöntemin kullanılmasında deprem yer hareketi ve taşıyıcı sistemin davranışı için yapılan kabullerin geçerliliği oranında sonuçların güvenilir olduğu hatırd tutulmalıdır.

4.16. Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması,

Deprem etkileri altında güvenliğin sağlanmasında oluşan iç kuvvetlerin karşılanmasına ek olarak hem ikinci mertebe etkilerinin artmamasını sağlamak, hem de taşıyıcı olmayan elemanlardaki deprem hasarının

en alt düzeyde tutulması amacıyla görelî kat yerdeğiştirmeleri (ardışık katlar arasındaki yerdeğiştirme farkları) sınırlandırılmaktadır.

Bu amaçla her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde, hesaplanan δ_i etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\delta_i)_{max}$, Denk.(4.36)'de verilen koşulu sağlamalıdır.

$$\frac{(\delta_i)_{max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (4.36)$$

Etkin görelî kat ötelemeleri, Denklem (4.37) ile elde edilmektedir. Elastik yapı analizi yöntemleri kullanıldığı ve taşıyıcı sistem azaltılmış deprem yükleri etkisinde hesaplandığından yerdeğiştirmelerde aynı oranda azalmış olarak elde edilir. Gerçekte yerdeğiştirmeler azalmayacağı için doğrusal olmayan davranış sonucu oluşabilecek yerdeğiştirmeleri belirlemek için hesaplamalardan bulunan yerdeğiştirmeler azaltma oranına yakın bir değer ile çarpılarak artırılmalıdır. Deprem yönetmeliğinde bu artırma oranı taşıyıcı sistem davranış katsayısı R olarak verilmektedir.

$$\delta_i = R \Delta_i \quad (4.37)$$

Burada Δ_i , azaltılmış görelî kat ötelemesi herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade etmektedir ve Denklem (4.38) ile elde edilmektedir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (4.38)$$

Burada d_i ve d_{i-1} , her bir deprem doğrultusu için binanın i'inci ve (i-1)'inci katlarında herhangi bir kolon veya perde uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yerdeğiştirmeleri göstermektedir. $N > 13$ olan binalarda doğal periyodun $0.1N$ 'den daha büyük alınmaması ile ilgili periyot sınırı ve ayrıca Denklem (4.14)'de verilen minimum eşdeğer deprem yükü koşulu d_i 'nin ve Δ_i 'nin hesabında gözönüne alınmayabilir.

Denklem (4.36)'de verilen koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır. Ancak verilen koşul sağlansa bile, yapısal olmayan gevrek elemanların (cephe elemanları vb.) etkin görelî kat ötelemeleri altında kullanılabilirliği hesaplama doğrulanmalıdır.

4.17. İkinci Mertebe Etkileri

Eksenel kuvvetlerin şekildeğiştirmiş sistem üzerinde oluşturduğu ikincil etkileri gözönüne alan ve taşıyıcı sistemde geometri bakımından doğrusal olmayan davranışa neden olan ikinci mertebe etkileri daha kesin bir hesap yapılmadıkça, aşağıdaki şekilde gözönüne alınabilir:

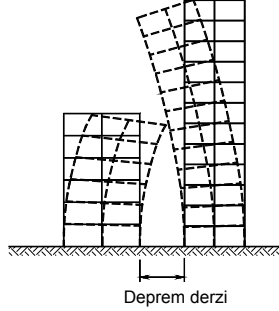
Gözönüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, İkinci Mertebe Gösterge Değeri, θ_i 'nin Denklem (4.39) ile verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkileri yürürlükteki betonarme yönetmeliklerine göre değerlendirilecektir. İkinci Mertebe Gösterge Değeri eksenel kuvvetlerin oluşturduğu ikinci mertebe momentlerinin kat düzeyindeki toplamının birinci mertebe momentlerin toplamına oranını göstermektedir.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=i}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad (4.39)$$

Burada $(\Delta_i)_{ort}$, i'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değeridir. Denklem (4.39)'deki koşulun herhangi bir katta sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği yeterli ölçüde artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

4.18. Deprem Derzleri

Bitişik veya aralarında yeterli uzaklık bulunmayan binaların deprem sırasında yapacakları salınımlar sırasında birbirleri ile çarpışması, şiddetli depremlerde önemli hasarlara neden olabilmektedir. Komşu binaların kat döşemelerinin farklı düzeylerde olmaları durumunda çarpışma ortaya çıktığında hasar oluşma veya göçme olasılığı artmaktadır. Çarpışmaya bağlı hasar veya göçme tehlikesini önlemek amacıyla komşu binalar arasında derz boşlukları bırakılmalıdır.



Şekil 4-39 Deprem derzi oluşturulması

Yönetmelikte bina blokları veya mevcut eski binalarla yeni yapılacak binalar arasında, sadece deprem etkisi için bırakılacak derz boşluklarına ilişkin koşullar verilmektedir. Farklı zemin oturmalarına bağlı temel öteleme ve dönmeleri ile sıcaklık değişimlerinin etkisi için bırakılacak derzler ayrıca incelenmelidir.

Katların farklı düzeyde olduğu derzle ayrılmış binalarda binaların çarpışması daha büyük hasarlara neden olacağından derzlerin daha da artırılması gerekmektedir.

Aşağıda belirtilen minimum derz boşluğu koşullarına göre daha elverişsiz bir sonuç elde edilmedikçe derz boşlukları, her bir kat için komşu blok veya binalarda elde edilen yerdeğıştirmelerin karelerinin toplamının karekökü ile aşağıda tanımlanan α katsayısının çarpımı sonucunda bulunan değerden az olmamalıdır. Gözönüne alınacak kat yerdeğıştirmeleri, kolon veya perdelerin bağlandığı düğüm noktalarında hesaplanan azaltılmış d_i yerdeğıştirmelerinin kat içindeki ortalamaları olmalıdır. Mevcut eski bina için hesap yapılmasının mümkün olmaması durumunda eski binanın yerdeğıştirmeleri, yeni bina için aynı katlarda hesaplanan değerlerden daha küçük alınmalıdır.

(a) Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin bütün katlarda aynı seviyede olmaları durumunda $\alpha = R / 4$ alınmalıdır.

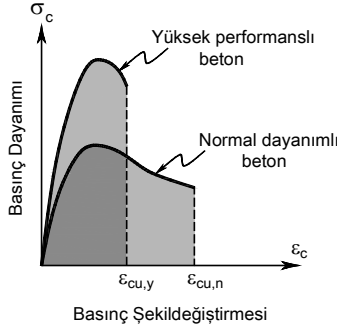
(b) Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin, bazı katlarda olsa bile, farklı seviyelerde olmaları durumunda, tüm bina için $\alpha = R / 2$ alınmalıdır.

Bırakılacak minimum derz boşluğu, 6 m yüksekliğe kadar en az 30 mm olmalı ve bu değere 6 m'den sonraki her 3 m'lik yükseklik için en az 10 mm eklenmelidir.

5. BETONARME YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞI

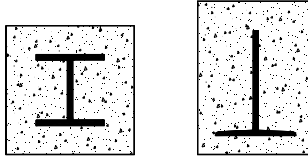
5.1. Malzeme Özellikleri

Deprem Yönetmeliği 2007 beton dayanımının C50'den daha yüksek olduğu binaları kapsam dışı tutmaktadır. Dayanımı C50'den daha yüksek olan betonlar yüksek performanslı beton olarak tanımlanmakta ve gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri normal dayanımlı betonlar ile karşılaştırıldığında daha gevrek davranış gösterdiği gözlemlenmektedir. Gevrek davranış deprem etkisi altında tercih edilen bir davranış türü değildir. Ayrıca Deprem Yönetmeliği ve TS500-2000'de kullanılan Taşıma Gücü Yöntemi normal dayanımlı betonlar esas alınarak geliştirilmiş olduğundan C50'den yüksek dayanıma sahip betonlar için taşıma gücü yönteminin düzenlemeler yapılarak kullanılması gerekmektedir.



Şekil 5-1 Beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

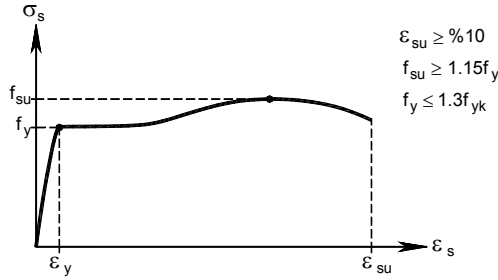
Yine benzer nedenlerle donatı olarak çelik profillerin kullanıldığı kompozit kesite sahip taşıyıcı elemanlar için Taşıma Gücü Yöntemi doğrudan kullanılmadığından bu tür elemanlara sahip binalar Deprem Yönetmeliği kapsamına alınmamıştır.



Şekil 5-2 Donatı olarak çelik profillerin kullanıldığı kolon ve kiriş kesitleri

Deprem Yönetmeliğinde, deprem bölgesi ve bina önem katsayısına bağlı olmaksızın deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda kullanılacak beton sınıfının en düşük C20 olması gerektiği belirtilmektedir. Bu koşul ile betonda belirli bir basınç dayanımı, dolaylı olarak da çekme dayanımının sağlanması amaçlanmaktadır. Betonun çekme dayanımı kenetlenmenin sağlanması ve elemanların kesme kuvvetine karşı dayanımlarında önemli olan bir özelliktir. Beton basınç dayanımının yüksek olması eksenel kuvvet etkisinde ve eğik asal basınç gerilmeleri altında oluşacak ezilmelere karşı da güvenliği arttırmaktadır.

Deprem Yönetmeliğinde, etriye ve çiroz donatısı ile döşeme donatısı dışında nervürlü donatı kullanımı yasaklanmıştır. Kullanılacak donatının kopma birim uzaması %10'dan az olmamalıdır.



Şekil 5-3 Donatı çeliği deneysel gerilme-şekildeğiştirme diyagramı

Bu koşul ile kullanılan donatı çeliğinin belirli bir süneklığe sahip olması amaçlanmaktadır. Betonarme bir kesitin sünekliliği kullanılan donatı çeliğinin sünekliliğine de bağlıdır. Donatının akma dayanımı arttıkça, akma durumuna karşı gelen uzama şekildeğiştirmesi değeri de büyüyecektir. Eğilme etkisindeki bir kesitin dayanımına ulaştığında sünek davranış gösterebilmesi için basınç bölgesindeki betonun ezilmesinden önce çekme donatısının akması, ayrıca donatının akma sonrası sabit çekme kuvveti altında dayanımını kaybetmeden uzamaya devam ederek betonarme kesite süneklik sağlamaya devam etmesi gerekmektedir. Dayanımı yüksek donatı çeliği kullanıldığında beton ezilmesinden kısa bir süre önce donatı akacağından sünek davranış sınırlı olacaktır. Ayrıca donatı çeliğinin dayanımı arttıkça kopma uzaması da azalmaktadır. Bu da donatı çeliğinin malzeme sünekliliğinin azalmasına karşı gelmektedir.

Akma dayanımının öngörülenden düşük olması, dayanımın istenenin altında oluşmasına neden olacağından ve güvenliği azaltacağından sakıncalı bir durumdur. Akma dayanımının öngörülenden yüksek olmasının ise kesit dayanımını arttırarak ilk bakışta olumlu katkı sağlayacağı düşünülebilir. Birlikte sistem davranışı bakımından olumsuz etkileri olabilmektedir. Kapasite tasarımında kolonların kirişlerden moment kapasitesi bakımından daha güçlü olması sağlanarak hasarın kirişlerde oluşması öngörülmektedir. Akma dayanımının öngörülenden daha yüksek olması kirişlerdeki moment dayanımını arttıracak ve kirişte mafsallaşma daha yüksek momentler altında oluşacaktır. Donatı çeliğinin akma dayanımının yüksek olması moment kapasitesinin artışı bakımından eksenel yük etkisinde olan kolonlarda kirişlerdeki kadar etkili olmayacaktır. Bu durumda kolonların kirişlerden daha güçlü olarak tasarlanan noktalarda tasarım tersi bir davranış ortaya çıkacaktır. Bu ise sistemin sünekliliği ve kararlılığını olumsuz olarak etkileyecektir. Bu nedenle Deprem Yönetmeliğinde donatı çeliğinin deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımı, ilgili çelik standardında öngörülen karakteristik akma dayanımının 1.3 katından daha fazla olmasına izin verilmemektedir.

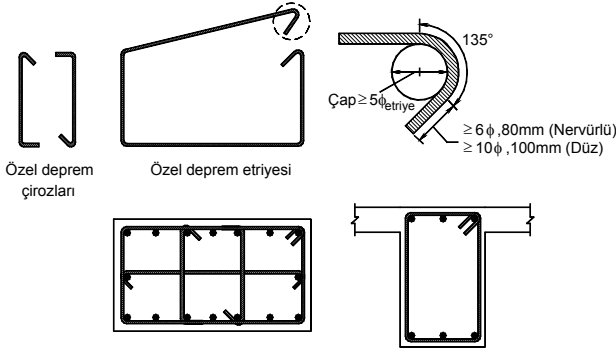
Ayrıca, deneysel olarak bulunan ortalama kopma dayanımı, yine deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımının 1.15 katından daha az olmamalıdır.

Deprem yönetmeliğinde S420'den daha yüksek dayanımlı donatı çeliğinin kullanılabilceği yerler kirişli sistemlerin döşemelerinde, kirişsiz döşemelerde, dışı döşeme tablalarında, etriyelerde, bodrum katların çevresindeki dış perde duvarlarının gövdelerinde, deprem yüklerinin tümünün bina yüksekliği boyunca perdeler tarafından taşındığı Denklem (5.25) ile verilen koşulların her ikisinin de sağlandığı binaların perde gövdeleri olarak belirtilmektedir.

5.2. Özel Deprem Etriyeleri ve Çirozları

Tüm deprem bölgelerinde betonarme sistemlerin kolonlarında, kolon kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinde özel deprem etriyeleri ve özel deprem çirozları kullanılmalıdır. Özel deprem etriyeleri her iki ucunda 135° kıvrımlı kancalar bulunan etriyelerdir. Özel deprem çirozlarında bir uca 90° kanca yapılabilmektedir. Bu durumda kolonun veya perdenin bir yüzünde, kanca kıvrımları 135° ve 90° olan çirozlar hem yatay hem de düşey doğrultuda şaşırtmalı olarak düzenlenmelidir. 135° kanca oluşturulurken büküm yerinde donatının özelliğini koruyabilmesi amacıyla en az 5φ (φ: bükülen etriye veya çirozun çapı) çaplı daire etrafında bükülmelidir. Kanca boyları kıvrımdaki en son teğet

noktasından sonra düz yüzeyli donatılarda 10ϕ ve 100mm 'den, nervürlü çubuklarda ise 6ϕ ve 80mm 'den az olmamalıdır, Şekil 5-4.



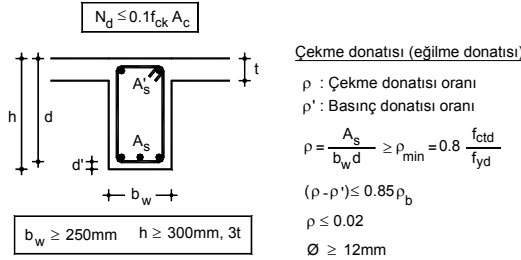
Şekil 5-4 Özel deprem etriye ve çirozları

Özel deprem etriyeleri boyuna donatıyı dıştan kavramalı ve kancaları aynı boyuna donatı etrafında kapanmalıdır. Özel deprem çirozlarının çapı ve aralığı etriyelerin çap ve aralıkları ile aynı olmalıdır. Çirozlar da her iki uçlarında boyuna donatıları sarmalıdır.

5.3. Kirişler

5.3.1. Süneklik Düzeyi Yüksek Kirişler

Deprem Yönetmeliğinde hesap eksenel kuvveti $N_d \leq 0.1A_c f_{ck}$ olan ve esas olarak eğilme momenti etkisindeki elemanlar kiriş olarak adlandırılmaktadır (TS500 Denklem 7.2).



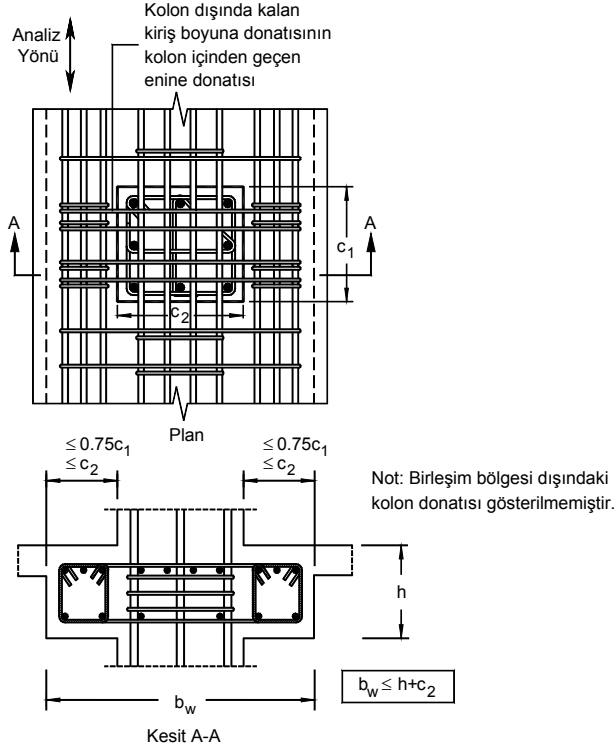
Şekil 5-5 Kiriş boyutları

Kolonlarla birlikte çerçeve oluşturan veya perdelerle kendi düzlemleri içinde bağlanan kirişlerin enkesitleri aşağıdaki koşulları sağlamalıdır.

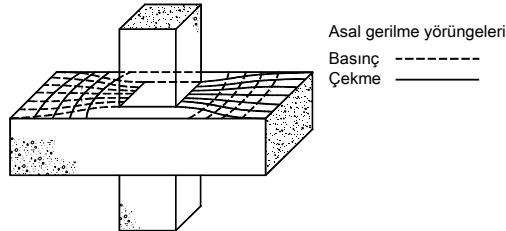
- Kiriş gövde genişliği en az 250mm olmalıdır. (DBYBHY 2007 Bölüm 3.4.1.1)
- Kiriş yüksekliği 300mm 'den ve döşeme kalınlığının üç katından az olmamalıdır. (TS500 Bölüm 7.3), (DBYBHY 2007 Bölüm 3.4.1.1). Kesit için verilen minimum boyutlar belirli bir rijitliği sağlamak amaçlıdır. Döşeme kalınlığına bağlı olarak verilen koşul döşemeye mesnetlik görevini yapabilecek rijitliğin oluşturulmasına yöneliktir.
- Kiriş yüksekliği kiriş gövde genişliğinin 3.5 katından daha fazla olmamalıdır, (DBYBHY 2007 Bölüm 3.4.1.1)
- Kirişin net açıklığı yüksekliğinin 4 katından daha az olmamalı diğer bir deyişle yüksekliği, serbest açıklığın $1/4$ 'ünden daha fazla olmamalıdır, (DBYBHY 2007 Bölüm 3.4.1.1). Bu koşulu sağlamayan elemanların tekrarlı yöndeğiştiren yükler etkisindeki davranışı (özellikle kesme

davranışı) eğilme davranışı baskın olan ve koşulu sağlayan elemanların davranışından farklılık göstermektedir.

- Kiriş gövde genişliği, kiriş yüksekliği ile kirişin birleştiği kolonun kirişe dik genişliğinin toplamını geçmemelidir, (TS500 Bölüm 7.3, DBYBHY 2007 Bölüm 3.4.1.1). Kolonun kenarlarından taşacak olan her bir kiriş bölümü uzunluğu kolonun kirişe dik boyutunun 0.75 katından ve kolonun kirişe paralel boyutundan küçük olması uygundur. Özellikle yassı kirişlerde önemli olan bu koşul kat rijitliğinin kolon uçlarında büyük dönmelere neden olacak düzeye inmesini engellemek ve kolonun yeterli mesnetlik yapabileme özelliğini sağlamak amaçlıdır, Şekil 5-6.



Şekil 5-6 Kiriş gövde genişliğinin kolon genişliğinden büyük olması durumunda donatı düzeni
Kiriş ile kolon arasında eğilme etkilerinin oluşturduğu gerilmelerin sağlıklı biçimde aktarılması için kiriş genişliği, mesnetlik yapan kolon genişliğinden çok büyük olmamalıdır, Şekil 5-7.



Şekil 5-7 Kirişin kolondan geniş olduğu durumda gerilme akışı [28]

5.3.1.1. Donatı koşulları

Kiriş kesitinde donatı oranı belirli sınırlar arasında bulunduğunda ($\rho_{min} \leq \rho \leq 0.85\rho_b$), kesitin dayanımına ulaşması betonun ezilmesinden önce donatının akma gerilmesine ulaşması ile sünek bir davranış şeklinde olmaktadır.

Aşırı donatı oranları kirişi denge üstü durumuna getirerek gevrek davranışa neden olacağından açıklık ve mesnetlerdeki çekme ve basınç donatısı oranları farkı dengeli donatı oranının 0.85 katından fazla olmamalıdır ($\leq 0.85\rho_b$). Ayrıca çekme donatısı oranı %2'den az olmalıdır, (TS500- Denklem 7.5, DBYBHY 3.4.2.4).

Donatı oranının çok düşük olduğu kirişin davranışı donatısız kirişin davranışına benzer olarak gevrek olacağından kiriş açıklık ve mesnetlerinde çekme donatısı oranı aşağıdaki koşulu sağlamalıdır (TS500-Denklem 7.3, DBYBHY Denklem 3.8).

$$\rho \geq 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (5.1)$$

Bu koşul ile çatlak genişliğinin kabul edilebilir sınırlar içinde tutulması da amaçlanmaktadır.

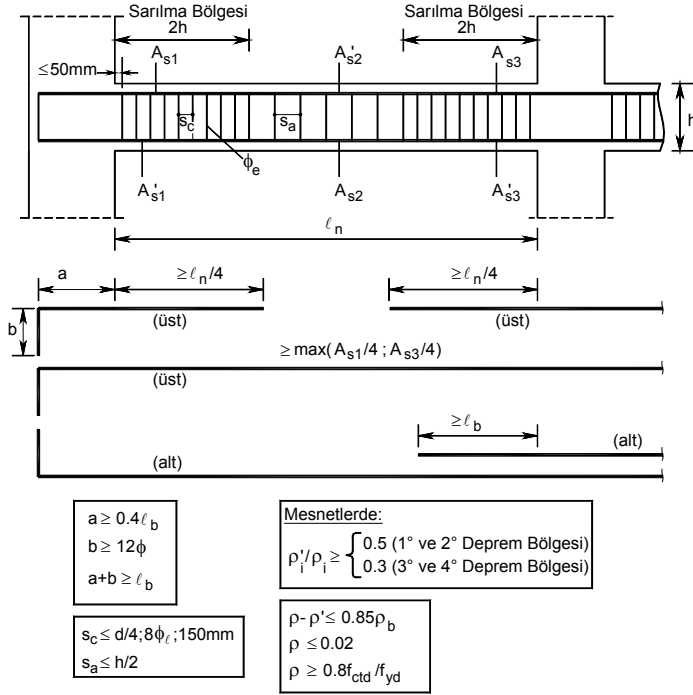
Boyuna donatıların çapı en az 12mm olmalı ve kirişin alt ve üstünde en az iki donatı çubuğu kiriş açıklığı boyunca sürekli olarak devam etmelidir.

Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerindeki taşıyıcı sistemlerde kirişin mesnetindeki alt donatı, aynı mesnetteki üst donatının %50'sinden, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde %30'undan daha az olmamalıdır (DBYBHY 3.4.2.3). Eleman üzerinde mesnet bölgeleri deprem sırasında plastik mafsal oluşabilecek bölgelerdir. Basınç donatısının artması, sünekliği ve dönme kapasitesini arttırdığından ve tersinir yöndeğiştiren yükler etkisindeki davranışı iyileştirdiğinden mesnet bölgelerinde belirli oranda basınç donatısı (alt donatı) bulundurulması gerekmektedir.

5.3.1.2. Enine donatı koşulları

Kiriş mesnetlerinde kolon yüzünden itibaren kiriş derinliğinin iki katı kadar (2h) uzunluktaki bölge, sarılma bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Bu bölge boyunca özel deprem etriyeleri kullanılmalıdır. Sarılma bölgesinde, ilk etriyenin kolon yüzüne olan uzaklığı en çok 50mm olmalıdır. Yine bu bölgede etriye aralıkları kiriş yüksekliğinin 1/4'ünü, en küçük boyuna donatı çapının 8 katını ve 150mm'yi aşmamalıdır, (DBYBHY 3.4.4), Şekil 5-8.

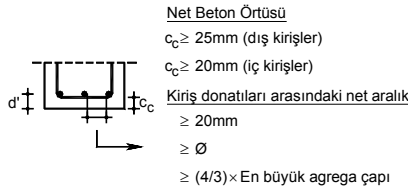
Sarılma bölgesi dışında, TS-500'de verilen minimum enine donatı koşullarına uyulmalıdır. Sarılma bölgeleri kirişin en çok zorlanan bölgeleridir. Bu bölgelerde daha sık etriye düzenlenmesi, betonun dayanımı ve sünekliğini arttırmak, yüksek kesme kuvvetleri nedeniyle kritik olabilecek kayma gerilmelerini karşılamak, tersinir yükler etkisinde aderans zayıflamasını sınırlandırmak ve kemerleme etkisine karşı koymak amaçlıdır.



Şekil 5-8 Kiriş donatıları

5.3.1.3. Beton örtüsü

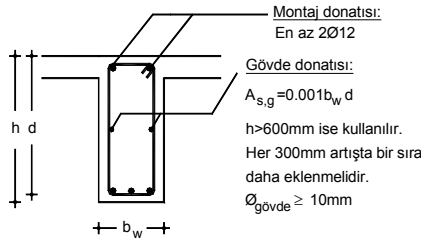
Kirişlerde beton örtüsünün 20mm'den az olmaması, elemanın dışarıda bulunması durumunda ise bu değer 25mm, yangında dayanım istenmesi durumunda da 40mm olarak seçilmesi uygundur. İki donatı çubuğu veya iki sıra donatı arasındaki net uzaklık, çubuk çapından, en büyük agrega boyutunun 4/3'ünden ve 20mm'den az olmamalıdır, (TS500 7.3), Şekil 5-9.



Şekil 5-9 Kirişlerde beton örtüsü ve donatı aralık koşulları

5.3.1.4. Gövde donatısı

Yüksekliği 600mm'den daha büyük kirişlerde en az 2 adet gövde donatısı bulundurulmalıdır. Gövde donatısının toplam alanı en az $0.001b_w d$ olmalıdır. Yüksekliği 600mm'den daha yüksek kirişlerde yüksekliğin her 300mm artışında gövde donatısına iki donatı daha eklenmeli ve bu donatılar kiriş yüksekliği boyunca eşit aralıklarla yerleştirilmelidir, Şekil 5-10.



Şekil 5-10 Kiriş gövde ve montaj donatısı koşulları

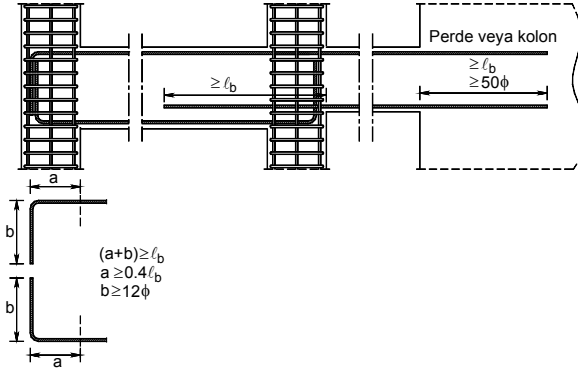
5.3.1.5. Kiriş donatılarının kenetlenmesi

Açıklıktaki çekme donatısının, en az üçte birinin mesnete kadar uzatılıp kenetlenmesi gereklidir.

Kirişin iki ucundaki mesnet üst donatılarının büyük olanının en az 1/4'ü tüm kiriş boyunca sürekli olarak devam ettirilmelidir. Mesnet üst donatısının geri kalan kısmı, TS-500'e göre düzenlenmelidir.

Kolona birleşen kirişlerin kolonun öbür yüzünde devam etmediği durumlarda kirişlerdeki alt ve üst donatı, kolonun etriyelerle sarılmış çekirdeğinin karşı taraftaki yüzeyine kadar uzatılıp etriyelerin iç tarafından 90 derece bükülmelidir. Bu durumda boyuna donatının kolon içinde kalan yatay kısmı ile 90° kıvrılan düşey kısmının toplam uzunluğu, düz kenetlenme boyu ℓ_b 'den az olmamalıdır. 90°'lik kancanın yatay kısmı $0.4\ell_b$ 'den, düşey kısmı ise 12ϕ 'den az olmamalıdır, Şekil 5-11.

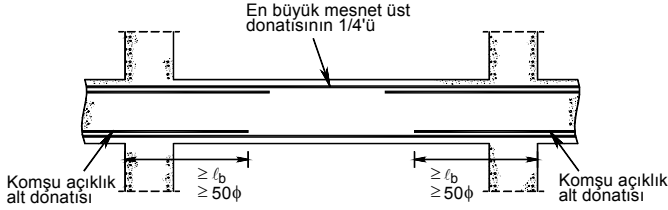
Perdelerde ve a ölçüsünün düz kenetlenme boyu ℓ_b 'den ve 50ϕ 'den daha fazla olduğu kolonlarda, boyuna donatının kenetlenmesi, 90°'lik kanca yapılmaksızın düz olarak sağlanabilir, Şekil 5-11.



Şekil 5-11 Kiriş donatılarının kenetlenmesi

Beton dökümündeki konumu nedeniyle kiriş üst donatısı aderans bakımından alt donatıya göre daha elverişsiz durumdadır. Üstte bulunan donatının aderansında %30 kadar bir azalma söz konusudur. Sarılma bölgesinde etriyeler aderans kaybını engellemeye katkı sağlamaktadır.

Her iki taraftan kirişlerin kolonlara birleşmesi durumunda kiriş alt donatıları, açıklığa komşu olan kolon yüzünden itibaren, 50ϕ 'den az olmamak üzere, en az kenetlenme boyu ℓ_b kadar uzatılmalıdır, Şekil 5-12. Kirişlerdeki derinlik farkı gibi nedenlerle bu olanağın bulunmadığı durumlarda kenetlenme, kirişin kolonun öbür yüzünde devam etmediği durumlar için tanımlandığı şekilde yapılmalıdır.



Şekil 5-12 Kiriş alt donatısı düzenlenmesi

Düz Kenetlenme

Donatı ve betonun birlikte çalışabilmesi ve kuvvetleri taşıyabilmesi için donatının betona iyice gömülmesi ve yeterli kenetlenmeyi sağlaması gerekir. Düz kenetlenme türünde donatı gereksinme duyulmayan noktadan düz olarak l_b kadar uzatılarak kenetlenme sağlanır. Düz kenetlenmeye ancak nervürlü çubuklarda izin verilmektedir.

Düz kenetlenme için kenetlenme boyu:

$$l_b = 0.24\phi \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \geq 40\phi \quad \text{Düz yüzeyli donatı}$$

$$l_b = 0.12\phi \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \geq 20\phi \quad \text{Nervürlü donatı}$$

Donatı çapı $32 < \phi \leq 40$ mm ise $\bar{l}_b = \frac{100}{132 - \phi} l_b$ olarak hesaplanmalıdır.

TS500'de donatı çubuklarının konumu, kenetlenme bakımından olumsuzluk içerip içermemesine göre Konum I ve Konum II olarak sınıflandırılmaktadır.

Kenetlenme bakımından donatının konumunun olumsuz olduğu durum Konum I, olmadığı durum Konum II olarak adlandırılmaktadır. Konum II'deki donatı çubukları "Betonlama sırasında eğimi yatayla $45^\circ - 90^\circ$ arasında olanlar ile, daha az eğimli veya yatay olup da betonlama sırasında kesitin alt yarısında veya kesitin serbest üst yüzünden 300mm'den daha uzakta olan çubuklar" olarak tanımlanmaktadır.

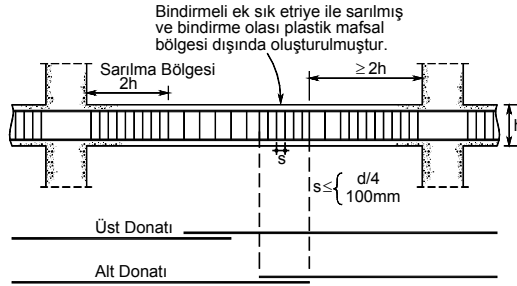
Konum II'de olmayan donatı çubuklarının ise Konum I'de olduğu kabul edilmektedir.

Hesaplanan kenetlenme boyunun, kenetlenme bakımından olumsuz konumdaki (Konum I) çubuklar için %40 artırılması gerekmektedir.

5.3.1.6. Donatıların eklenmesi

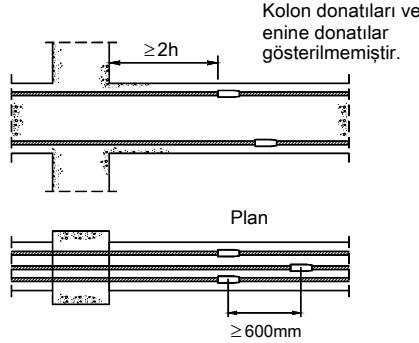
Bindirmeli ekler kiriş sarılma bölgeleri, kolon-kiriş birleşim bölgeleri ve açıklık ortasında alt donatı bölgeleri gibi, donatının akma durumuna ulaşma olasılığı bulunan kritik bölgelerde yapılmamalı, olabildiğince gerilmenin en düşük olduğu ve kesme kuvveti etkilerinin kritik olmadığı bölgelerde yapılmalıdır.

Bu bölgeler dışında bindirmeli eklerin yapılabileceği yerlerde, ek boyunca özel deprem etriyeleri kullanılmalı ve bu etriyelerin aralıkları kiriş derinliğinin 1/4'ünü ve 100 mm'yi aşmamalıdır. Üst montaj donatısının açıklık ortasındaki eklerinde özel deprem etriyeleri kullanılmasına gerek yoktur, Şekil 5-13.



Şekil 5-13 Kirişlerde bindirme ekleri

Manşonlu ekler veya bindirmeli kaynak ekleri, bir kesitte ancak birer donatı atlayarak uygulanmalı ve birbirine komşu iki ekin merkezleri arasındaki boyuna uzaklık 600 mm'den daha az olmamalıdır. Bu eklerin doğrusal olmayan davranışın ortaya çıkabileceği kesitlerin dışında, örneğin en az kolon veya kiriş yüzlerinden kesit yüksekliğinin iki katından daha uzak kesitlerde yapılması uygun olacaktır.



Şekil 5-14 Manşonlu ek düzenlenmesi

Kullanılacak manşonlu eklerin, hem çekme hem de basınç altında, manşonla bağlanan donatı çubuğu için standartlarda öngörülen minimum karakteristik akma dayanımının 1.25 katı dayanıma sahip olduğu deneylerle kanıtlanmalıdır.

Doğrusal olmayan şekilde değişimlerin büyük değerlere ulaşacağı kesitlerde, donatıdaki gerilmeler çekme gerilmesi değerlerine kadar çıkabileceğinden çekme gerilmesine ulaşmasını sağlayacak dayanıma sahip özel manşonların kullanılması daha uygun olacaktır. Bu durumlarda kullanılan donatının çekme gerilmesinin de deneylerle belirlenmesi gerekmektedir.

5.3.1.7. Kirişlerin Kesme Güvenliği

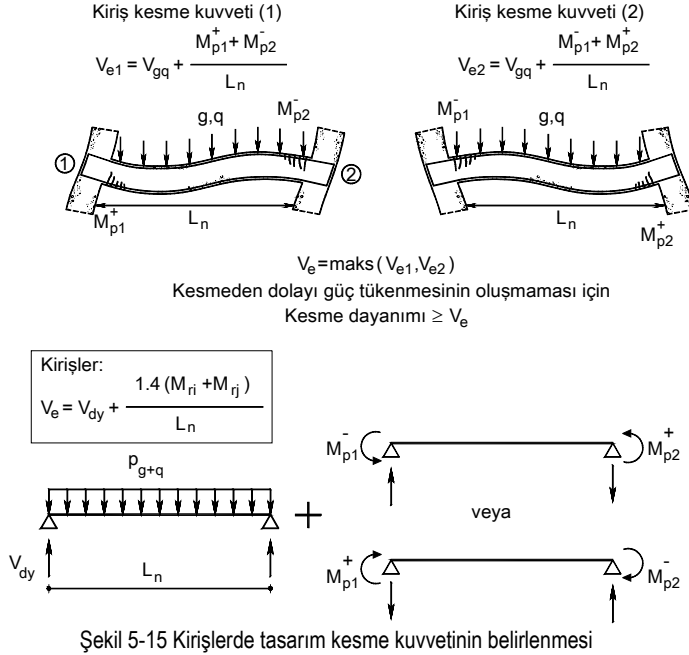
Kapasite tasarımı ilkesine uygun olarak, gevrek davranışa neden olan kesme kuvveti kapasitesinin sünek davranış sağlayan eğilme kapasitesinden yüksek olması sağlanmalı ve kesme kuvvetinden dolayı oluşabilecek dayanım kaybı hiçbir koşul altında eğilmeden dolayı oluşacak dayanım kaybından önce oluşmamalıdır. Bu amaçla kirişin her iki ucunda depremin yönü de dikkate alınarak eğilme momenti kapasiteleri hesaplanır. Bu kapasite momentleri kullanılarak kirişte oluşabilecek en büyük kesme kuvveti V_e belirlenir. Bu kesme kuvvetinin karşılayacak şekilde kesme hesabı yapılarak kesme güvenliği sağlanır.

Böylece kirişte eğilmeden dolayı oluşan ve sünek olan dayanım kaybının, gevrek olan kesme kuvveti kaynaklı dayanım kaybından önce oluşması garanti altına alınmış olmaktadır.

Enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti, V_e , depremin soldan sağa veya sağdan sola etkimesi durumları için ayrı ayrı ve elverişsiz sonuç verecek şekilde, Denklem (5.2) ile bulunmalıdır, Şekil 5-15.

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj}) / \ell_n \quad (5.2)$$

Donatı çeliğinin pekleşme ve başka üretim nedenleri ile akma dayanımından daha yüksek değerlere sahip olması eğilme momenti kapasitesini arttıracığından kiriş uçlarındaki moment kapasiteleri bu olası değişimleri gözönüne alarak hesaplanmalıdır. Kirişin kolon yüzünde hesaplanan moment kapasiteleri daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda, $M_{pi} \cong 1.4M_{ri}$ ve $M_{pj} \cong 1.4M_{rj}$ olarak alınabilmektedir.



Denklem (5.2) ile hesaplanan kesme kuvveti, V_e 'yi karşılayacak kesme kuvveti kapasitesi V_r oluşturulmalı ve eğik basınç gerilmeleri sonucu ezilmenin oluşmayacağı kontrol edilerek Denklem (5.3) ile verilen koşullar sağlanmalıdır. Denklem (5.3)'teki ikinci koşulun sağlanamaması durumunda, kesit boyutları gereği kadar büyütülerek deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

$$V_e \leq V_r \quad (5.3)$$

$$V_e \leq 0.22 b_w d f_{cd}$$

Kiriş enine donatısının V_e kesme kuvvetine göre hesabında, betonun kesme dayanımına katkısı, V_c , TS500'e göre belirlenmelidir. Ancak, kiriş sarılma bölgelerindeki enine donatının hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremlilik durumundaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması halinde, betonun kesme dayanımına katkısı $V_c = 0$ alınmalıdır. Hiçbir durumda pilyelerin kesme dayanımına katkıları gözönüne alınmamalıdır.

$$V_E > 0.5V_d \rightarrow V_c = 0$$

$$V_E \leq 0.5V_d \rightarrow V_c = 0.8V_{cr} \quad (5.4)$$

5.3.2. Süneklik düzeyi Normal Kirişler

Enkesit boyutları ve boyuna donatı ve düzenlenmesine ilişkin koşullar süneklik düzeyi yüksek kirişler için belirtilen koşullar ile aynıdır. Bu tür kirişlerde de sarılma bölgeleri oluşturulmalı ve bu bölgelerde özel deprem etriyeleri kullanılmalıdır. Etriye aralıkları kiriş yüksekliğinin 1/3'ünü, en küçük boyuna donatı çapının 10 katını ve 200 mm'yi aşmamalıdır. Sarılma bölgesi dışında, TS500'de verilen enine donatı koşullarına uyulmalıdır.

Tablo 5-1 Kirişler için öngörülen koşullar

Tanım	Öngörülen Koşullar			Açıklama
	TS500	DBYBHY 2007		
		Süneklik Düzeyi Yüksek	Süneklik Düzeyi Normal	
$\max N_d$	$0.1f_{ck}A_c$	$0.1f_{ck}A_c$	$0.1f_{ck}A_c$	
$\min b_w$	200mm	250mm	250mm	Kiriş genişliği
$\max b_w$	$h+c_2$	$h+c_2$	$h+c_2$	b_c kolonun kirişe dik boyutu
$\min h$	300mm, 3t	300mm, 3t	300mm, 3t	t, döşeme kalınlığı
$\max h$	---	$3.5b_w, L_{net}/4$	$3.5b_w, L_{net}/4$	Kiriş yüksekliği
$\max (\rho - \rho')$	$0.85\rho_b$	$0.85\rho_b$	$0.85\rho_b$	
$\max \rho$	0.02	0.02	0.02	Çekme donatısı oranı
ϕ_L	$\geq 12mm$	$\geq 12mm$	$\geq 12mm$	Boyuna donatı çapı
$\phi_{L,gövde}$	$\geq 10mm$	$\geq 10mm$	$\geq 10mm$	Boyuna donatı çapı
L_c	2h	2h	2h	Sarılma bölgesi uzunluğu
$\max s_c$	$d/4, 8\phi_s, 150mm$	$h/4, 8\phi_s, 150mm$	$h/3, 10\phi_s, 200mm$	Sarılma bölgesinde etriye aralığı
s_a	$d/2$	$d/2$	$d/2$	
(ρ' / ρ)	---	1. ve 2. $\rightarrow 0.5$ 3. ve 4. $\rightarrow 0.3$	1. ve 2. $\rightarrow 0.5$ 3. ve 4. $\rightarrow 0.3$	Deprem Bölgesine göre mesnet basınç donatısı/çekme donatısı oranı
A'_s	---	$\max A_{s,mesnet} / 4$	$\max A_{s,mesnet} / 4$	Kesit üstünde bulunacak donatı
$\rho_{min} = \frac{A_{s,min}}{b_w d}$	$0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$	$0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$	$0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$	Minimum donatı oranı
ϕ_c	$\geq 8mm$	$\geq 8mm$	$\geq 8mm$	Sarılma bölgesinde etriye çapı
$\min (a+b)$	---	ℓ_b	ℓ_b	
$\min a$	---	$0.4\ell_b$	$0.4\ell_b$	Kenar mesnet
$\min b$	---	12ϕ	12ϕ	Kenar mesnet
V	V_d	V_c	V_d	Kesme kuvveti

Süneklik düzeyi normal kirişlerde enine donatı hesabında düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti V_d esas alınmaktadır.

Tasarım kesme kuvvetinin üst sınırı için verilen

$$V_d \leq 0.22 A_w f_{cd} \quad (5.5)$$

koşulu bu tür kirişler için de geçerlidir. Kesme kuvvetinin karşılanmasında, betonun katkısı V_c , TS500 de öngörüldüğü şekilde hesaba alınmalıdır. Pliyelerin kesme dayanımına katkısı gözönüne alınmayacaktır.

5.4. Kolonlar

5.4.1. Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlar

Süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanacak kolonlarda dikdörtgen kolonlu kesitlerin en küçük boyutu 250 mm ve enkesit alanı 75000mm²'den az olmamalıdır, (250mmx300mm). Kolon kesiti daire ise çapı en az 300mm olmalıdır. Kolon kesitleri için belirtilen minimum boyutlar belirli bir yanıl ötelenme rijitliğinin sağlanması amacıyla yöneliktir. Kesit seçiminde, kolonların kirişlerden güçlü olmasını sağlatabilecek boyutların gerekeceği de unutulmamalıdır.

Deprem etkisinde kolonun belirli bir süneklığe sahip olabilmesi için eksenel yük düzeyinin sınırlanması ve zorlanan eleman uç bölgelerinin sık sargı donatısı ile sarılması gerekmektedir.

Kolon kesiti

$$A_c \geq \frac{N_{dm}}{0.5 f_{ck}} \quad (5.6)$$

koşulunu sağlamalıdır.

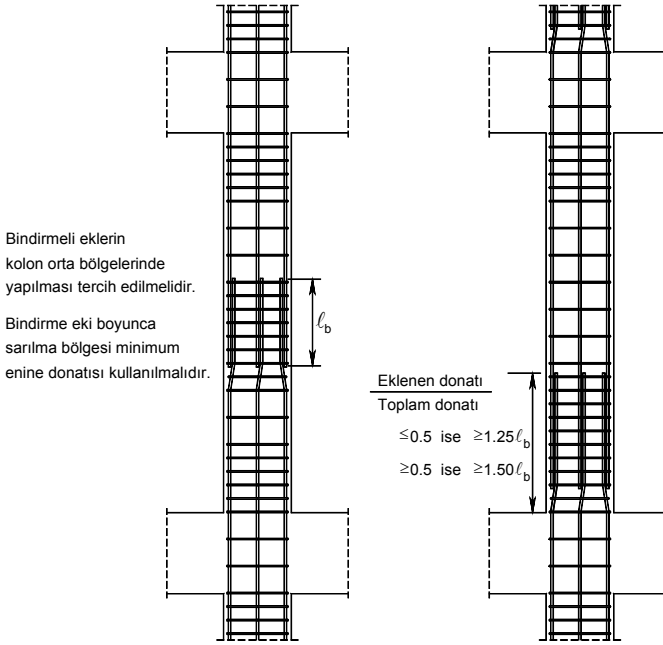
Burada N_{dm} , düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan en büyük eksenel basınç kuvvetidir. Bu koşul, eksenel yük düzeyinin ($N_d \leq 0.5 f_{ck} A_c$) sınırlandırılarak kesitin sünekliliğinin artırılmasını ve eksenel kuvvetten oluşabilecek gevrek kırılma riskinin azaltılmasını sağlamaya yöneliktir.

Sünme nedeni ile betonarme kolonlarda boyuna donatıdaki gerilmeler artmakta, betondakiler ise azalmaktadır. Bu değişim eksenel gerilme düzeyi yüksek olan kolonlarda daha büyük olmaktadır. Özellikle yüksek binaların alt kat kolonlarında eksenel kuvvetler büyük olduğundan bu elemanların kesitlerinde eksenel gerilme düzeyini $0.35 f_{ck}$ ile sınırlandırılması uygun olacaktır.

Boyuna donatı oranı %1'den az %4'den fazla olmamalıdır. Bindirmeli ek yapılan kesitlerde donatı oranı %6'yı geçmemelidir. Dikdörtgen kesitli kolonlarda en az 4φ16 veya 6φ14, dairesel kolonlarda ise 6φ14 donatı bulundurulmalıdır. Minimum boyuna donatı oranı kesite belirli bir moment kapasitesi ve süneklilik kazandırmak amaçlıdır. Kolonun minimum bir donatı alanına sahip olması rötre ve sünme etkilerinin azaltılmasına da olumlu katkı yapmaktadır.

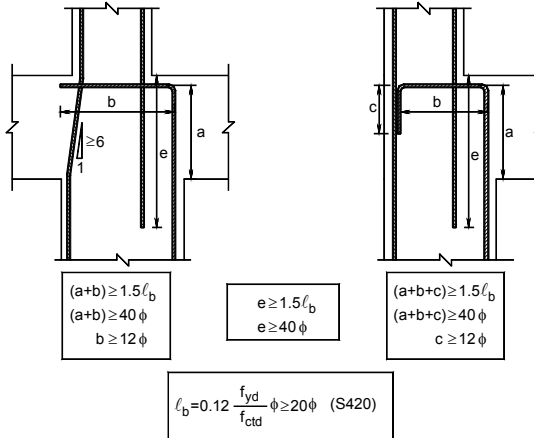
Donatı oranının yüksek olduğu durumlarda boyuna donatı sayısı artacak, özellikle bindirmeli ek yapılan bölgelerde yoğun bir donatı bölgesi oluşacak betonlama işlemi çok güçleşecektir. Boyuna donatı için belirtilen üst sınır betonun kolaylıkla yerleşebilmesini sağlamaya yöneliktir.

Kolon kesitinde kullanılacak boyuna donatının çapı basınç kuvveti etkisindeki donatı çubuklarının burkulması ile ilgilidir. Boyuna donatının burkulma davranışını, donatı çapının dışında boyuna donatıyı saran iki etriye arasındaki uzaklıkta etkilemektedir. Etriye aralıkları azaldıkça burkulma boyu kısalmaktadır. Deprem etkisi altında en çok zorlanma, en büyük momentler kolon alt ve üst uçlarında oluşmaktadır. Boyuna donatıların eklenmesi kolon alt uçlarında yapılırsa donatı yoğunluğundan dolayı betonlama işleminin sağlıklı yapılmasına olasılığı ortaya çıkmaktadır. Dayanımın en yüksek olması gereken yerde zayıf dayanımlı bir bölge oluşturulmuş olacaktır. Bu nedenle kolon boyuna donatılarının bindirmeli ekleri olası ölçüde sarılma bölgeleri arasında kalan orta bölgede yapılmalıdır. Bu durumda bindirmeli ek boyu kenetlenme boyuna eşit alınabilir. Boyuna donatıların kolon alt ucunda yapılması durumunda bindirme boyu; eklenen donatılar, toplam donatının %50'si veya daha azı ise $1.25 \ell_b$, %50'den fazlası ise $1.5 \ell_b$ olarak alınmalıdır, Şekil 5-16. Bu düzenleme bindirme eklerinin kolon alt ucunda yapılması sonucu artan hasar oluşma olasılığının giderilmesine yöneliktir. Yazar boyuna donatılarının bindirilmesinin kolon alt ucunda yapılmasını sakıncalı bulmaktadır.



Şekil 5-16 Kolonlarda bindirme ekleri

Katlar arasında kolon kesitlerinin değişmesi durumunda, boyuna donatının kolon-kiriş birleşim bölgesi içinde düşeye göre eğimi $1/6$ 'dan fazla olmamalıdır.



Şekil 5-17 Katlar arasında boyuna donatının düzenlenmesi

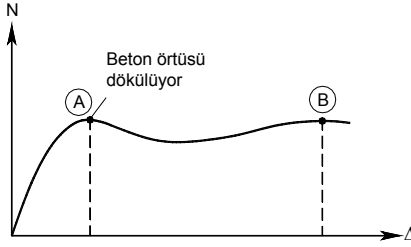
Kesit değişiminin daha fazla olması durumunda veya en üst kat kolonlarında; alttaki kolonun boyuna donatısının karşı taraftaki kirişin içindeki kenetlenme boyu TS500'de çekme donatısı için verilen kenetlenme boyunun 1.5 katından ve 40ϕ 'den az olmamalıdır. Karşı tarafta kirişin bulunmadığı durumda

kenetlenme gerekli durumda kolonun karşı yüzünde aşağıya doğru kıvrım yapılarak sağlanmalıdır. 90°'lik yatay kancanın veya aşağıya kıvrılan düşey kancanın boyu en az 12ϕ olmalıdır.

Yanyana boyuna donatılarda yapılan manşonlu veya kaynaklı eklerin arasındaki boyuna uzaklık 600 mm'den az olmayacaktır.

Kolonlarda Minimum Sargı Donatısı

Kolonlarda sargı donatısı çekirdek betonunu sararak betonda dayanım artışına ve kesitin sünekliliğinin artmasına katkıda bulunduğu daha önce belirtilmişti. Aşağıda gerekli minimum sargı donatısı için yönetmelikte verilen bağıntıların elde edilişi açıklanmaktadır. Şekil 5-18'da eksenel yük etkisindeki bir fretli dairesel kolon kesitinin eksenel yük-eksenel kısalma grafiği gösterilmektedir.



Şekil 5-18 Eksenel Yük-Eksenel Kısalma grafiği

Davranış incelendiğinde A'dan B'ye gidilirken kabuk betonu dökülmekte, sargı etkisi artarken çekirdek betonunun dayanımı artmaktadır. Beton basınç dayanımı f_{ck} 'den f_{cc} 'e çıkmaktadır. Artan beton dayanımı için Denklem (5.7) kullanılabilir, [14].

$$f_{cc} = 0.85 f_{ck} + 4.1 \cdot \sigma_2 \quad (5.7)$$

Minimum fret oranı yitirilen kabuk betonunun taşıdığı eksenel yükün çekirdek betonunun sargı etkisi ile artan yük taşıma kapasitesine eşitlenerek bulunabilir.

$$\text{Yitirilen kapasite } \Delta N_1 = 0.85 f_{ck} \underbrace{\left(A_c - A_{ck} \right)}_{\text{Kabuk Alanı}}$$

A_c : Tüm kesit alanı (Brüt enkesit alanı)

A_{ck} : Çekirdek alanı (Sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanı)

$$\text{Kazanılan kapasite } \Delta N_2 = A_{ck} (f_{c1} - 0.85 f_{ck}) = A_{ck} \cdot 4.1 \sigma_2$$

Şekil 5-18'da A ve B ile gösterilen iki tepe noktasındaki taşınan eksenel yükün aynı olabilmesi için

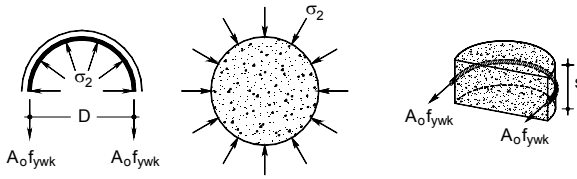
$$\Delta N_1 = \Delta N_2 \text{ olmalıdır.}$$

$$0.85 f_{ck} (A_c - A_{ck}) = A_{ck} \cdot 4.1 \sigma_2$$

Bu durumda

$$0.85 f_{ck} \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) = 4.1 \sigma_2 \quad (5.8)$$

eşitliğinin sağlanması gerekmektedir.



Şekil 5-19 Sargı donatısı kuvvetleri ve çekirdek betonuna uygulanan gerilme

Çekirdekte düzgün yayılı σ_2 gerilmesi bulunduğu varsayımı ile Şekil 5-19'den yararlanarak yatay denge yazılırsa

$$\sigma_2 = \frac{2A_0 f_{yw}}{D \cdot s} \quad (5.9)$$

bağıntısı elde edilir ve Denklem (5.8)'de verilen eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$0.85 f_{ck} \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) = 4 \cdot I \cdot \frac{2A_0 f_{yw}}{D \cdot s}$$

Gerekli minimum fret alanı aşağıdaki bağıntı ile elde edilir.

$$A_0 = \frac{D \cdot s}{8.2} \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \frac{0.85 f_{ck}}{f_{yw}} \quad (5.10)$$

Fret donatısının hacimsel oranı, bir halkadaki fret hacmi, s yüksekliğindeki beton hacmine bölünerek (fret donatısı hacmi/çekirdek hacmi)

$$\rho_s = \frac{\pi D A_0}{\pi D^2 s} = \frac{4 A_0}{D \cdot s} = 0.415 \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \frac{f_{ck}}{f_{yw}} \quad (5.11)$$

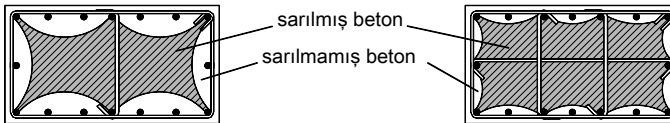
olarak elde edilir.

Bu oran yönetmelikte güvenli tarafta kalarak

$$\min \rho_s = 0.45 \frac{f_{ck}}{f_{yw}} \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \quad (\text{DBYBHY 2007 Denklem 3.2.a})$$

olarak verilmektedir. Çapı büyük kolonlar için A_c / A_{ck} değeri 1'e yaklaştığından ρ_s değeri çok küçük değerler almaktadır. Bu nedenle yönetmelik ek olarak bir alt sınır koşulu getirmektedir.

$$\rho_s \geq 0.12 \frac{f_{ck}}{f_{yw}} \quad (\text{DBYBHY 2007 Denklem 3.2.b})$$



Şekil 5-20 Sargı donatısı düzenine bağlı olarak kesitte sarılmış ve sarılmamış beton bölgeleri

Kare ve dikdörtgen kolonlar için gerekli minimum sargı donatısı yukarıda elde edilen bağıntılara benzer olarak elde edilebilmektedir. Sargı nedeniyle oluşacak iç basınç enine donatının yerdeğiştirilmesi ile ters orantılıdır. Etriye kolonlarda sargı etkisi etriye köşelerinde ve boyuna donatıların çirozlarla tutulduğu

bölgelerde ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle etriyeli kolonlarda yanal basınç düzgün yayılı değildir ve etriye mesnedinden uzaklaştıkça azalmaktadır, Şekil 5-20.

Minimum etriye miktarının belirlenmesi amacıyla başlangıçta dikdörtgen kesitlerde sargı etkisi ile oluşan yanal basınç sabit olduğu kabul edilebilir. Bağlıntılar elde edildikten sonra gerekli düzeltmeler yapılmalıdır. Şekil 5-21'den aşağıdaki denklemler yazılabilir.

$$\sum A_o f_{yw} = \sigma_2 b_k s$$

$$\sigma_2 = \frac{\sum A_o f_{yw}}{b_k s}$$

Sargı donatısının kesit planı içerisinde belirli bir açı ile yerleştirilmesi durumunda yanal basınç ifadesi

$$2A_o f_{yw} + 2A_o f_{yw} \cos \alpha = \sigma_2 b_k s$$

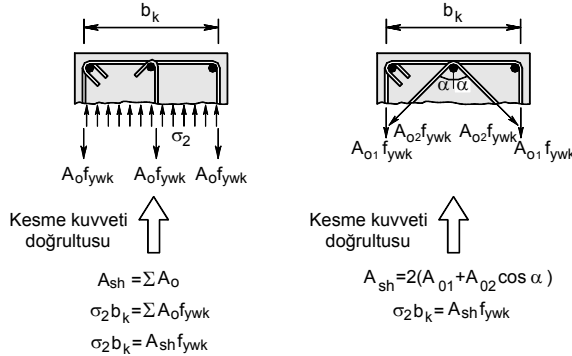
$$\sigma_2 = \frac{2A_o f_{yw} + 2A_o f_{yw} \cos \alpha}{b_k s}$$

olarak elde edilir.
Genel denklem

$$\sigma_2 = \frac{\sum A_o f_{yw} \cos \alpha}{b_k s} \quad (5.12)$$

olarak yazılabilir. Burada α etriye kolunun etkiyen kesme kuvveti doğrultusu ile yaptığı açıdır.

Kabuğun ezilmesi ile yitirilen dayanımın sargı donatısı içinde kalan çekirdek betonunda sargı nedeni ile artan dayanıma eşitlenirse minimum sargı donatısı ile ilgili bağıntı elde edilebilir.



Şekil 5-21 Dikdörtgen kesitte sargı etkisi

Yitirilen dayanım

$$\Delta N_1 = (A_c - A_{ck}) 0.85 f_{ck}$$

Kazanılan dayanım

$$\Delta N_2 = (f_{cc} - 0.85 f_{ck}) A_{ck} = (f_{cc} - 0.85 f_{ck}) A_{ck}$$

Yitirilen dayanımın kazanılan dayanıma eşitlenmesi ile

$$\Delta N_1 = \Delta N_2$$

$$(A_c - A_{ck}) 0.85 f_{ck} = (f_{cc} - 0.85 f_{ck}) A_{ck} \quad ; \quad f_{cc} = (0.85 f_{ck} + 4 \sigma_\ell)$$

$$0.85 f_{ck} (A_c - A_{ck}) = 4 \sigma_\ell A_{ck} \quad ; \quad 0.85 f_{ck} \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) = 4 \frac{\sum A_o \cos \alpha}{b_k s} f_{yw}$$

$$\sum A_o \cos \alpha = A_{sh}$$

$$\min A_{sh} = 0.2125 \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} b_k s \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \quad (5.13)$$

bağıntısı elde edilir.

Yanal basıncın düzgün olmadığını gözönüne almak üzere (5.13) ile elde edilen değer %40 kadar atırılırsa dikdörtgen kolonlar için minimum sargı donatısı alanı

$$\min A_{sh} = 0.30 s b_k \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (\text{DBYBHY 2007 Denklem 3.1.a})$$

olarak elde edilir. Bu bağıntıların geçerli olabilmesi için etriyelerin yeterli sıklık ile yerleştirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Kabuk alanının çok küçük olduğu durumda A_c / A_{ck} oranı 1'e yaklaştığından A_{sh} değeri sıfıra yaklaşmaktadır. Bu doğru olmayan sonucu engellemek üzere aşağıda verilen ikinci bir denklem kullanılmaktadır.

$$\min A_{sh} = 0.075 s b_k \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (\text{DBYBHY 2007 Denklem 3.1.b})$$

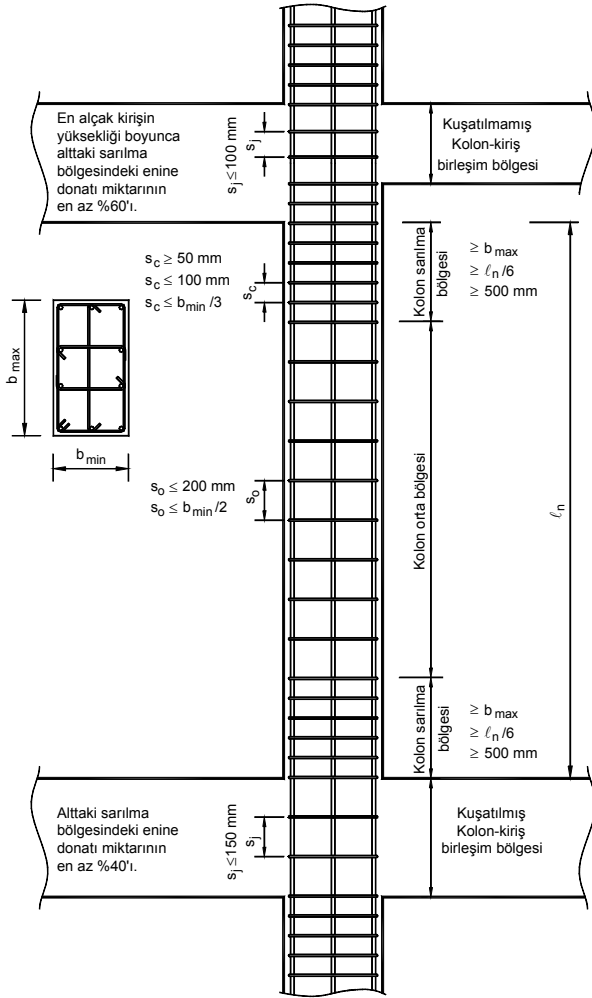
Kolon Sarılma Bölgeleri

Kolonların alt ve üst uçları deprem etkileri altında daha fazla zorlandığından bu bölgelerde sargı etkisi ile sünekliliği arttırmak amacıyla özel sarılma bölgeleri oluşturulmalıdır. Sarılma bölgelerinin her birinin uzunluğu döşeme üst kotundan yukarıya doğru veya kolona bağlanan en derin kirişin alt yüzünden başlayarak aşağıya doğru ölçülmek üzere kolon kesitinin büyük boyutundan, kolon serbest yüksekliğinin 1/6'sından ve 500mm'den az olmamalıdır, Şekil 5-22.

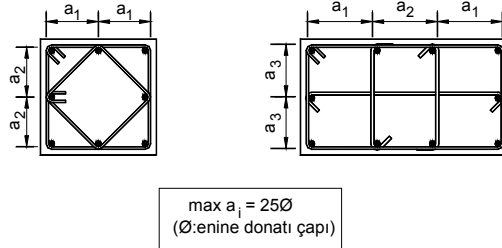
Sarılma bölgelerinde enine donatı çapı $\phi 8$ 'den az olmamalıdır. Bu bölgede boyuna doğrultudaki etriye ve çiroz aralığı en küçük enkesit boyutunun 1/3'ünden ve 100mm'den daha fazla, 50mm'den daha az olmamalıdır. Öngörülen etriye ve çiroz aralığı sarmayı etkili kılacak bir sınırlama getirme amaçlıdır.

Kolonlarda hem sarılma bölgelerinde hem de orta bölgelerde etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık etriye çapının 25 katından fazla olmamalıdır. Bu koşul ile sarılmış beton alanını artırarak davranışın iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

Çiroz bağlantıları kullanıldığında etkinliği arttırmak için çirozların hem enine hem de boyuna donatıyı dıştan kavraması ve beton dökülürken oynamayacak şekilde sıkıca bağlanması uygun olmaktadır.

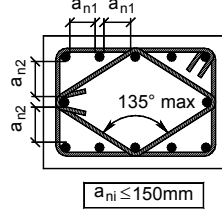


Şekil 5-22 Kolon sarılma bölgesi ve enine donatı aralığı koşulları [7]



Şekil 5-23 Enine donatılar ile tutulmuş boyuna donatı ara uzaklığı

Boyuna donatılar arasındaki uzaklığın 150mm'den az olması ve etriyelerin komşu kolları arasındaki açının 135°'den küçük olması uygundur, Şekil 5-24.



Şekil 5-24 Boyuna donatı arasındaki uzaklıklar

Etriye kolonlarda $N_d > 0.20 A_c f_{ck}$ ise sarılma bölgelerindeki minimum toplam enine donatı alanı

$$A_{sh} \geq 0.30 s b_k \left[\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right] \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (5.14)$$

$$A_{sh} \geq 0.075 s b_k \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (5.15)$$

koşullarından elverişsiz olanını sağlamalıdır. İkinci denklem kesit boyutları büyük elemanlarda ilk denkleme bir alt sınır oluşturmak amaçlıdır.

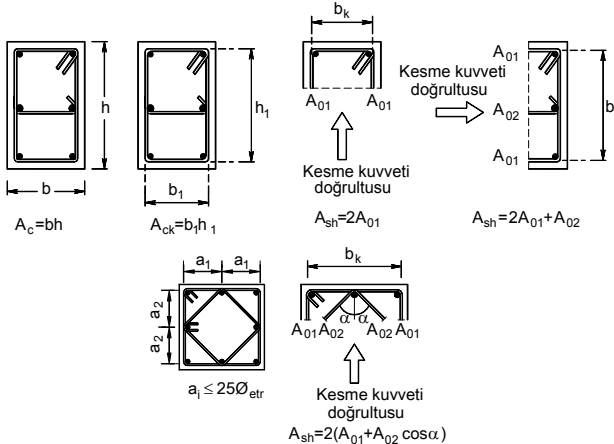
Spiral donatılı kolonlarda $N_d > 0.20 A_c f_{ck}$ ise sarılma bölgelerindeki minimum toplam enine donatının hacimsel oranı

$$\rho_s \geq 0.45 \left[\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right] \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (5.16)$$

$$\rho_s \geq 0.12 \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (5.17)$$

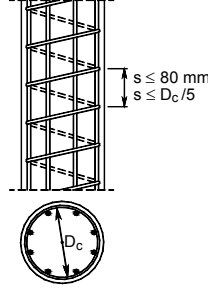
koşullarından elverişsiz olanı sağlamalıdır.

$N_d \leq 0.20 A_c f_{ck}$ olması durumunda bağıntılardan elde edilen elverişsiz değer 2/3'ü kullanılmalıdır.



Şekil 5-25 Kesme kuvveti hesabında kullanılan kesit ve donatı alanı büyüklükleri

Sürekli dairesel spirallerin adımı göbek çapının 1/5'inden ve 80mm'den fazla olmamalıdır. Bu koşullarda sarğılama etkisinin yeterli düzeyde oluşabilmesini sağlama amaçlıdır.



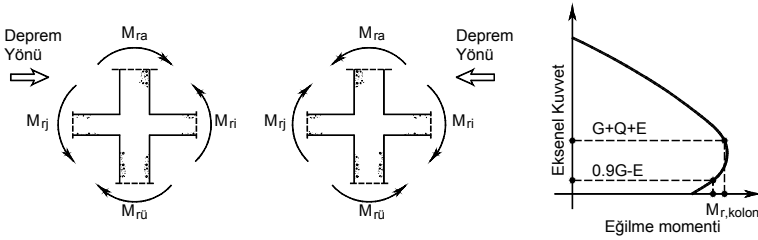
Şekil 5-26 Dairesel spiral donatıda adım aralığı

Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Koşulu

Kolonların kirişlerden daha güçlü olma koşulu, bir düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentleri toplamının, aynı düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerindeki taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olmasıdır, Şekil 5-27.

$$(M_{ra} + M_{r\bar{u}}) \geq 1.2(M_{ri} + M_{rj}) \quad (5.18)$$

Bu koşul ile hasarların kolonlara göre daha sünek davranış gösteren kirişlerde oluşmasının sağlanması amaçlanmaktadır. Denklem (5.18)'nin uygulanabilmesi için, düğüm noktasına birleşen kirişlerin süneklik düzeyi yüksek kirişler için gerekli enkesit koşullarını sağlaması zorunludur.



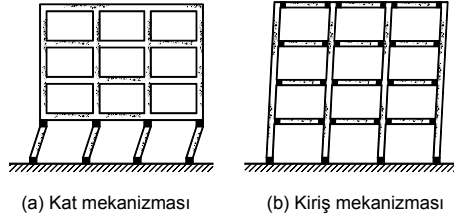
Şekil 5-27 Deprem yönüne bağlı olarak kolon ve kiriş momentleri

Denklem (5.18), her bir deprem doğrultusunda ve depremin her iki yönü için elverişsiz sonuç verecek şekilde ayrı ayrı uygulanmalıdır. Kolon taşıma gücü momentlerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak bu momentleri en küçük yapan N_d eksenel kuvvetleri gözönüne alınmalıdır, Şekil 5-27.

Yeterli kenetlenme boyuna sahip olan ve kiriş tabla genişliği içinde bulunan döşeme donatılarının, kirişin eğilme kapasitesine katkıda bulunacağı tasarımda gözönüne alınmalıdır.

Normal kuvvet düzeyi düşük olan kolonların yeterli sünekliğe sahip olacağı ve yeterli düzeyde plastik şekildeğiştirme yapabileceği gözönünde bulundurulur.

- Düğüm noktasına birleşen kolonların her ikisinde de $N_d \leq 0.10A_c f_{ck}$ olması durumunda,
- Tek katlı binalarda ve çok katlı binaların kolonları üst kata devam etmeyen düğüm noktalarında,
- Kirişlerin saplandığı perdenin zayıf doğrultuda kolon gibi çalışması durumunda, kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunun sağlanması zorunlu değildir.



Şekil 5-28 (a) Kat mekanizması oluşumu (b) Kolonların kirişlerden güçlü olması durumu

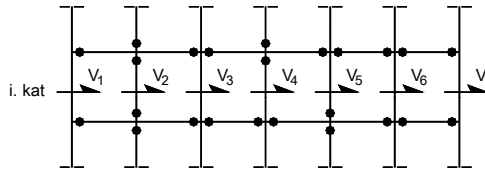
Kolonların kirişlerden güçlü olma koşulunun sağlanması, kat mekanizması oluşması (Şekil 5-28a) sonucu tüm sistemin dayanımını kaybetmesini de önlemektedir. Kolonların kirişlerden güçlü olma koşulunun sağlanmadığı sistemlerde hasarlar kolonlarda oluşmaktadır. Oluşacak hasar az sayıda kesitte ortaya çıkacağından, deprem sırasında oluşan enerjinin tüketilmesi ancak plastikleşen kesitlerin büyük dönmeler yapabilmesi ile mümkün olacaktır. Çoğu durumda bu kesitler gereken büyük dönme değerlerine ulaşamamakta veya ulaşabildiği durumda dayanımlarını önemli oranda kaybetmiş olduklarından düşey yükleri de taşıyamaz hale gelmekte ve tüm sistemin dayanımını olumsuz etkilemektedir. Dayanımını kaybeden kolonların sayısı arttığında yapının toptan göçme olasılığı da artmaktadır.

Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Koşulunun Bazı Kolonlarda Sağlanamaması Durumu

Deprem yönetmeliğinde, sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın herhangi bir i'inci katında, ilgili katın alt ve/veya üstündeki bazı düğüm noktalarında kolonların kirişlerden güçlü olma koşulunun sağlanamamış olmasına koşullu olarak izin verilmektedir. Gerekli koşulun sağlanması için ilgili katta kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunu sağlayan veya $N_d \leq 0.10 A_c f_{ck}$ olan kolonların deprem yükleri etkisinde hesaplanan hesap kesme kuvvetleri toplamının (V_{is}) o kattaki tüm kolonların kat kesme kuvvetlerinin toplamının (V_{ik}) en az %70'i olması gerekmektedir, Şekil 5-29.

$$\alpha_i = V_{is} / V_{ik} \geq 0.70 \quad (5.19)$$

$$\begin{aligned} V_{is} &= V_1 + V_3 + V_6 + V_7 \\ V_{ik} &= V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 \end{aligned} \quad \alpha_i = \frac{V_{is}}{V_{ik}} \geq 0.70$$



Şekil 5-29 Kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunun bazı kolonlarda sağlanamaması durumu

Denklem (5.19)'nin sağlanması durumunda, $0.70 \leq \alpha_i \leq 1.00$ aralığında, Denklem (5.18)'nin hem alttaki, hem de üstteki düğüm noktalarında sağlandığı kolonlara etkiyen eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri (I / α_i) oranı ile çarpılarak artırılmalıdır. Denklem (5.18)'yi sağlamayan kolonlar, kesitlerinde oluşan düşey yük ve deprem etkileri altında donatılmalıdır.

Herhangi bir katta Denklem (5.19)'nin sağlanamaması durumunda, sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerdeki tüm çerçeveler sünelik düzeyi normal çerçeve olarak gözönüne alınmalı ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı değiştirilerek hesap tekrarlanmalıdır.

Kolonların Kesme Güvenliği

Süneklik düzeyi yüksek kolonlarda enine donatı hesabında kullanılacak kesme kuvveti V_e kirişlerdekine benzer şekilde kapasite tasarımı kullanılarak ,

$$V_e = \frac{M_{\bar{u}} + M_a}{\ell_n} \quad (5.20)$$

bağıntısı ile kolon uç momentlerinin toplamının serbest boya bölünmesi ile elde edilmektedir. Kolon boyunca yatay bir kuvvetin etkimesi durumunda, örneğin zemin itkisi, kirişlerdekine benzer şekilde bu etkide tasarım kesme kuvvetinin belirlenmesinde gözönüne alınmalıdır.

Süneklik düzeyi yüksek kolonlarda, tasarımda kullanılacak kesme kuvvetinin belirlenmesinde kullanılan kolon uç momentleri ($M_a, M_{\bar{u}}$) plastik mafsalların kolon veya kirişlerde oluşmasına göre değişmektedir.

Bu nedenle kolon uç momentleri, kolonların kirişlerden daha güçlü olma koşulunun sağlanması veya sağlanamaması durumunda farklı şekilde hesaplanmaktadır, Şekil 5-30.

Kolonların kirişlerden güçlü olma koşulunun sağlandığı düğüm noktalarında, düğüm noktasına birleşen kirişlerin uçlarındaki moment kapasitelerinin toplamı olan ΣM_p momenti hesaplanmalıdır.

$$\Sigma M_p = M_{pi} + M_{pj} \quad (5.21)$$

Daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda, $M_{pi} \cong 1.4M_{ri}$ ve $M_{pj} \cong 1.4M_{rj}$ olarak alınabilir. ΣM_p momenti, kolonların düğüm noktasına birleşen uçlarında deprem hesabına göre elde edilmiş bulunan momentler oranında kolonlara dağıtılmalı ve dağıtım sonucunda ilgili kolonun alt veya üst ucunda elde edilen moment, M_a veya $M_{\bar{u}}$ olarak gözönüne alınmalıdır. Deprem her iki yönü için Denklem (5.21) ayrı ayrı uygulanmalı ve elde edilen en büyük ΣM_p değeri dağıtımda esas alınmalıdır.

Kolonların kirişlerden güçlü olma koşulunun sağlanmadığı düğüm noktasına birleşen kolonların uçlarındaki momentler, kolonların moment kapasiteleri olarak hesaplanmalı ve M_a ve/veya $M_{\bar{u}}$ olarak kullanılmalıdır. Moment kapasiteleri,daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda, $M_{pa} \cong 1.4M_{ra}$ ve $M_{p\bar{u}} \cong 1.4M_{r\bar{u}}$ olarak alınabilir. M_{pa} ve $M_{p\bar{u}}$ momentlerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak bu momentleri en büyük yapan N_d aksenal kuvvetleri gözönüne alınmalıdır.

Temele bağlanan kolonların alt ucundaki M_a momenti de, kolonların moment kapasiteleri olarak hesaplanmalıdır. Hesaplanan kesme kuvveti, V_e , düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti V_d 'den daha küçük olmamalı ve ayrıca Denklem (5.22) ile verilen koşulları sağlamalıdır. Denklem (5.22)'deki ikinci koşulun sağlanamaması durumunda, eğik asal basınç gerilmeleri sonucu betonda ezilme oluşabileceğinden kesit boyutları gereği kadar büyütülerek deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

$$\begin{aligned} V_e &\leq V_r \\ V_e &\leq 0.22 A_w f_{cd} \end{aligned} \quad (5.22)$$

$M_{\bar{u}}$ 'nün hesaplanması		M_a 'nın hesaplanması	
Kolon üst ucunda kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunun		Kolon alt ucunda kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunun	
sağlanması durumu	sağlanamaması durumu	sağlanamaması durumu	sağlanması durumu
$M_{\bar{u}} = \sum M_p \frac{M_{h\bar{u}(i)}}{M_{h\bar{u}(i)} + M_{h\bar{a}(i+1)}}$		$M_a = \sum M_p \frac{M_{h\bar{a}(i)}}{M_{h\bar{a}(i)} + M_{h\bar{u}(i-1)}}$	

Şekil 5-30 M_a ve $M_{\bar{u}}$ Kolon alt ve üst momentlerinin belirlenmesi

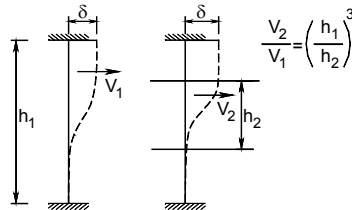
Kolon enine donatısının V_e kesme kuvvetine göre hesabında, betonun kesme dayanımına katkısı, V_c , TS-500'e göre belirlenmelidir. Ancak, kolon sarılma bölgelerindeki enine donatının hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremleri durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması ve aynı zamanda $N_d \leq 0.05 A_c f_{ck}$ koşulunun sağlanması halinde, betonun kesme dayanımına katkısı $V_c = 0$ alınmalıdır.

$$\begin{aligned}
 V_E > 0.5V_d \text{ ve } N_d \leq 0.05 A_c f_{ck} &\rightarrow V_c = 0 \\
 V_E \leq 0.5V_d \text{ veya } N_d > 0.05 A_c f_{ck} &\rightarrow V_c = 0.8V_{cr}
 \end{aligned}
 \quad (5.23)$$

Kısa Kolonlara İlişkin Koşullar

Kolonun etkili boyu, kolona bağlı yüksek kiriş veya dolgu duvar gibi elemanların varlığı nedeniyle kısılırken, yatay öteleme rijitliği artar.

Depremden oluşan kat kesme kuvveti kolonlar arasında yatay öteleme rijitlikleri oranı ile dağıldığından yatay öteleme rijitliği artan kolon daha büyük kesme kuvveti etkisinde kalmaktadır. Bu duruma kısa kolon oluşması adı verilmektedir, Şekil 5-31.

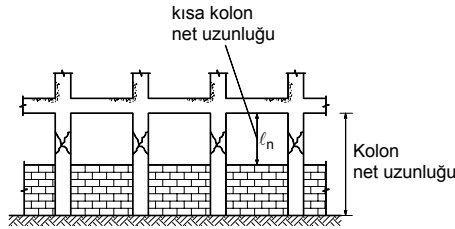


Şekil 5-31 Kesme kuvvetinin kolon boyu ile değişimi

Tablo 5-2 Kolonlar ile ilgili koşullar

	TS500	DBYBHY 2007	
		Süneklik Düzeyi Yüksek	Süneklik Düzeyi Normal
$min b$	250mm	250mm	250mm
$min A_c$	$\frac{N_d}{0.90f_{cd}} = \frac{N_d}{0.60f_{ck}}$	$75000mm^2, \frac{N_d}{0.50f_{ck}}$	$75000mm^2, \frac{N_d}{0.50f_{ck}}$
$min D$	300mm	300mm	300mm
$max (h/b)$		7	7
$min \ell_c$	---	$b_{max}, \ell_c / 6, 500mm$	$b_{max}, \ell_c / 6, 500mm$
$max s_o$	200mm, $12\phi_\ell$	200mm, $b_{min}/2$	200mm, $b_{min}/2$
$min s_c$	---	50mm	50mm
$max s_c$	---	100mm, $b_{min}/3$ (etriye) D/5, 80mm (fret)	150mm, $b_{min}/3$ (etriye) 8 ϕ_ℓ
$max s_j$	---	100mm (kuşatılmamış birleşim) 150mm (kuşatılmış birleşim)	100mm (kuşatılmamış birleşim) 150mm (kuşatılmış birleşim)
$min \phi_\ell$	14mm	14mm	14mm
$min \phi_h$	$\phi_\ell/3$	8mm	8mm
$max a_i$	300mm	$25\phi_h$	$25\phi_h$
Dışmerkezlilik e_{min}	$15mm+0.03h$	---	---
$min A_s$	4 $\phi 16$ veya 6 $\phi 14$ (dikdörtgen) 6 $\phi 14$ (dairesel)	4 $\phi 16$ veya 6 $\phi 14$ (dikdörtgen) 6 $\phi 14$ (dairesel)	4 $\phi 16$ veya 6 $\phi 14$ (dikdörtgen) 6 $\phi 14$ (dairesel)
$min \rho_t$	%1	%1	%1
$max \rho_t$	%4 %6 (Bindirmeli ek)	%4 %6 (Bindirmeli ek)	%4 %6 (Bindirmeli ek)

Kısa kolon oluşumu dikkate alınmadığı durumda gevrek olan kesme kırılmaları ortaya çıkabilmektedir, Şekil 5-32.



Şekil 5-32 Dolgu duvarların kolon boyunu kısaltması

Kısa kolon oluşumunun engellenemediği durumlarda, enine donatı hesabına esas alınacak kesme kuvveti Denklem (5.20) ile hesaplanmalıdır. Denklem (5.20)'deki momentler, kısa kolonun alt ve üst uçlarında $M_a \cong 1.4M_{ra}$ ve $M_u \cong 1.4M_{ru}$ olarak hesaplanmalı, ℓ_n ise kısa kolonun boyu olarak alınmalıdır. Hesaplanan kesme kuvveti Denklem (5.22)'de verilen koşulları sağlamalıdır. Kısa kolon boyunca, kolonların sarılma bölgeleri için tanımlanan minimum enine donatı ve yerleştirme koşulları uygulanmalıdır.

Dolgu duvarları arasında kalarak kısa kolon durumuna dönüşen kolonlarda, enine donatılar tüm kat yüksekliğince devam ettirilmelidir.

5.4.2. Süneklik Düzeyi Normal Kolonlar

Bu tür kolonlarda enkesit boyutlarına ve boyuna donatıya ilişkin koşullar süneklik düzeyi yüksek kolonlar ile aynıdır. Tasarım kesme kuvveti olarak, taşıyıcı sistemin deprem hesabından elde edilen V_d değeri kullanılmalıdır. Tasarım kesme kuvvetinin üst sınırı için verilen

$$V_d \leq 0.22 A_w f_{cd} \quad (5.24)$$

koşulu bu tür kolonlar için de geçerlidir. Kesme kuvvetinin karşılanmasında, betonun katkısı V_c , düşey yükler ile birlikte deprem yüklerine göre hesaplanan en küçük N_d eksenel kuvvetin etkisi de göz önüne alınarak, TS500 de öngörüldüğü şekilde hesaba alınmalıdır.

Sarıma bölgesindeki enine donatı aralığı, en küçük enkesit boyutunun 1/3'ünden, en küçük boyuna donatı çapının 8 katından ve 150mm'den daha fazla olmamalıdır.

Kolonlara ilişkin koşullar Tablo 5-2'de verilmektedir.

5.5. Perdeler

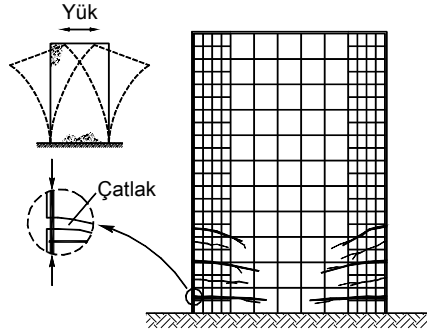
Perdeler yatay yüklerin karşılanmasında ve yerdeğiştirmelerin sınırlandırılmasında etkili olan düşey taşıyıcı elemanlardır. Deprem Yönetmeliğinde planda uzun kenarının kısa kenarına oranı 7'den büyük olan düşey taşıyıcılar perde olarak adlandırılmaktadır. Perdelerde bırakılan boşluklardan veya iki perdenin bağ kirişleri ile birleştirilmesinden oluşan sistemlere boşluklu perdeli sistem olarak adlandırılmaktadır.

Yapı içerisinde uygun şekilde yerleştirilen perdeler, sistemin yatay rijitliğini artırarak depremde hasara neden olan görece yerdeğiştirmelerin azaltılmasını sağlamaktadır. Perdeler buldukları sistemde deprem kuvvetlerinin büyük bir kısmını veya tamamını taşıdıklarından davranışları yapının genel deprem davranışının belirlenmesinde önemli olmaktadır.

Perdelerin ana görevi yatay yükleri taşımak ve yapının yatay ötelenmesini sınırlandırmaktır. Bu görevleri yaparken perdeler eğilme dayanımlarına kesme dayanımlarından önce ulaşarak sünek davranmalıdır.

Perdelerin tasarımında yapı içindeki perdelerin sayısı ve uzunlukları önemli olabilmektedir. Taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan (tünel kalıp sistem) bir taşıyıcı sistemdeki herhangi bir perdeden beklenen davranış istemi ile ana taşıyıcılar perde ve çerçevelerden oluşan bir sistem içindeki perdeden beklenen davranış istemi farklı olacaktır. Çoğu zaman çok sayıda perdenin bulunduğu sistemlerde, yönetmeliklerde öngörülen minimum donatılar ile yeterli dayanımı ve süneklik istemlerini sağlamak mümkün olabilmektedir. Az sayıda perdenin bulunduğu sistemlerde yatay yüklere karşı dayanımda ana taşıyıcı olarak kullanılacak bu perdelerin tasarımında özel özen gösterilmelidir.

Deprem davranışı bakımından perdelerin tersinir çevrimsel yükler etkisinde doğrusal olmayan davranışı önem kazanmaktadır. Yön değiştiren ve donatıyı akma sınırına kadar zorlayan düzeydeki iç kuvvetler altında perdenin her iki uç bölgesinde donatılarda kalıcı şekildeğiştirmeler ortaya çıkacak, betondaki çatlakların genişliği artmış olacaktır. Bu çatlaklar yükün kalkması durumunda tam olarak kapanmayacağından yük yeniden ters yönde etkiğinde kesitteki beton basınç gerilmesi alamayacaktır. Bu durum tüm basınç kuvvetini karşılamak zorunda kalan donatının akma sınırına ulaşmasına kadar sürecektir. Tekrarlanan ve yön değiştiren yük etkisi altında bu davranış yineleneceğinden, moment kapasitesi hesaplanırken betonun katkısının ihmal edilmesi uygun olabilir. Beton kesitin her iki uç bölgesinde kapanmayan geniş çatlakların oluşması, perdenin kesme kuvvetini aktarma kapasitesini önemli ölçüde azaltacaktır.



Şekil 5-33 Yön değiştiren yükler etkisinde perde davranışı

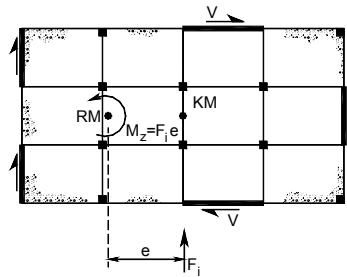
Yüksek basınç gerilmeleri etkisinde kalacak olan düşey donatıların burkulmasını önlemek amacıyla bu donatıları saran enine sargı donatılarının bulundurulması gerekmektedir. Ayrıca çatlak genişliklerini sınırlandırmak ve kayma gerilmelerini karşılayabilmek amacıyla perde gövde bölgesinde belirli aralıklarla yerleştirilen düşey ve yatay donatıya gereksinim vardır.

Perde elemanların yatay yükü aktarabilmesi için kat düzeyindeki yatay bağlantıların yeterli olması gerekmektedir. Döşemede, perde eleman yakınında bırakılacak boşluklar bu bakımdan oldukça sakıncalıdır.

5.5.1. Perdelerin Yerleşimi

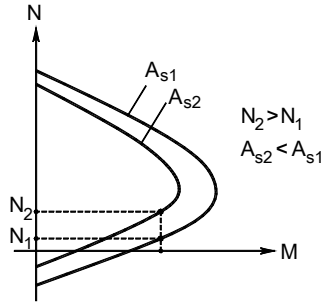
Perdelerin deprem etkilerini etkin bir biçimde karşılayabilmeleri için boyutlarının ve donatı detaylandırılmasına ek olarak kat planı içindeki yerleşimleri de önemli olmaktadır. Perdelerin rijitlikleri olabildiğince simetrik duruma getirilmeli ve bulunduğu yapıya yeterli burulma rijitliği sağlamalıdır. Burulma rijitliği sağlamak için perdeler olabildiğince yapı planının dış çevresine yerleştirilmeye çalışılmalıdır. Perdelerin kat planı içerisinde bir bölgede yoğunlaştırılmasından kaçınılmalı, olabildiğince kat planı içerisinde simetriyi de bozmayacak şekilde dağıtılmalıdır.

Perdelerin kat planı içerisinde her iki yönde de bulunması uygun olmaktadır. Tek yönde perde kullanılması durumunda burulma stabilitesi bozuk bir taşıyıcı sistem oluşturulmuş olmaktadır.



Şekil 5-34 Burulma stabilitesinin sağlanması

Düşey yüklerin perde elemanlarda oluşturacağı eksenel basınç gerilmeleri kolonlar ile karşılaştırıldığında daha düşük düzeylerde kalmakta ve sünek davranışı olumsuz yönde etkilememektedir. Eksenel basıncın perde dayanımına katkısı olacağından yapının tasarımı aşamasında perde elemana olabildiğince fazla düşey yük aktarılmasını sağlayan eleman yerleşimi tercih edilmeye çalışılmalıdır.



Şekil 5-35 Karşılıklı etki diyagramı

Bu düzenleme sonucunda perdelerin tasarımında kullanılacak eğilme momentine karşı gelen donatı miktarı da azalacaktır. Bu durum Şekil 5-35'de gösterilen perde M-N karşılıklı etki diyagramından da görülebilmektedir. Ayrıca, perdelerin temele aktardığı devrilme momentine karşı koyabilecek uygun temel sisteminin oluşturulması kolaylaşmaktadır.

Çok katlı yapılarda, deprem etkilerini karşılamak için az sayıda perde kullanılması, temel sistemini birkaç noktada çok büyük etkileri karşılamak zorunda bırakmakta ve sonucunda ekonomik olmayan ağır temel sistemi kullanımına neden olmaktadır. Bu durumdan kaçınmak için perdeler plan içinde her iki yönde olabildiğince simetriyi sağlayacak şekilde yerleştirilmelidir. Perdelerde eksenel yük düzeyinin artırılması durumunda temel sistemine moment ve yatay kuvvet aktarımı daha sağlıklı gerçekleşmektedir.

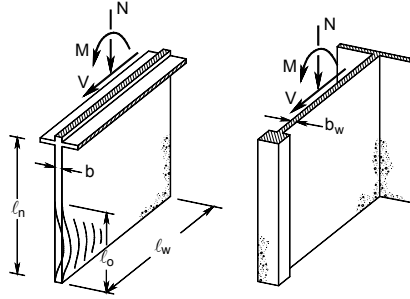
5.5.2. Süneklik düzeyi yüksek perdeler

Taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan sistemlerde aşağıdaki iki koşulun her ikisinin de sağlanması durumunda perde kalınlığı binadaki en yüksek katın yüksekliğinin 1/20'sinden ve 150mm'den az olamaz.

$$\begin{aligned} \Sigma A_g / \Sigma A_p &\geq 0.002 \\ V_1 / \Sigma A_g &\leq 0.5 f_{ctd} \end{aligned} \quad (5.25)$$

Bu koşullar sağlanmıyorsa bu tür sistemlerde perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/20'sinden ve 200mm'den az olamaz. Burada ΣA_g herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı; ΣA_p binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamını göstermektedir. Denklem (5.25) bodrum katlarının çevresinde çok rijit betonarme perdelerin bulunduğu binalarda zemin kat düzeyinde, diğer binalarda ise temel üst kotu düzeyinde uygulanmalıdır.

Özel durum olarak kat yüksekliği 6m'den büyük olan ve kat yüksekliğinin en az 1/5'ine eşit uzunluktaki elemanlarla yanıl doğrultuda tutulan perdelerde, perde gövde bölgesi kalınlığı, yanıl doğrultuda tutulduğu noktalar arasındaki yatay uzunluğun en az 1/20'sine eşit olabilir. Bu durumda kullanılacak kalınlık değeri 300mm'den de az olmamalıdır.



Şekil 5-36 Perde uçlarında zorlanan bölgelerde kesit kalınlığının artırılması, uç eleman oluşturulması [29] Perde kalınlığının belirlenmesinde yerel burkulmaların önlenmesi amacıyla uçlara yakın bölgelerde kesit kalınlığını arttırmak veya yükseklik boyunca yanal doğrultuda tutulmayı sağlayan kesit şekli oluşturmak uygun olmaktadır, Şekil 5-36.

Perdeler, doğrusal olmayan davranışın ortaya çıkacağı ve zorlamaların büyük olacağı yerlerde düzlem dışı burkulmanın oluşmasını engelleyecek yeterli kalınlığa sahip olmalıdır.

5.5.3. Perde Uç Bölgeleri ve Kritik Perde Yüksekliği

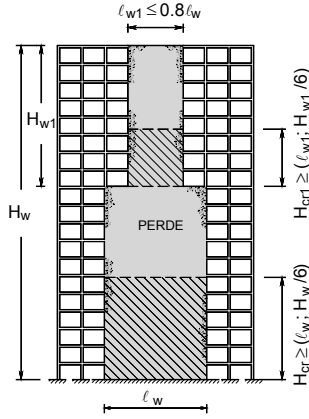
Eğilme ve eksenel kuvvet etkisinin birlikte etki ettiği ve $H_w / \ell_w > 2.0$ olan perdelerin uçları büyük eksenel kuvvetlerin etkisinde kalacaktır. Bu tür perdelerin planda her iki ucunda perde uç bölgeleri oluşturulmalıdır (Şekil 5-38). Denklem (5.25)'de verilen koşulları sağlayan binalar dışında, perde uç bölgelerindeki perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/15'inden ve 200 mm'den az olmamalıdır. Perde uç bölgelerinin, kat yüksekliğinin en az 1/5'ine eşit uzunluktaki elemanlarla yanal doğrultuda tutulduğu durumlarda, uç bölgesindeki perde kalınlığı, yanal doğrultuda tutulan noktalar arasındaki yatay uzunluğun en az 1/20'sine eşit olabilir. Ancak, bu kalınlık kat yüksekliğinin 1/20'sinden veya 300 mm'den az olamaz. Perde uç bölgeleri, perde uç bölgesinin kendi kalınlığı içinde oluşturulabileceği gibi, perdeye birleşen diğer bir perdenin içinde de düzenlenebilmektedir.

Temel üstünden veya perdenin plandaki uzunluğunun %20 den daha fazla küçüldüğü seviyeden itibaren kritik perde yüksekliği, $2\ell_w$ değerini aşmamak üzere, Denklem (5.26)'de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacak biçimde belirlenmelidir.

$$\begin{aligned} H_{cr} &\geq \ell_w \\ H_{cr} &\geq H_w / 6 \end{aligned} \quad (5.26)$$

Burada H_w , temel üstünden veya perdenin plandaki uzunluğunun %20'den daha fazla küçüldüğü seviyeden itibaren ölçülen perde yüksekliğidir. Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, H_w ve H_{cr} büyüklükleri zemin kat döşemesinden itibaren yukarıya doğru gözönüne alınmalıdır. Bu tür binalarda kritik perde yüksekliği, en az zemin katın altındaki ilk bodrum katının yüksekliği boyunca aşağıya doğru ayrıca uzatılmalıdır.

Dikdörtgen kesitli perdelerde, yukarıda tanımlanan kritik perde yüksekliği boyunca uç bölgelerinin her birinin plandaki uzunluğu, perdenin plandaki toplam uzunluğunun %20'sinden ve perde kalınlığının iki katından daha az olmamalıdır. Kritik perde yüksekliğinin üstünde kalan perde kesimi boyunca ise, perde uç bölgelerinin her birinin plandaki uzunluğu, perdenin plandaki toplam uzunluğunun %10'undan ve perde kalınlığından az olmamalıdır, Şekil 5-38.



Şekil 5-37 Kritik perde yüksekliği

Perde uç bölgelerinin, perdeye birleşen diğer bir perdenin veya perdenin ucunda genişletilmiş bir kesitin içinde düzenlenmesi durumunda; her bir perde uç bölgesinin enkesit alanı, en az dikdörtgen kesitli perdeler için tanımlanan alana eşit olmalıdır.

5.5.4. Gövde Donatısı Koşulları

Eğik çatlakların genişliğini sınırlandırmak amacıyla perdelerin her iki yüzünde düşey ve yatay doğrultularda gövde donatısı adı verilen donatıların yerleştirilmesi gerekmektedir. Perdenin her iki yüzündeki gövde donatılarının toplam enkesit alanı, düşey ve yatay donatıların her biri için, perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt enkesit alanının 0.0025'inden az olmamalıdır. $H_w / l_w \leq 2.0$ olması durumunda perde gövdesi, perdenin tüm kesiti olarak gözönüne alınmalıdır. Perde gövdesinde boyuna ve enine donatı aralığı 250 mm'den fazla olmamalıdır, Şekil 5-38.

Denklem (5.25) ile verilen koşulların her ikisinin de sağlandığı binalarda, düşey ve yatay toplam gövde donatısı oranlarının herbiri 0.0015'e indirilebilir. Ancak bu durumda donatı aralığı 300 mm'yi geçmemelidir.

Uç bölgeleri dışında, perde gövdelerinin her iki yüzündeki donatı ağları, perde yüzünde metrekareye en az 4 adet özel deprem çirozu ile karşılıklı olarak bağlanmalıdır. Ancak kritik perde yüksekliği boyunca, uç bölgeleri dışındaki perde yüzünde metrekareye en az 10 adet özel deprem çirozu kullanılmalıdır. Çirozların çapı, en az yatay donatının çapı kadar olmalıdır.

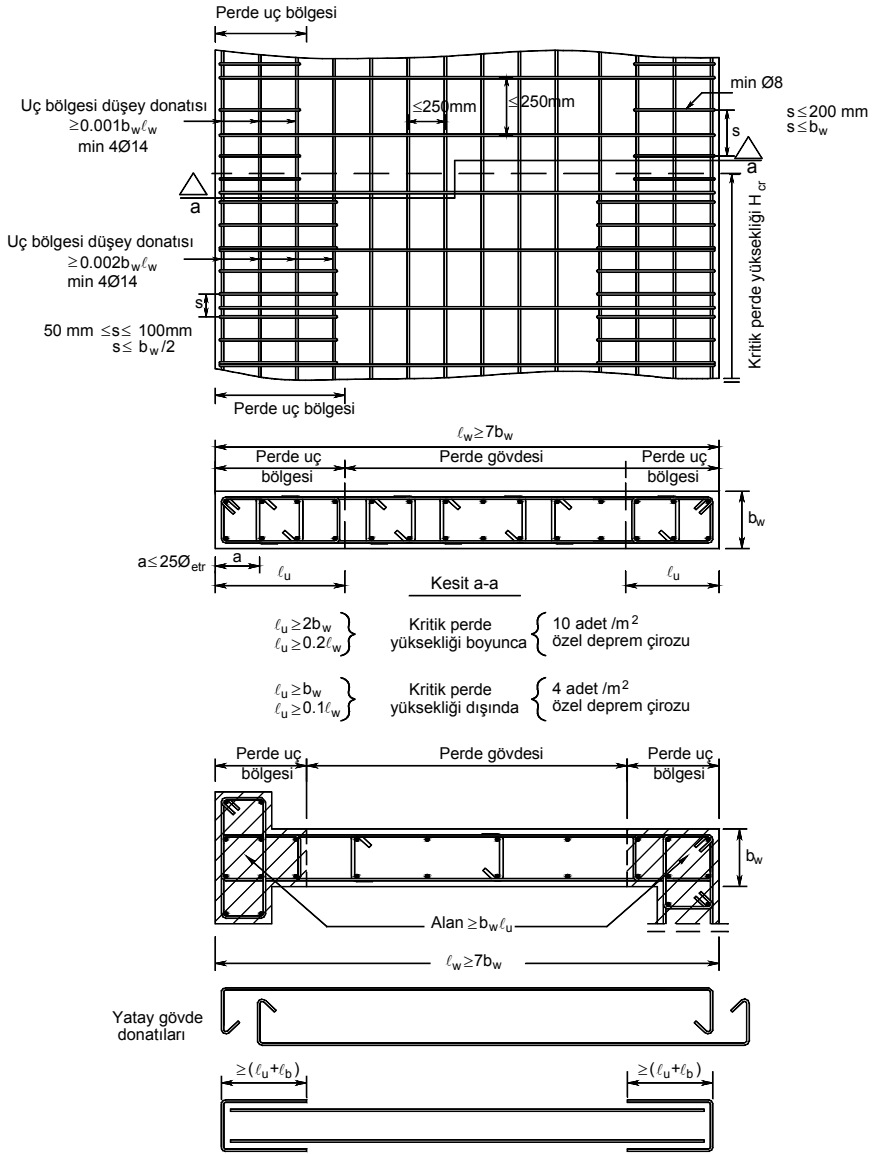
Tersinir yükler etkisinde betonun erkenden dağılıp parçalanmaması için gövde donatılarının en az iki yüzde bulundurulması uygundur.

5.5.5. Gövde Donatılarının Düzenlenmesi

Perdelerin yatay gövde donatıları,

- Etriyelerle sarılı perde uç bölgesinin sonunda 90 derece kıvrılarak karşı yüzde köşedeki düşey donatıya 135 derecelik kanca ile bağlanması
- Perde ucunda 90 derece kıvrım yapılmaksızın bitirilmesi durumunda, perdenin her iki ucuna gövde donatısı ile aynı çapta olan \supset biçiminde yatay donatılar yerleştirilmesi ve perde uç bölgesinin iç sınırından itibaren perde gövdesine doğru en az kenetlenme boyu kadar uzatılması

şeklinde düzenlenebilir (Şekil 5-38). Bu şekilde düzenlenen yatay gövde donatıları, kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerine konulacak sargı donatısının belirlenmesinde hesaba katılabilir.



Şekil 5-38 Perdede donatı düzeni [7]

5.5.6. Perde Uç Bölgelerinde Donatı Koşulları

Perde uç bölgelerinin her birinde, düşey donatı toplam alanının perde brüt enkesit alanına oranı 0.001'den az olmamalıdır. Kritik perde yüksekliği boyunca bu oran 0.002'ye çıkarılmalıdır. Perde uç bölgelerinin her birinde düşey donatı miktarı 4Ø14'ten az olmamalıdır.

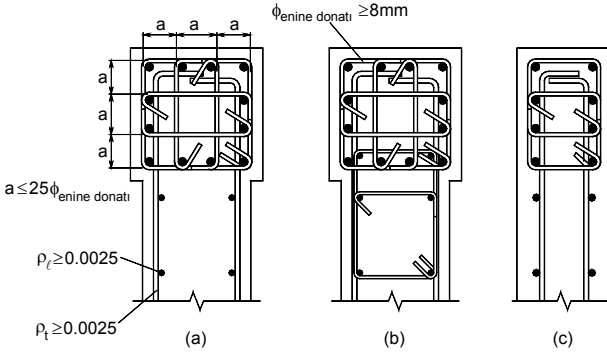
Perde uç bölgelerindeki düşey donatılar, aşağıdaki kurallara uyularak, kolonlarda olduğu gibi etriyeler ve/veya çirozlardan oluşan enine donatılarla sarılmalıdır.

(a) Uç bölgelerinde kullanılacak enine donatının çapı 8 mm'den az olmamalıdır. Etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık, a , etriye ve çiroz çapının 25 katından fazla olmamalıdır.

(b) Kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerine, kolonların sarılma bölgeleri için Denklem (5.15) ile belirlenen enine donatının en az $2/3$ 'ü konulmalıdır. Düşey doğrultuda etriye ve/veya çiroz aralığı perde kalınlığının yarısından ve 100 mm'den daha fazla, 50 mm'den daha az olmamalıdır. (Şekil 5-38). Bu donatılar, temelin içinde de en az perde kalınlığının iki katı kadar bir yükseklik boyunca devam ettirilmelidir.

(c) Kritik perde yüksekliğinin dışında kalan perde uç bölgelerinde düşey doğrultudaki etriye ve/veya çiroz aralığı, perde duvar kalınlığından ve 200 mm'den daha fazla olmamalıdır. (Şekil 5-38).

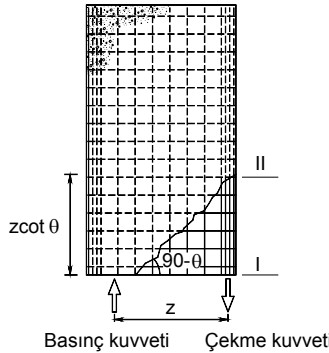
Şekil 5-39'da farklı perde uç bölgesi donatı düzenleme şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 5-39 Perde uç bölgesi donatı düzenleme türleri

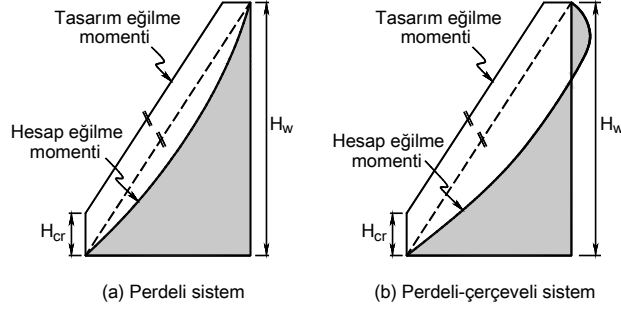
5.5.7. Tasarım Eğilme Momentleri

Perdede oluşabilecek eğik bir çatlak nedeniyle Şekil 5-40'de gösterilen II düzlemindeki çekme donatısındaki gerilme II düzlemi yerine I düzleminde kritik perde yüksekliğinin alt kesimindeki momenti karşılamalıdır. Bu durum çekme kuvveti ötelemesi olarak adlandırılmaktadır. Bu nedenle $H_w / \ell_w > 2.0$ olan perdelerde tasarıma esas eğilme momentleri, kritik perde yüksekliği boyunca sabit bir değer olarak, perde tabanında deprem yüklemesinde hesaplanan eğilme momentine eşit alınmalıdır. Kritik perde yüksekliğinin sona erdiği kesidin üstünde ise, perdenin tabanında ve tepesinde hesaplanan momentleri birleştiren doğruya paralel olan doğrusal moment diyagramı uygulanmalıdır. (Şekil 5-41). Çevresinde rijit perdeler bulunan bodrumlu binalarda sabit perde momenti, zemin kat düşemesinden itibaren yukarıya doğru tanımlanan kritik perde yüksekliği boyunca gözönüne alınmalıdır.



Şekil 5-40 Çekme kuvveti ötelemesi

$H_w / \ell_w \leq 2.0$ olan perdelerin bütün kesitlerinde tasarım eğilme momentleri, deprem yükleri etkisinde hesaplanan eğilme momentlerine eşit alınmaktadır.



Şekil 5-41 Perdede eğilme tasarım momentlerinin belirlenmesi

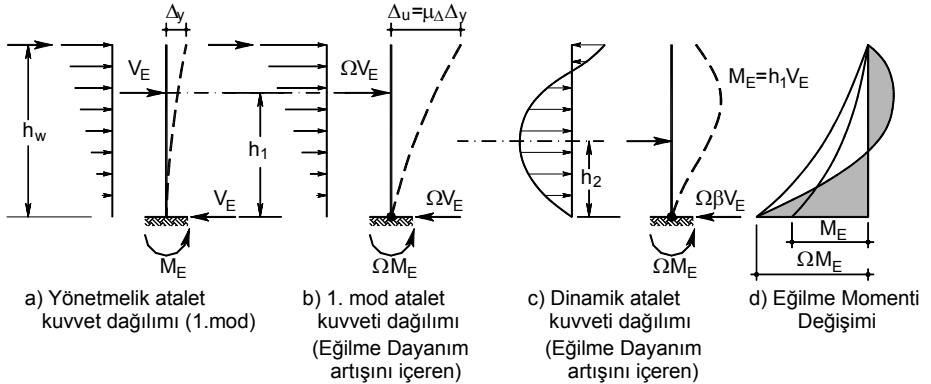
$H_w / \ell_w > 2.0$ olması durumunda, her bir katta perde kesitlerinin taşıma gücü momentlerinin, perdenin güçlü doğrultusunda kolonlar için verilen kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunu sağlaması zorunludur. Sağlanamaması durumunda perde boyutları ve/veya donatıları artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

$H_w / \ell_w > 2.0$ koşulunu sağlayan perdelerde yüksek modların titreşim hareketine olan katkısındaki belirsizlikten ve ayrıca bu tür elemanların doğrusal olmayan analiz çözümleri ile elde edilen kesme kuvvetlerinin doğrusal çözümler ile elde edilenlerden büyük olduğu gözlemlendiğinden dolayı gözönüne alınan herhangi bir kesitte enine donatı hesabında esas alınacak tasarım kesme kuvveti, V_e , dinamik büyütme katsayısı $\beta_v = 1.5$ alınarak

$$V_e = \beta_v \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} V_d \quad (5.27)$$

bağıntısı ile artırılarak hesaplanmaktadır.

Şekil 5-42'de birinci mod ve yüksek modların etkisi ile deprem kuvvetlerinin bileşkesinin yerinin değişmesi, perde alt kesitinin eğilme kapasitesine ulaşmasını sağlayacak kesme kuvvetinin artması gerektiği gösterilmektedir.



Şekil 5-42 Perdeler için kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı [9]

Deprem yükünün tamamının betonarme perdelerle taşındığı binalarda $\beta_v = 1.0$ alınabilmektedir. Daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda perdenin taban kesitindeki moment kapasitesi

$$(M_p)_t \cong 1.25(M_r)_t \quad (5.28)$$

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir.

Düşey yükler ile birlikte $R_d = 2$ alınarak hesaplanan deprem etkilerinin birleştirilmesi sonucunda elde edilen kesme kuvvetinin V_e 'den küçük olması durumunda V_e yerine bu kesme kuvveti kullanılmalıdır.

5.5.8. Kesme güvenliği

Perde kesitlerinin kesme dayanımı belirlenirken eğik asal çekme kırılması, eğik asal basınç gerilmeleri altında betonda ezilme oluşmaması ve perdenin inşaat derzleri nedeniyle zayıflamış kesitlerinde (örneğin temel ile birleşim kesiti) yatay kayma oluşmaması sağlanmalıdır.

Perde kesitlerinin kesme dayanımı V_r

$$V_r = A_{ch} (0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywd}) \quad (5.29)$$

bağıntısı ile belirlenmektedir. Perde kesitinde enine donatı hesabında esas alınacak tasarım kesme kuvveti V_e

$$V_e \leq V_r \quad (5.30)$$

$$V_e \leq 0.22 A_{ch} f_{cd}$$

koşullarını da sağlamalıdır. Bu koşulların sağlanmaması durumunda perde enine donatısı ve/veya perde kesit boyutları bu koşulları sağlayacak şekilde artırılmalıdır. Bu koşullar bağ kirişi (boşluklu) perdeleri oluşturan perde parçalarının her biri için de geçerlidir.

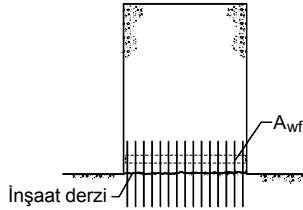
Temel bağlantı düzeyinde veya üst katlarda oluşacak yatay inşaat derzlerindeki düşey donatı o kesitte aktarılan kesme kuvveti gözönüne alınarak kesme sürtünmesi yöntemi ile kontrol edilmelidir.

$$V_{r, \text{kesme sürtünmesi}} = A_{wf} f_{yd} \mu \quad (5.31)$$

Burada A_{wf} kesme-sürtünme donatısı kesit alanını, μ kesme sürtünme katsayısını göstermektedir. Farklı durumlar için kesme sürtünme katsayısının değerleri 0.6 ile 1.4 arasında değişmekle birlikte deprem etkileri altındaki hesaplarda güvenli tarafta kalmak üzere $\mu = 0.6$ değerinin kullanımı önerilir.

Sürtünme kesmesi dayanımı aşağıdaki sınırı geçmemeli ve bu sınır hesaplanırken beton tasarım basınç dayanımı f_{cd} , 25 MPa'dan büyük alınmamalıdır.

$$V_{r, \text{kesme sürtünmesi}} \leq 0.2 f_{cd} A_c \quad (5.32)$$

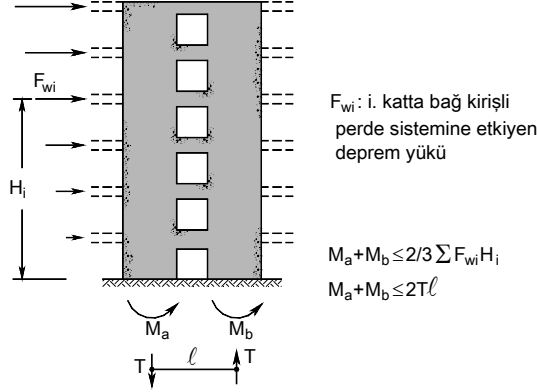


Şekil 5-43 Kesme sürtünmesi

Sürtünme kesmesinin bulunduğu düzlemde kalıcı basınç kuvvetinin en düşük değeri gözönüne alınarak kesme-sürtünme donatısı azaltılabilir. Kesme düzlemine etkiyen eğilme momenti nedeniyle kesite etkiyen

eğilme nedeniyle oluşan çekme gerilmeleri ile basınç gerilmeleri dengededir. Bileşke $A_{wf} f_{yd}$ kuvvetinde değişim olmadığından sürtünme kesmesi dayanımı değişmez. Bu nedenle eğilme etkilerini karşılayan çekme donatısı kesme-sürtünme donatısı hesabında gözönüne alınabilir.

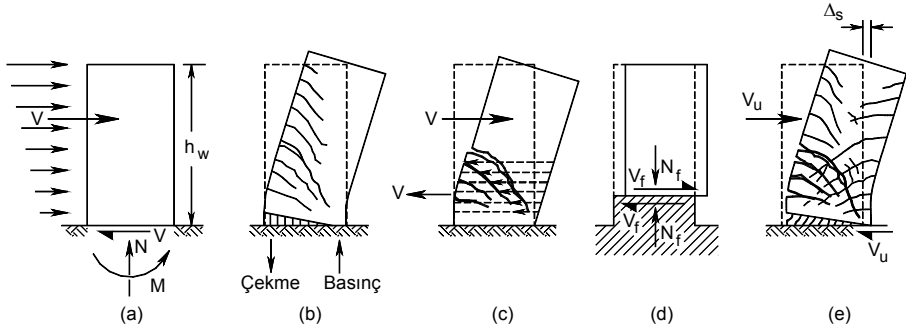
Gözönüne alınan deprem doğrultusunda bağ kirişli perde sistemini oluşturan perde parçalarında deprem yüklerinden oluşan taban momentlerinin toplamı, bağ kirişli perde sisteminde deprem yüklerinden oluşan toplam devrilme momentinin 2/3'ünden fazla olmamalıdır. Bu koşulun sağlanamaması durumunda, bağ kirişli perdeyi oluşturan perde parçalarının her biri boşluksuz perde olarak sayılarak taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) değiştirilmelidir.



Şekil 5-44 Boşluklu perde sistemi

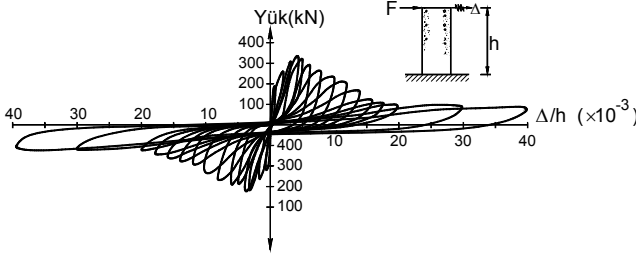
Bağ kirişli perdeyi oluşturan perde parçalarının düşey donatı hesabında, düşey yükler ve depremin ortak etkisinde çekmeye çalışan perde parçasındaki eğilme momentinin en fazla %30'unun, basınca çalışan perde parçasına aktarılmasına (yeniden dağılım) izin verilebilir.

Konsol perdelerin dayanıma ulaşma biçimleri Şekil 5-45'de gösterilmektedir. Bunlardan ilki, perdenin eğilme momenti etkisinde dayanımına ulaşmasıdır (Şekil 5-45b). Bu davranış sünek olacağından tercih edilen bir davranış türüdür. Kesme kuvveti sonucu oluşan eğik çekme veya eğik basınç gerilmeleri sonucu dayanım kaybı (Şekil 5-45c), perde temel birleşiminde yeterli filiz donatısı bulunmadığında ortaya çıkacak olan perdenin yatay düzlem üzerinde kayması (Şekil 5-45d) ve kesme ve aderans kaybı sonucu oluşan dayanım kaybı (Şekil 5-45e) ani dayanım kayıpları olduğundan oluşmaları engellenmelidir. Doğrusal olmayan eğilme davranışı arttıkça eğilme ve kenetlenme kaybı ile çatlak genişliği artmakta ve kesme dayanımı azalmaktadır.



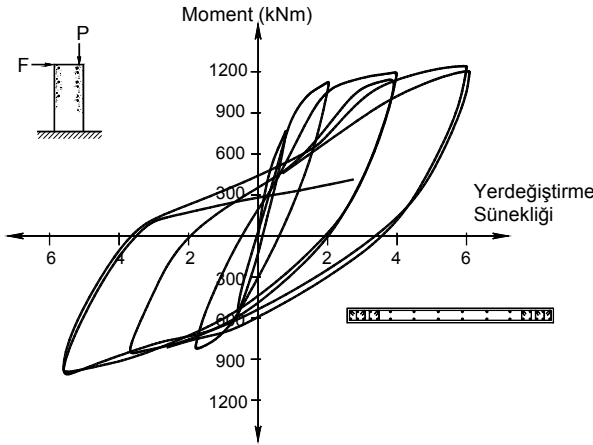
Şekil 5-45 Konsol perdede güç tükenmesi durumları [29]

Şekil 5-46'da kesme dayanımının eğilme dayanımından daha düşük olması nedeniyle önce kesme dayanımına ulaşan bir perdenin davranışı gösterilmektedir. Davranış incelendiğinde yöndeğiştiren çevrimsel yük etkisinde her çevrimde dayanımın önemli oranda azaldığı ve genel davranışın sünekliliğinin az olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5-46 Perdede davranışın kesme dayanımı tarafından belirlenmesi

Şekil 5-47'de ise kesme dayanımı, eğilme dayanımından daha yüksek olan bir perdenin davranışı gösterilmektedir. Davranışı eğilme dayanımı belirlediğinden yöndeğiştiren çevrimsel yük etkisinde dayanımın korunabildiği ve genel davranışın sünek olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5-47 Perdede davranışın eğilme dayanımı tarafından belirlenmesi

5.5.9. Farklı Geometriye sahip perdelerde etkili başlık genişliklerinin belirlenmesi

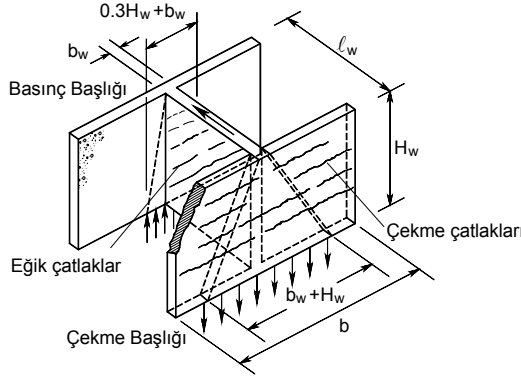
Plandaki kesitleri I, L, T veya C kesitli, birbirleri ile kesişen kollara sahip perdelerin boyutlandırılmasında etkili başlık genişliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Araştırmalarda yerdeğiştirmelerin artması ile etkili başlık genişliğinin arttığı ve basınç ve çekme başlıklarının etkili genişliklerinde farklılık oluştuğu görülmüştür. Gövde dışında bir tarafta kalan uzunluğun, komşu kola olan uzaklığın yarısından ve basınç başlığında toplam perde yüksekliğinin %15'inden, çekme başlığında %30'undan fazla alınmaması uygundur. Kaynak [9]'da çekme başlığı için

$$b_e = H_w + b_w \leq b \quad (5.33)$$

basınç başlığı için

$$b_e = 0.3H_w + b_w \leq b \quad (5.34)$$

bağıntıları verilmektedir, Şekil 5-48.



Şekil 5-48 Perdede etkili başlık uzunluğunun belirlenmesi [9]

Basınç bölgesi genişliğinin perdenin dayanım ve yerdeğiştirme kapasitesi üzerinde etkisi az olduğundan hesapları kolaylaştırma amaçlı olarak basınç ve çekme başlıklarında genişlikler çekme başlığı genişliğine eşit alınarak çözümlene yapılabilmektedir. ACI318'de başlık genişliğinin toplam perde yüksekliğine oranının sınır değeri çekme veya basınç başlığı ayrımı yapılmaksızın perde yüksekliğinin %25'i olarak belirtilmektedir.

5.6. Bağ kirişleri

Açıklık-kesit yüksekliği (ℓ_n / h_k) oranı küçük olan kirişler yüksek kiriş olarak adlandırılırlar. Bu tür kirişlerin davranışında eğilme momenti etkilerinden daha çok kesme kuvveti etkileri baskındır. Bu nedenle eğilme dayanımına ulaşarak plastik mafsalların oluşması gerçekleşmez. Yüksek kirişlerin hesabı, basınca ve çekmeye çalışan çubukların hesabına benzetilerek hesaplama yapılabilmektedir.

Deprem Yönetmeliğinde aşağıdaki koşulların herhangi birinin sağlanması durumunda, bağ kirişlerinin kesme donatısının hesabı süneklik düzeyi yüksek kirişlerin kesme güvenliğinin sağlanmasına benzer şekilde kapasite tasarımı yaklaşımına göre yapılmasına izin verilmektedir.

$$\begin{aligned} \ell_n &> 3 h_k \\ V_d &\leq 1.5 b_w d f_{ctd} \end{aligned} \quad (5.35)$$

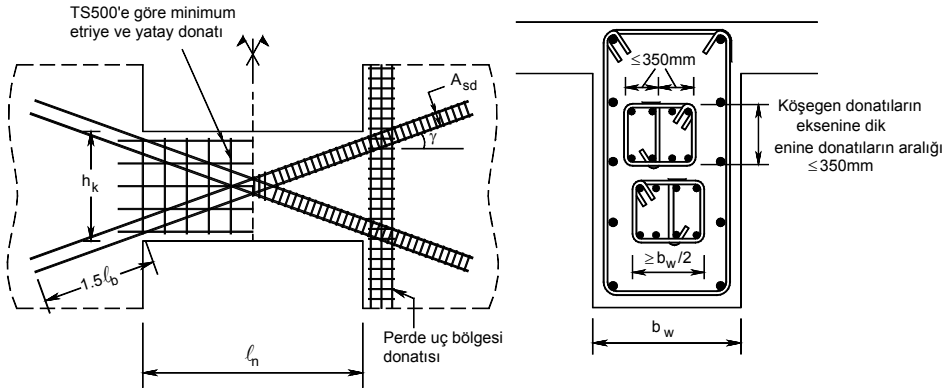
Verilen koşulların her ikisinin de sağlanamaması durumu, bağ kirişin geometrisinin kirişi yüksek kiriş yapması ve etkili kesme kuvvetinin büyük değerlere sahip olması anlamına gelmektedir. Bu durumdaki kirişlerde özel kesme donatısı kullanılarak kesme dayanımından önce eğilme dayanımına ulaşılması sağlanmalıdır. Konulacak özel kesme donatısı, geçerliliği deneylerle kanıtlanmış yöntemlerle belirlenmeli veya bağ kirişindeki kesme kuvvetini ve onun oluşturduğu eğilme momentini karşılamak üzere çapraz donatılar kullanılmalıdır.

Her bir çapraz donatı demetindeki toplam donatı alanı

$$A_{sd} = V_d / (2 f_{yd} \sin \gamma) \quad (5.36)$$

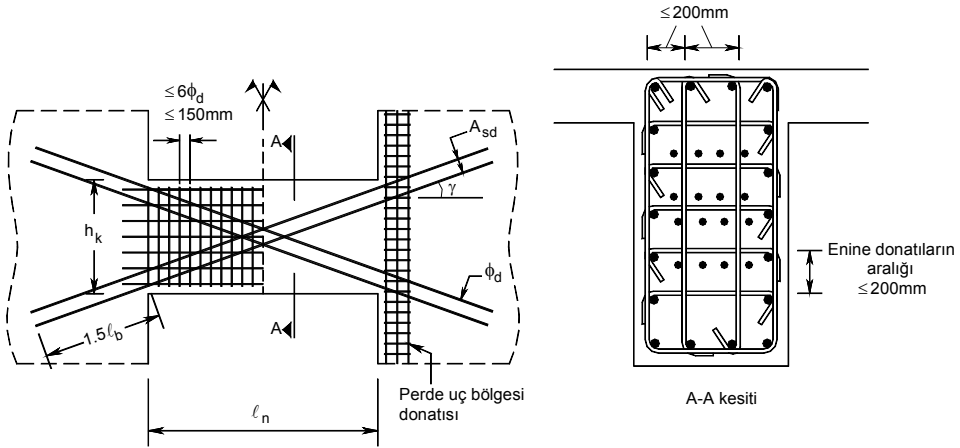
koşulunu sağlamalıdır.

Çapraz donatı demetlerinde en az dört adet donatı bulunmalı ve bu donatılar perde parçalarının içine doğru en az $1.5 \ell_b$ kadar uzatılmalıdır. Donatı demetleri özel deprem etriyeleri ile sarımalı ve kullanılacak etriyelerin çapı 8 mm'den, aralığı ise çapraz donatı çapının 8 katından ve 100 mm'den daha fazla olmamalıdır. Çapraz donatılara ek olarak, bağ kirişine TS-500'de öngörülen minimum miktarda etriye ve yatay donatı konulmalıdır. Çapraz donatılar ancak eğimin büyük olması durumunda etkin olabilmektedir.



Şekil 5-49 Bağ kirişi donatı düzeni Tip-1

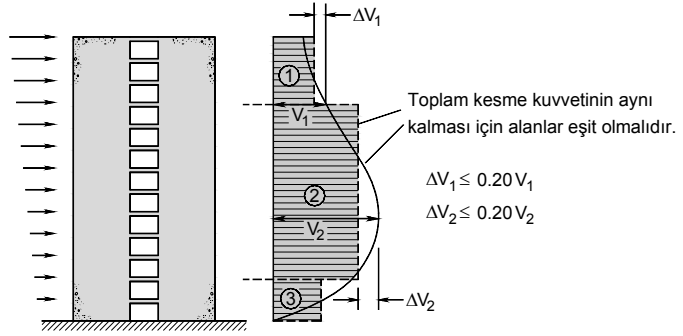
İkinci bir donatı yerleşim seçeneği olarak tüm kiriş kesitinin sargılandığı detaylandırma kullanılabilir, Şekil 5-50. Bu detaylandırmada sargı için kullanılan enine donatıların aralığı 200mm'den az olmalıdır.



Şekil 5-50 Bağ kirişi donatı düzeni Tip-2

Bağ kirişlerindeki kesme kuvvetleri yüksek değerlere çıkabilmektedir. Tasarımda ve uygulamada kolaylık sağlamak amacıyla bağ kirişlerindeki kesme kuvvetleri, yeniden dağılım ilkesi kullanılarak bağ kirişi grupları arasında dağıtılabilir. Bu dağıtım işleminde aşağıdaki koşullara uyulmalıdır.[22]

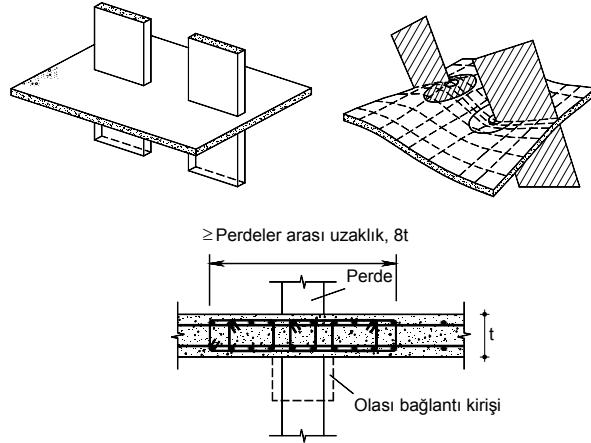
- Bağ kirişleri kesme kuvvetlerine göre gruplanır
- Her bir grup içindeki en büyük kesme kuvvetine sahip kiriş belirlenir ve bu kirişteki kesme kuvveti en çok %20 olacak şekilde azaltılır. Azaltılan kesme kuvveti değeri aynı grup içerisindeki diğer kirişlere dağıtılmaktadır.
- Dağıtım işleminde kirişlerin kesme kuvveti en çok %20 oranında azaltılabilir veya artırılabilir
- Azaltılan kesme kuvvetleri değeri kadar diğer bağ kirişlerindeki kesme kuvvetleri artırılarak toplam kesme kuvvetinin aynı kalması sağlanmalıdır.



Şekil 5-51 Bağ kirişlerinde yeniden dağılım ile kesme kuvvetlerinin dağıtımı

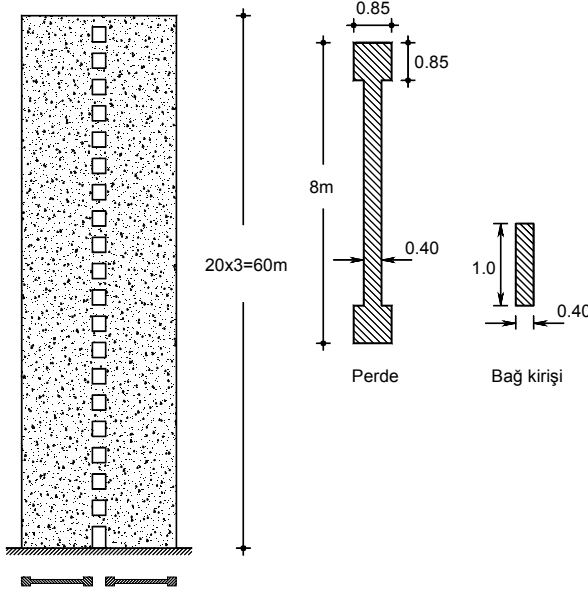
Bağ kirişlerinin yeterli yanal stabilitesinin sağlanabilmesi için kiriş boyutları için tanımlanan kiriş gövde genişliğinin en az 250mm olması ve kiriş yüksekliğinin kiriş gövde genişliğinin 3.5 katından daha fazla olmaması koşullarına uyulmaya çalışılmalıdır. Uyulmadığı durumda yeterli yanal stabilitenin bulunduğu hesap ile gösterilmelidir.

Perdelerin arasında bağ kirişi bulunmadığı durumda iki perde arasında kalan döşeme parçası oldukça zorlanacağından burada Şekil 5-52'de gösterilen şekilde zorlanan bölgedeki betonu saran bir donatı düzeni kullanmak uygun olmaktadır.



Şekil 5-52 Perdeler arasında kalan döşeme parçası için donatı düzeni




SAP2000 Örnek 5-1: Şekilde gösterilen bağ kirişli perde sistemin hesabını yapınız.

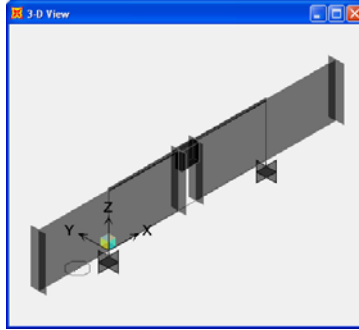


Şekil 5-53

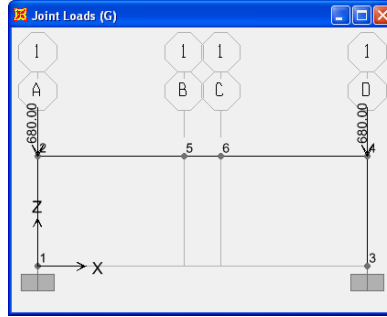
- SAP2000 programını çalıştırınız.
- Birim bölümünden kN,m,C seçiniz.
- Menüde File-New Model → Grid Only seçeneğini seçiniz.
 - Number of Grid Lines bölümünde
 - X Direction= 4
 - Y Direction= 1
 - Z Direction= 2
 - Grid Spacing bölümünde
 - X Direction= 4
 - Z Direction= 3
 yazınız ve OK düğmesine basınız
- Menüde View-Set 2D View seçeneğine seçiniz.
 - X-Z Plane seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Define menüsünden Coordinate Systems/Grids seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda GLOBAL seçeneği seçiliyken Modify/Show System... düğmesine basınız.
- Ekranı gelen pencerede Display Grid as bölümünde Spacing seçeneğini seçiniz.
- X Grid Data bölümünde 2. satırdaki 4 değerini 1 olarak değiştirin ve 2 kez OK düğmesine basın.
- Menüde View-Set Display Options seçeneğini seçiniz.
 - Joints bölümünde Labels kutucuğunu seçili duruma getiriniz
 - Joints bölümünde Invisible kutucuğunu seçili durumdan çıkarın ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Materials... seçeneğini seçiniz.
 - Add New Material... düğmesine basınız.
 - Material Name kutucuğuna C25 yazın.

- Material Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz.
- Weight per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.
- Modulus of Elasticity, E kutucuğuna 30000000 yazınız
- Poissons's Ratio, U kutucuğuna 0.2 yazınız.
- Coefficient of Thermal Expansion, A kutucuğuna 0 yazınız ve iki kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Section Properties-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Add New Property düğmesine basınız.
 - Frame Section Property Type açılır listesinden Steel seçeneğini seçiniz.
 - I/Wide Flange düğmesine basınız.
 - Section Name kutucuğuna P yazınız
 - Material açılır listesinden C25'1 seçiniz.
 - Outside Height (t3) kutucuğuna 8 yazınız
 - Top flange width (t2) kutucuğuna 0.85 yazınız
 - Top flange thickness (tf) kutucuğuna 0.85 yazınız
 - Bottom flange width (t2b) kutucuğuna 0.85 yazınız
 - Bottom flange thickness (tfb) kutucuğuna 0.85 yazınız
 - Web thickness (tf) kutucuğuna 0.4 yazınız
 - OK düğmesine basınız.
 - Add New Property düğmesine basınız.
 - Frame Section Property Type açılır listesinden Concrete seçeneğini seçiniz.
 - Rectangular düğmesine basınız.
 - Section Name kutucuğuna BK yazınız
 - Material açılır listesinden C25'1 seçiniz.
 - Depth (t3) kutucuğuna 1 yazınız
 - Width (t2) kutucuğuna 0.4 yazınız
 - 2 kez OK düğmesine basınız.
 - Add New Property düğmesine basınız.
 - Frame Section Property Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz.
 - General düğmesine basınız.
 - Cross-section (axial) area kutucuğuna 1E6 yazınız
 - Moment of Inertia about 3 axis kutucuğuna 1E6 yazınız
 - Shear area in 2 direction kutucuğuna 0 yazınız
 - OK düğmesine basınız.
 - Section Name kutucuğuna F yazınız.
 - Material açılır listesinden C25 seçeneğini seçiniz
 - Depth kutucuğuna 0.1
 - Width kutucuğuna 0.1 yazınız ve 2 kez OK düğmesine basınız.
- Draw menüsünde Draw Frame/Cable/Tendon seçeneğini seçiniz.
 - Ekranı gelen Properties of Object penceresinde Section bölümünden P'yi seçiniz.
 - En soldaki gridin alt ve üst noktalarına tıklayarak ilk perdeyi oluşturunuz.
 - Sağ mouse tuşuna basarak geçici olarak çizimi tamamlayınız.
 - En sağdaki gridin alt ve üst noktalarına tıklayarak ilk perdeyi oluşturunuz.
 - Sağ mouse tuşuna basarak geçici olarak çizimi tamamlayınız.
 - Ekrandaki Properties of Object penceresinde Section bölümünden BK'yi seçiniz.
 - Ortadaki 1m açıklığı temsil eden gridin üst bölümünde sol ve sağ noktalara tıklayarak bağ girişini oluşturunuz.
 - Sağ mouse tuşuna basarak geçici olarak çizimi tamamlayınız.
 - Ekrandaki Properties of Object penceresinde Section bölümünden F'yi seçiniz.
 - 2 ve 5 numaralı düğüm noktalarına tıklayarak ilk sanal elemanı oluşturun.

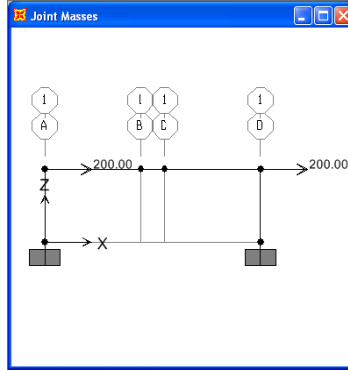
- Sağ mouse tuşuna basarak geçici olarak çizimi tamamlayınız.
- 6 ve 4 numaralı düğüm noktalarına tıklayarak ikinci sanal elemanı oluşturun.
- Klavyede Esc tuşuna basarak çubuk eleman oluşturma işlemini tamamlayın.
- Sağ pencereye tıklayarak bu pencereyi aktif duruma getirin.
- View menüsünde Set Display Options... seçeneğini seçiniz.
 - General bölümünde Extrude View kutucuğunu seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Sırasıyla  ve  simgelerine tıklayınız.
- Tüm sistemi pencereye sığacak duruma getirinceye kadar  simgesine tıklayınız.
- Sol pencereye tıklayarak bu pencereyi aktif duruma getirin.
- 5 ve 6 numaralı düğüm noktaları arasındaki bağ kirişini seçiniz.
- Assign menüsünde Frame→Insertion Point seçeneğini seçiniz.
 - Cardinal Point açılır listesinden 8 (Top Center) seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız ve OK düğmesine basınız.



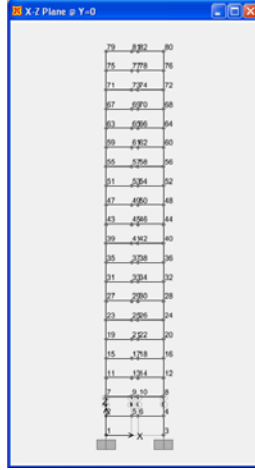
- 1 ve 3 numaralı düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Restraints... seçeneğini seçiniz.
 - Ankastré mesnet tanımı için Translation ve Rotation kutucuklarının tamamını seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Define menüsünde Load Patterns... seçeneğini seçiniz.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda Load Pattern Name kutucuğuna G yazınız ve Add New Load Pattern düğmesine basınız.
 - Load Pattern Name kutucuğuna Q yazınız
 - Type açılır listesinden LIVE seçeneğini seçiniz.
 - Add New Load Pattern düğmesine basınız.
 - DEAD Load Pattern Name bölümünde DEAD seçeneğine tıklayınız ve Delete Load Pattern düğmesine basarak bu yüklemeyi siliniz.
 - OK düğmesine basınız.
- 2 ve 4 numaralı düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign Joint Loads→Forces... seçeneğini seçiniz.
 - Load Pattern Name açılır listesinden G'yi seçiniz.
 - Force Global Z kutucuğuna -680 yazınız ve OK düğmesine basınız.



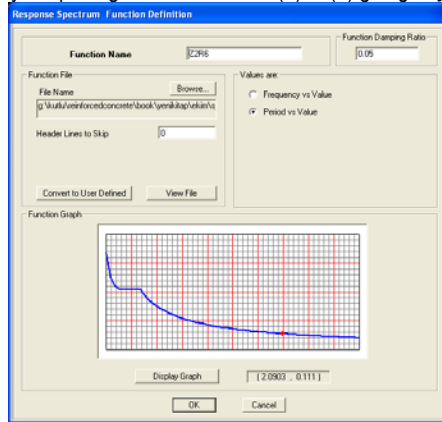
- Load Pattern Name açılır listesinden Q'yu seçiniz.
- Force Global Z kutucuğuna -460 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Select Get Previous Selection seçeneğini seçerek 2 ve 4 numaralı düğüm noktalarını yeniden seçiniz.
- Menüde Assign Joint Loads→Forces... seçeneğini seçiniz.
 - Load Pattern Name açılır listesinden Q'yu seçiniz.
 - Force Global Z kutucuğuna -460 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Select Get Previous Selection seçeneğini seçerek 2 ve 4 numaralı düğüm noktalarını yeniden seçiniz.



- Menüde Assign Joint →Masses... seçeneğini seçiniz.
 - Mass Direction açılır listesinden Global seçeneğini seçiniz.
 - Mass bölümünde Global X Axis Direction kutucuğuna 200 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- 5 ve 6 düğüm noktaları arasındaki bağ kirişini seçiniz.
- Menüde Assign→Frame→Property Modifiers seçeneğini seçiniz.
 - Moment of Inertia about 3 axis kutucuğuna 0.4 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Klavyede Ctrl ve A tuşlarına beraber basarak tüm elemanları seçiniz.
- Edit menüsünde Replicate seçeneğini seçiniz.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda Increments bölümünde dz kutucuğuna 3 yazınız.
 - Increment Data bölümünde Number kutucuğuna 19 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Klavyede F3 tuşuna basarak sistemin ekranda bütünüyle görünmesini sağlayınız.



- Define menüsünde Functions → Response Spectrum seçeneğini seçiniz.
 - Choose Function Type to Add bölümünden From File seçeneğini seçiniz.
 - Add New Function... düğmesine basınız.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda Function Name kutucuğuna Z2R6 yazınız.
 - Browse düğmesine basınız.
 - S_Z2R6.txt dosyasını açınız.
 - Values are: bölümünden Period vs Value kutucuğunu seçili duruma getiriniz.
 - Display Graph düğmesine basarak S(T)/R_a(T) grafiğini çizdiriniz.



- 2 kez OK düğmesine basınız.
- Define menüsünde Load Cases seçeneğini seçiniz.
- Load Case Name bölümünde DEAD seçeneğini seçiniz ve Delete Load Case düğmesine basarak bu yüklemeyi siliniz.
- Add New Load Case... düğmesine basınız.
 - Load Case Name kutucuğuna MBY yazın
 - Load Case Type açılır listesinden Response Spectrum seçeneğini seçiniz.
 - Loads Applied bölümünde Function bölümünden Z2R6'yı seçin.
 - X yönünde çözüm için Load Name bölümünde U1'in seçili olduğunu control ediniz.
 - Scale Factor kutucuğuna 3.924 yazınız.

- Add düğmesine basınız.
- 2 kez OK düğmesine basınız.

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: MBY | Notes: | Load Case Type: Response Spectrum | Design

Modal Combination: SRSS | GMC #1: 1. | GMC #2: 0. | Directional Combination: SRSS | Scale Factor: | Periodic + Rigid Type: SRSS

Modal Load Case: Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Absol	U1	z216	3.324
Accel	D1	z216	3.324

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0.05

- Define menüsünde Load Combinations seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen pencerede Add New Combo... düğmesine basınız.
 - Load Case Name açılır listesinden G yüklemesini seçin ve Add düğmesine basın.
 - Load Case Name açılır listesinden Q yüklemesini seçin ve Add düğmesine basın.
 - Load Case Name açılır listesinden MBY yüklemesini seçin ve Add düğmesine basın.
 - Load Combination Name kutucuğuna D1 yazınız.
 - 2 kez OK düğmesine basınız.

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated): D1 | Notes: | Modify/Show Notes...

Load Combination Type: Linear Add

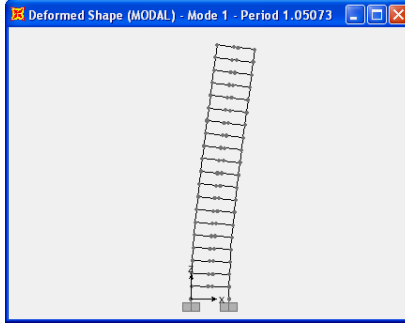
Options:


Define Combination of Load Case Results:

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
MBY	Response Spectrum	1.
G	Linear Static	1.
Q	Linear Static	1.

- Define menüsünde Menüde Analyze-Set Analysis Options... seçeneğini seçiniz.
 - XZ Plane düğmesine basarak UX, UZ, RY serbestliklerinin seçili olmasını sağlayınız.
 - OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Run Analysis... seçeneğini seçiniz.
 - Run Now düğmesine basınız
 - Dosya adı istendiğinde uygun bir dosya adı veriniz

- Çözümü yapınız.
- Menüde Display>Show Deformed Shape seçeneğini seçiniz.
- Case/Combo Name açılır listesinden MODAL'ı seçiniz.
- Mode Number kutucuğuna 1 yazınız ve OK düğmesine basınız. Ekranı gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 1.050s olarak gösterilmektedir.

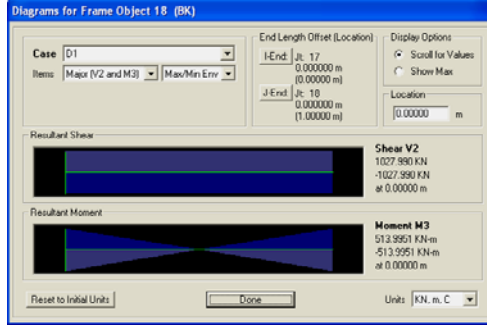


- Diğer mod şekillerini ve periyotları ekranda göstermek için ekranın sağ alt bölümündeki  düğmesine basınız.
- Yeterli titreşim modunun Hesapta gözönüne alınan mod sayısının yeterliliğini kontrol etmek için Display menüsünden Show Tables seçeneğini seçiniz.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda ANALYSIS RESULTS bölümünde Structure Output alt bölümünde Modal Information kutucuğunu seçiniz.
 - Load Cases (Results) bölümünde Select Load Cases... düğmesine basınız.
 - Ekranı gelen pencerede MODAL seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
 - OK düğmesine basarak ilgili tabloyu ekrana getiriniz.
 - Açılır listeden Modal Participating Mass Ratios seçeneğini seçiniz.
 - Program kullanıcı değiştirmedeği sürece 12 modu hesaba katarak çözümü yapmaktadır. Bu örnek için 12 mod sonunda her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamı bina toplam kütlelerinin %99.511'ini oluşturmaktadır.DBYBHY2007 2.8.3.1 maddesine göre bu değerin %90'dan büyük olması gerekmektedir. Koşul sağlanmaktadır.
 - Done düğmesine basarak tabloyu kapatınız.

OutputCase Text	Step Type Text	Step Num Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless
MODAL	Mode	1	1.050735	0.65738	0	0	0.65738
MODAL	Mode	2	0.22313	0.28972	0	0	0.28971
MODAL	Mode	3	0.10064	0.05369	0	0	0.05369
MODAL	Mode	4	0.063623	0.02768	0	0	0.02768
MODAL	Mode	5	0.045932	0.01536	0	0	0.01536
MODAL	Mode	6	0.035978	0.00955	0	0	0.00955
MODAL	Mode	7	0.029595	0.00628	0	0	0.00628
MODAL	Mode	8	0.025227	0.00429	0	0	0.00429
MODAL	Mode	9	0.022098	0.00301	0	0	0.00301
MODAL	Mode	10	0.019775	0.00214	0	0	0.00214
MODAL	Mode	11	0.019607	7.381E-16	0	0	7.381E-16
MODAL	Mode	12	0.018544	9.864E-16	0	0	9.864E-16

- Select menüsünden Select→Properties→Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Klavyede Ctrl tuşuna basılı tutarak BK ve P kesitlerini seçiniz ve OK düğmesine basınız.

- View menüsünden Show Selection Only seçeneğini seçerek yalnızca seçilen elemanların ekranda görünmesini sağlayınız.
- Display menüsünden Show Forces/Stresses → Frame/Cables seçeneğini seçiniz.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda Case/Combo Name listesinden D1 yük birleşimini seçiniz.
 - Component bölümünde Shear 2-2 seçeneğini seçiniz.
 - Options bölümünde Show Values on Diagram seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
 - 4. kat bağı kirişinin kesme kuvveti 1028 kN olarak hesaplanmaktadır.



Bağ kirişinin boyutlandırılması:

$$\ell_n = 1.0m < 3h_k = 3m$$

$$V_d = 1028kN > 1.5b_wdf_{ctd} = 1.5 \cdot 0.4 \cdot 0.95 \cdot 1200 = 684kN$$

Oluğundan dolayı bağ kirişindeki kesme kuvvetini ve onun oluşturduğu eğilme momentini karşılamak üzere çapraz donatılar kullanılmalıdır.

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d = 0.65 \cdot 1200 \cdot 0.4 \cdot 0.95 = 296.4kN$$

$$V_{rmax} = 0.22 f_{cd} b_w d = 0.22 \cdot 16700 \cdot 0.4 \cdot 0.95 = 1396kN$$

$$\tan \gamma = \frac{0.4}{0.5} \rightarrow \gamma = 38.65^\circ \rightarrow \sin \gamma = 0.63$$

$$A_{sd} = \frac{F_s}{f_{yd}} = \frac{V_d}{2f_{yd} \sin \gamma} = \frac{1028000}{2 \cdot 365 \cdot 0.63} = 2235mm^2$$

Seçilen çapraz donatı 6φ22 (2280mm²)

Çapraz donatıların burkulmasını önleyecek sargı donatısı

$$A_{te} / s = \sum \frac{A_b f_{yd}}{1600 f_{yt}} \quad (mm^2 / mm) = \frac{380 \cdot 365}{1600 \cdot 365} = 0.24$$

olarak belirlenir. Söz konusu denklem sargı donatısının çekme kapasitesinin 100mm aralıkla yerleştirilmesi durumunda burkulmaya karşı koruduğu boyuna donatının basınç kuvvetinin 1/16'sından az olmasını sağlama amaçlıdır.

Seçilen donatı φ8/100

$$A_{te} / s = \frac{50}{100} = 0.50$$

Çapraz donatıların kenetlenme boyu

$$\ell_b = 0.12\phi \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} = 0.12 \cdot 22 \frac{365}{1.2} = 803\text{mm}$$

$$1.5\ell_b = 1.5 \cdot 803 = 1205\text{mm} \quad \text{Seçilen boy } 1300\text{mm}$$

Ek olarak baş kirişine TS-500'de öngörülen minimum etriye ve yatay donatı yerleştirilmelidir.

$$A_{s,min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = 0.8 \frac{1.2}{365} 400 \cdot 950 = 1000\text{mm}^2$$

Seçilen donatı $3\phi 22$ (1140mm^2)

Gövde donatısı

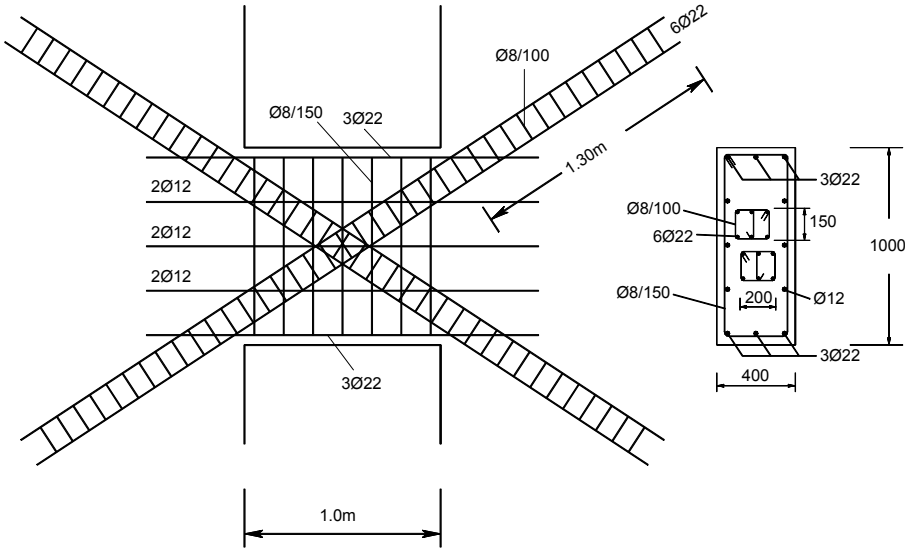
$$A_{s,gövde} = 0.001 b_w d = 0.001 \cdot 400 \cdot 950 = 380\text{mm}^2$$

Seçilen donatı $6\phi 12$ (679mm^2)

$$\text{Etriye } \min \frac{nA_o}{s} = 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} b_w = 0.3 \frac{1.2}{365} 400 = 0.395$$

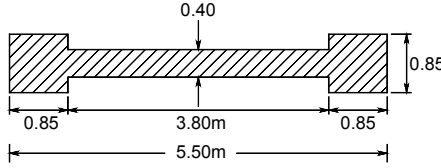
Seçilen donatı 2 kollu $\phi 8/150$

$$\frac{nA_o}{s} = \frac{2 \cdot 50}{150} = \frac{100}{150} = 0.67$$



Şekil 5-54 Bağ kirişi donatı düzeni

Örnek 5-2: Perde ve çerçevelerden oluşan bir sistemde $H_w / \ell_w > 2.0$ olan bir perdenin tabandaki kesiti Şekil 5-55'de gösterilmektedir. Bu perdenin taban kesitinde hesap sonucu $M_d = 31050\text{kNm}$, $N_d = 12200\text{kN}$, $V_d = 2558\text{kN}$ iç kuvvetleri elde edilmiştir. Perde kesiti için gerekli eğilme ve kayma donatılarını belirleyiniz. $R_d = 2$ alınarak hesaplanan kesme kuvveti $V_d = 7674\text{kN}$ 'dir.



Şekil 5-55 Perde kesiti

Perde kesitinin ucunda genişletilmiş bir kesit düzenlendiğinden; alanı dikdörtgen kesit için elde edilen alandan küçük olmayacak şekilde perde uç bölgesi belirlenecektir.

Uç bölgesi uzunluğu dikdörtgen kesitli perde için

$$\ell_u \geq \max(2b_w, 0.2\ell_w)$$

$$\ell_u \geq \max(2 \cdot 0.4 = 0.8m; 0.2 \cdot 5.5 = 1.1m)$$

$$\ell_u = 1.1m$$

olarak belirlenir.

Uç bölgesi alanı

$$b_w \cdot \ell_u = 0.4 \cdot 1.1 = 0.44m^2$$

Genişletilmiş kesitin alanı 0.7225m² olduğundan perde uçlarındaki genişletilmiş kesit, uç bölgesi olarak gözönüne alınacaktır. Öncelikle bu bölgeye yönetmelikte verilen donatı koşullarını sağlayan donatı yerleşimi yapılacak ve daha sonra bu donatının uygunluğu araştırılacaktır.

Kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerinin her birinde düşey donatı toplam alanının perde brüt kesit enkesit alanına oranı 0.002'den az olmamalıdır.

$$\text{Perde brüt en kesit alanı} \quad 2 \cdot 0.85 \cdot 0.85 + 0.4 \cdot (5.5 - 2 \cdot 0.85) = 2.965m^2$$

Perde uç bölgelerinin her birinde bulunması gerekli minimum düşey donatı alanı

$$0.002 \cdot 2.965 \cdot 10^6 = 5930mm^2 \quad \text{Seçilen donatı } 16\phi 22 \text{ (6082mm}^2\text{)}$$

Uç bölgesinde enine donatı çapı 10mm olarak seçilmiştir (minimum 8mm). Kullanılan etriye ve çirozların arasındaki uzaklık seçilen etriye ve çiroz çapınının 25 katından fazla olamayacağından ($a \leq 25\phi_{etr}$) yaklaşık 200mm olarak seçilmiştir.

Perde uç bölgesinde kritik perde yüksekliği boyunca

$$A_{sh} \geq \frac{2}{3} \left(\underbrace{0.075sb_k \frac{f_{ck}}{f_{ywk}}}_{\text{Kolon sarılma bölgesi için koşul}} \right) = 0.05sb_k \frac{f_{ck}}{f_{ywk}}$$

koşulunu sağlamalıdır.

Düşey doğrultuda etriye veya çiroz aralığı perde kalınlığının yarısından ve 100mm'den daha fazla, 50mm'den daha az olmamalıdır ($50mm \leq s \leq 100mm$). Bu koşula uygun olarak aralık $s=100mm$ olarak seçilmiştir. Tüm etriye kollarının ve çirozların kesit alanı

$$A_{sh} = 5 \cdot 78 = 390mm^2$$

olarak belirlenir.

$$A_{sh} = 5 \cdot 78 = 390mm^2 \geq 0.05 \cdot 100 \cdot (850 - (30 + 30 + 10)) \frac{25}{420} = 232mm^2$$

DBYBHY 3.6.4 maddesinde gövde yatay donatılarının etriyelerle sarılı perde uç bölgesinin sonuna 90° kıvrılarak karşı yüzde köşedeki düşey donatıya 135°'lik kanca ile bağlanması veya 90° kıvrım yapılmaksızın bitirilmesi durumunda perdenin her iki ucuna gövde donatısı ile aynı çapta olan \supset biçiminde yatay donatılar yerleştirilmesi öngörülmektedir. Bu tür detaylandırma yapıldığında yatay gövde donatılarının kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgesine konulacak sargı donatısının belirlenmesinde hesaba katılabileceği belirtilmektedir. Bu örnekteki detaylandırma gereği, gövde donatıları uç bölgesi sargı donatısı hesabına katılmamıştır.

Gövde donatısı için gerekli kenetlenme boyu perde uç bölgesi uzunluğundan küçük olduğundan bu donatılar kenetlenme boyundan daha büyük bir uzunluk seçilerek (700mm) perde uç bölgesi içine uzatılacaktır.

$$\ell_b = 1.4 \cdot 0.12 \phi \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} = 1.4 \cdot 0.12 \cdot 10 \frac{365}{1.2} = 511 \text{ mm}$$

Kullanılan detaylandırma türüne göre perde uç bölgelerindeki enine donatının birim boydaki toplam alanı perde gövdesindeki yatay donatı alanının birim boydaki toplam alanından az olmamalıdır.

$$\frac{\Sigma A_{o,uç}}{s} \geq \frac{\Sigma A_{o,gövde}}{s}$$

Perdenin her iki yüzündeki gövde donatılarının toplam en kesit alanı, düşey ve yatay donatıların her biri için perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt enkesit alanının 0.0025'inden az olmamalıdır. Bu donatıların aralığı 250mm'den fazla olmamalıdır.

$$A_{s,gövde düşey} \geq 0.0025 \cdot b_w \cdot \ell_{gövde} = 0.0025 \cdot 400 \cdot 3800 = 3800 \text{ mm}^2$$

Seçilen donatı 34 ϕ 12 (3845mm²)

$$\frac{A_{s,gövde yatay}}{s \cdot b_w} \geq 0.0025$$

2 kollu ϕ 12 donatı 200mm ara ile yerleştirilecek olursa

$$\frac{2 \cdot 113}{200 \cdot 400} = 0.00285 > 0.0025$$

Perde kesitinin kesme dayanımı

$$V_r = A_{ch}(0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{ywd})$$

$$A_{ch} = 2 \cdot 0.85 \cdot 0.85 + 0.4 \cdot 3.8 = 2 \cdot 0.7225 + 1.52 = 2.965 \text{ m}^2$$

$$V_r = 2.965 \cdot 10^6 \cdot (0.65 \cdot 1.2 + 0.00285 \cdot 365) = 5.56 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$V_r = 5560 \text{ kN}$$

$H_w / \ell_w > 2.0$ olan perdede enine donatı hesabında esas alınacak tasarım kesme kuvveti

$$V_e = \beta_v \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} V_d$$

bağıntısı ile belirlenmektedir. Kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı $\beta_v = 1.5$ olarak alınmalıdır.

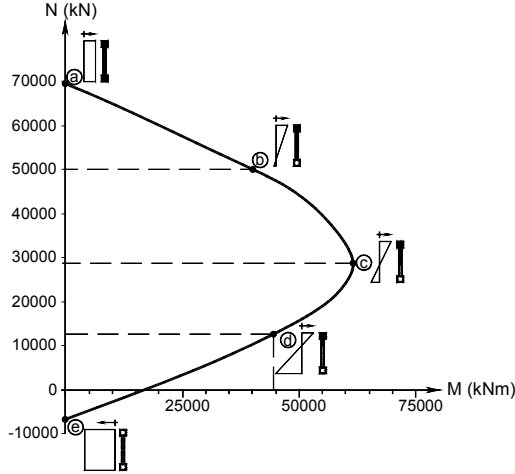
Deprem yüklerinin tamamının betonarme perdelerle taşındığı binalarda $\beta_v = 1.0$ olarak alınabilir.

Bu bağtıında $(M_d)_t$ perdenin taban kesitinde yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında bulunan hesap momenti, $(M_p)_t$ perdenin taban kesitinde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesidir. $(M_p)_t$ 'nin belirlenmesinde donatı çeliği için kullanılan gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları bu özellikleri içerecek şekilde oluşturulmalıdır. Daha kesin hesap yapılmadıkça $(M_p)_t \cong 1.25(M_r)_t$ alınabilir. $(M_r)_t$ perdenin taban kesitinde f_{cd} , f_{yd} kullanılarak hesaplanan momenttir.

Düşey yükler ile birlikte $R_a = 2$ alınarak hesaplanan kesme kuvvetinin V_e 'den küçük olması durumunda tasarım kesme kuvveti olarak hesaplanan kesme kuvveti kullanılmalıdır.

Beton ve Donatı çeliği için gerilme şekildeğiştirme bağıntıları

Seçilen donatılar esas alınarak kesitin karşılıklı etki diyagramı (M-N) oluşturulduğunda Şekil 5-56 $N=12200kN$ için taban kesitinde moment kapasitesi $(M_p)_t$ 44682kNm olarak belirlenmektedir.



Şekil 5-56 Perde karşılıklı etki diyagramı

Bu durumda kesit içinde oluşan gerilme ve şekildeğiştirmeler Şekil 5-57'de gösterilmektedir.

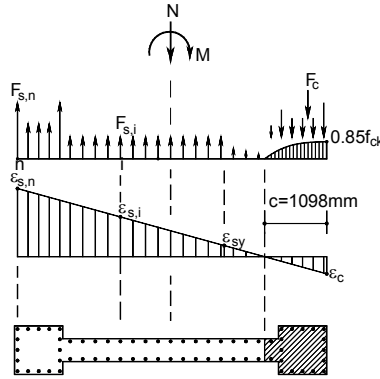
Tasarıma esas kesme kuvveti

$$V_e = 1.5 \cdot \frac{44682}{31050} \cdot 2557 = 5520 \text{ kN}$$

Olarak belirlenmiştir. $R_a = 2$ alınarak hesaplanan kesme kuvvetinin V_e 'den büyük olduğundan hesaplarda $V_e = 5520 \text{ kN}$ değeri kullanılacaktır. Perde kesitinin kesme dayanımı $V_r = 5560 \text{ kN}$ olarak belirlenmiştir.

$$V_r = 5560 \text{ kN} > V_e = 5520 \text{ kN}$$

olduğundan dolayı kesme güvenliği sağlanmaktadır.

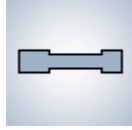


Şekil 5-57 Perde kesitinde şekildeğiştirme ve gerilme dağılımı

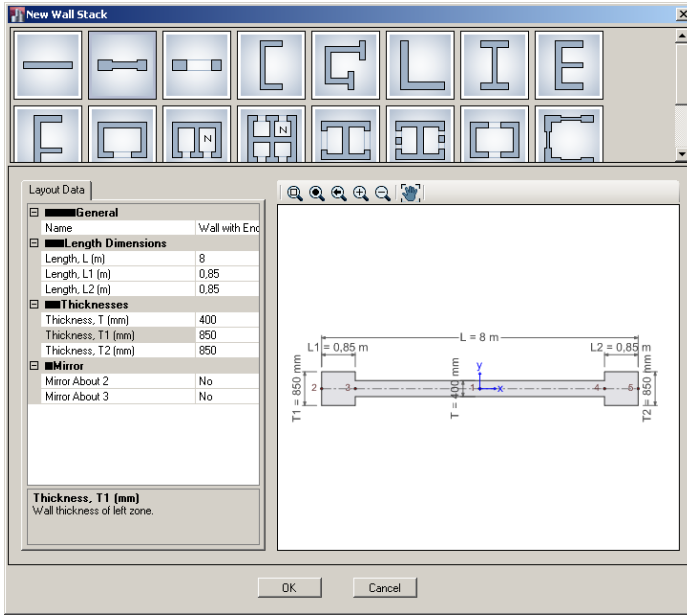
ETABS

- ETABS programını çalıştırınız.
- File menüsünde New seçeneğine tıklayınız.
- Use Built-in Settings With: bölümünde
 - Display Units bölümünde Metric SI seçiniz.
 - Concrete Design Code listesinden TS500-2000 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Ekranaya gelen ileti kutusunda
 - Add Structural Objects bölümünde Grid Only seçeneğini seçiniz.
 - Grid Dimensions (Plan) bölümünde Uniform Grid Spacing seçeneğini seçiniz.
 - Number of Grid Lines in X Direction kutucuğuna 6 yazınız.
 - Number of Grid Lines in Y Direction kutucuğuna 1 yazınız.
 - Spacing of Grids in X Direction kutucuğuna 4 yazınız.
 - Custom Grid Spacing seçeneğini seçiniz ve Edit Grid düğmesine basınız.
 - Display Grid Data as Spacing seçeneğini seçiniz.
 - X Grid Data bölümünde üçüncü satırdaki 4 değerini 1 olarak değiştiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Story Dimensions bölümünde Simple Story Data seçeneğini seçiniz.
 - Number of Stories kutucuğuna 20 yazınız.
 - Typical Story Height kutucuğuna 3 yazınız.
 - Bottom Story Height kutucuğuna 3 yazınız ve OK düğmesine basınız
- Menüde Define-Material Properties... seçeneğini seçiniz.
 - Add New Material... düğmesine basınız.
 - Region bölümünde User seçeneğini seçiniz.
 - Material Type açılır listesinden Concrete seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
 - Material Name kutucuğuna C25 yazınız.
 - Weight per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.
 - Modulus of Elasticity, E kutucuğuna 300000 yazınız
 - Poissons's Ratio, U kutucuğuna 0.2 yazınız.
 - Coefficient of Thermal Expansion, A kutucuğuna 0 yazınız.
 - Modify/Show Material Property Design Data... düğmesine basınız.
 - Ekranaya gelen ileti kutusunda Characteristic Concrete Cylinder Strength, f_{ck} kutucuğuna 25 yazınız ve iki kez OK düğmesine basınız.

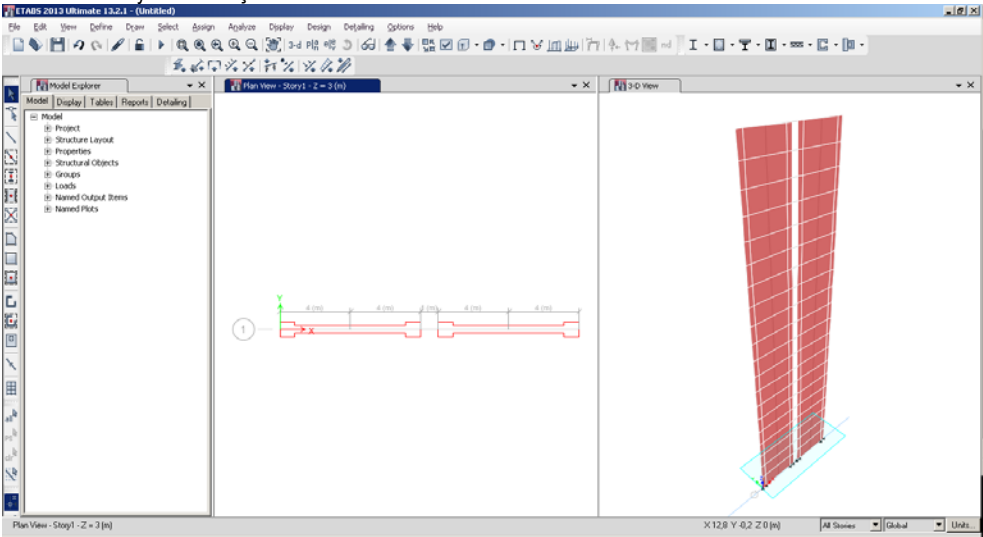
- Add New Material... düğmesine basınız.
 - Region bölümünde User seçeneğini seçiniz.
 - Material Type açılır listesinden Rebar seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
 - Material Name kutucuğuna S420 yazınız.
 - Weight per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.
 - Modulus of Elasticity, E kutucuğuna 200000 yazınız.
 - Poissons's Ratio, U kutucuğuna 0.3 yazınız.
 - Coefficient of Thermal Expansion, A kutucuğuna 0 yazınız.
 - Modify/Show Material Property Design Data... düğmesine basınız.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda
 - Minimum Yield Strength, Fy kutucuğuna 420 yazınız.
 - Minimum Tensile Strength, Fu kutucuğuna 420 yazınız.
 - Expected Yield Strength, Fye kutucuğuna 420 yazınız.
 - Expected Tensile Strength, Fue kutucuğuna 420 yazınız.ve üç kez OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set Plan View... seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda Story1'i seçerek OK düğmesine basınız.
- Ekranın sağ alt köşesindeki açılır listeden All Stories seçeneğini seçiniz.
- Menüde Draw-Draw Wall Stacks (Plan, Elevation, 3D)... seçeneğini seçiniz.



- simegesine tıklayınız.
- Length, L (m) kutucuğuna 8 yazınız.
- Length, L1 (m) kutucuğuna 0.85 yazınız.
- Length, L2 (m) kutucuğuna 0.85 yazınız.
- Thickness, T (mm) kutucuğuna 400 yazınız.
- Thickness, T1 (mm) kutucuğuna 850 yazınız.
- Thickness, T2 (mm) kutucuğuna 850 yazınız ve OK düğmesine basınız.

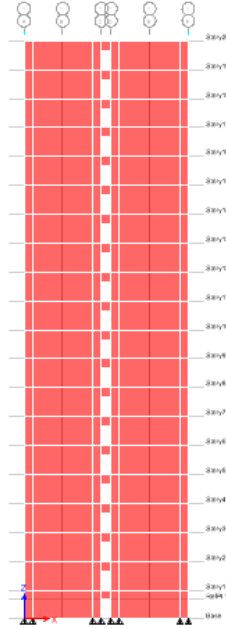


- Plan görünümünde Grid Point B1 ve Grid Point E1 noktalarına tıklayarak perdeleri oluşturunuz.
- Klavyede Esc tuşuna basınız.



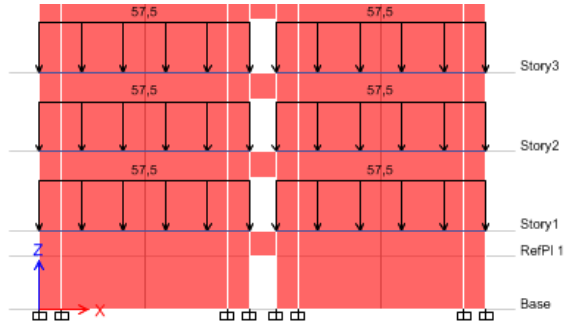
- Sağ pencereye tıklayarak aktif duruma getiriniz.
- Menüde View-Set Elevation View seçeneğini seçiniz.
 - 1 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Section Properties-Wall Sections seçeneğine tıklayınız.
 - Wall5 seçeneğini seçiniz ve Modify/Show Property düğmesine basınız.
 - Propety Name kutucuğuna P850 yazınız.

- Wall Material listesinden C25'i seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Wall6 seçeneğini seçiniz ve Modify/Show Property düğmesine basınız.
- Property Name kutucuğuna P400 yazınız.
- Wall Material listesinden C25'i seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Wall1 seçeneğini seçiniz ve Modify/Show Property düğmesine basınız.
- Property Name kutucuğuna B400 yazınız.
- Wall Material listesinden C25'i seçiniz.
- Thickness kutucuğuna 400 yazınız ve iki kez OK düğmesine basınız.
-
- Menüde Define-Section Properties-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Add New Property... düğmesine basınız.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda General seçeneğini seçiniz.
 - Property Name kutucuğuna S yazınız.
 - Material açılır listesinden C25 seçeneğini seçiniz.
 - Depth kutucuğuna 10 yazınız.
 - Width kutucuğuna 10 yazınız.
 - Modify/Show Modifiers... düğmesine basınız.
 - Mass kutucuğuna 0 yazınız.
 - Weight kutucuğuna 0 yazınız.
 - 3 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Draw-Draw Reference Planes... seçeneğini seçiniz.



- Ekranın sol alt bölümünde açılan pencerede Vertical Offset Z, mm kutucuğuna -1000 yazınız.
- Story1 düzeyinde herhangi bir aks kesişim noktasına tıklayınız ve klavyede Esc tuşuna basınız.
- Story1 altında RefPl 1 adında bir düzlem oluşacaktır.
- Menüde Draw-Draw Floor/Wall Objects-Draw Rectangular Floor/Wall (Plan/Elev) seçeneğine tıklayınız.

- Ekranın sol altındaki Property of Object penceresinde Property listesinden B400'ü seçiniz.
- RefPl 1 referans düzleminde C-1 aksları kesişim noktasına fare sol tuşuyla tıklayınız ve fareyi basılı tutarak Story1 düzlemin D-1 aksları kesişim noktasına tıklayarak bağ girişini oluşturunuz.
- Klavyede Esc tuşuna basınız.
- Klavyede Ctrl+A tuşlarına basarak tüm elemanları seçiniz.
- Menüde Assign-Shell-Wall Auto Mesh Options... seçeneğini seçiniz.
 - İleti kutusunda Add Restraints on Edge if Corners have Restraints kutucuğunu seçili duruma getiriniz.
 - Auto Rectangular Mesh seçeneğini seçiniz.
 - Advanced-Modify/Show Auto Rectangular Mesh düğmesine basınız.
 - Approximate Maximum Mesh Size kutucuğuna 0.5 yazınız ve 2 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Draw→Draw Beam/Column/Brace Objects→Draw Beam/Column/Brace (Plan, Elevation,3D) seçeneğini seçiniz.
- Ekranın sol altındaki Properties of Object ileti kutusunda Property listesinden S kesitini seçiniz.
- Story1 düzleminde A-1 aks kesişim noktası ile C-1 aks kesişim noktalarına tıklayarak perdenin üzerinde elemanı oluşturunuz. Fare sağ tuşuna basarak geçici olarak çizim işlemi tamamlayınız.
- Story1 düzleminde D-1 aks kesişim noktası ile F-1 aks kesişim noktalarına tıklayarak perdenin üzerinde elemanı oluşturunuz. Klavyede Esc tuşuna basarak çizim işlemi tamamlayınız. All Stories seçeneği aktif olduğundan tüm katlarda bu çubuk elemanlar oluşacaktır.
- Base düzlemindeki düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Restraints... seçeneğini seçiniz.
 - Ankastre mesnet tanımı için Translation ve Rotation kutucuklarının tamamını seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Load Patterns... seçeneğini seçiniz.
 - Load kutucuğuna G yazınız ve Add New Load düğmesine basınız.
 - Load kutucuğuna Q yazınız. Type listesinden Live seçeneğini seçiniz ve Add New Load düğmesine basınız.
 - Load bölümünde Dead seçeneğini seçiniz ve Delete Load düğmesine basarak bu yüklemeyi siliniz.
 - Load bölümünde Live seçeneğini seçiniz ve Delete Load düğmesine basarak bu yüklemeyi siliniz.
 - OK düğmesine basınız.
- Perde üzerindeki çubuk elemanları seçiniz.
- Menüde Assign-Frame Loads-Distributed seçeneğini seçiniz.
 - Load Pattern Name listesinden G seçeneğini seçiniz.
 - Uniform Load kutucuğuna 85 yazınız ve Apply düğmesine basınız.
 - Perde üzerindeki çubuk elemanları yeniden seçiniz.
 - Load Pattern Name listesinden G seçeneğini seçiniz.
 - Uniform Load kutucuğuna 57.5 yazınız ve OK düğmesine basınız.



- Sol pencereyi aktif duruma getiriniz.
- Ekranın sağ alt köşesindeki açılır listeden Similar Stories seçeneğini seçiniz.
- Story1 düzlemindeki 8 adet düğüm noktasını seçiniz. Ekranın sol alt bölümünde 160 Joints selected yazacaktır.
- Menüde Assign-Joint-Additional Mass... seçeneğini seçiniz.
 - Direction X,Y kutucuğuna 50000 yazınız.
 - OK düğmesine basınız.
- Sağ pencereye tıklayarak aktif duruma getiriniz.
- 1. kat bağ kirişini seçiniz. Tüm katlarda bağ kirişleri seçili duruma gelecektir.
- Menüde Assign-Shell-Stiffness Modifiers... seçeneğini seçiniz.
- Membrane f11 Direction ve Membrane f22 Direction kutucuklarına 0.4 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- 1. kat bağ kirişini yeniden seçiniz. Tüm katlarda bağ kirişleri yeniden seçili duruma gelecektir.
- Menüde Assign-Shell-Spandrel Label... seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda S1 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Define menüsünden Functions→Response Spectrum seçeneğini seçiniz.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda Choose Function Type to Add listesinden TSC-2007 seçeneğini seçiniz ve Add New Function... düğmesine basınız.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda Function Name kutucuğuna Z2R6 yazınız.
 - Seismic Zone bölümünde Zone 1 seçeneğini seçiniz.
 - Importance Factor, I kutucuğuna 1 yazınız.
 - Site Class listesinden Z2 seçeneğini seçiniz.
 - Seismic Load Reduction Factor, R kutucuğuna 6 yazınız ve 2 kez OK düğmesine basınız.

Response Spectrum Function Definition - TSC-2007

Function Name: Z2R6 Function Damping Ratio: 0,05

Parameters

Seismic Zone: Zone 1
Acceleration, A_o: 0,4
Importance Factor, I: 1
Site Class: Z2
Seismic Load Reduction Factor, R: 6

Defined Function

Period	Acceleration
0	0,2667
0,1	0,1778
0,15	0,1667
0,2	0,1667
0,3	0,1667
0,4	0,1667
0,5	0,1394
0,6	0,1205

Function Graph

Plot Options

Linear X - Linear Y
 Linear X - Log Y
 Log X - Linear Y
 Log X - Log Y

- Define menüsünde Load Cases seçeneğini seçiniz.
- Add New Case... düğmesine basınız.
- Ekranı gelen ileti kutusunda
 - Load Case Name kutucuğuna MBY yazınız
 - Load Case Type açılır listesinden Response Spectrum seçeneğini seçiniz.
 - Loads Applied bölümünde Add düğmesine basınız.
 - Function açılır listesinden Z2R6 fonksiyonunu seçiniz
 - 2 kez OK düğmesine basınız

Load Case Data

General

Load Case Name: MBY
Load Case Type: Response Spectrum
Exclude Objects in this Group: Not Applicable
Mass Source: Previous (MsSrc1)

Loads Applied

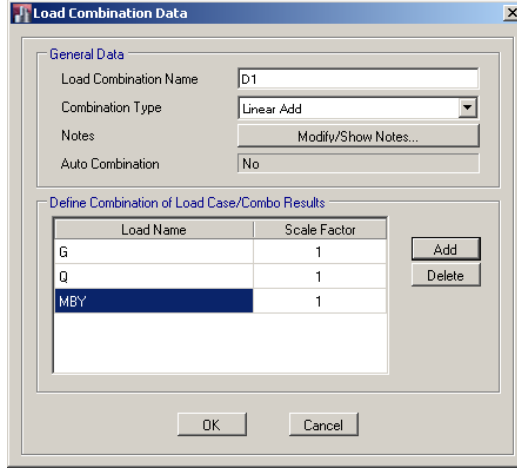
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Z2R6	9806,65

Advanced

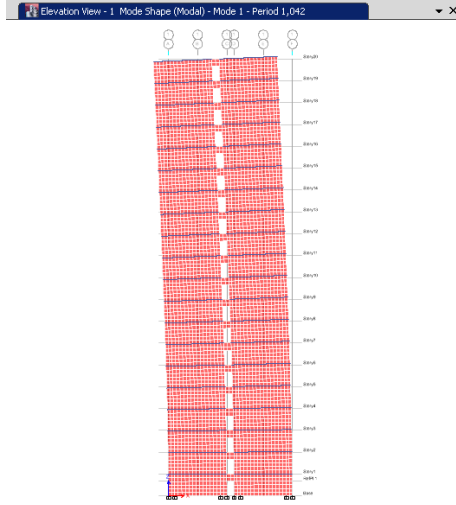
Other Parameters


Modal Load Case: Modal
Modal Combination Method: CQC
 Include Rigid Response
Rigid Frequency, f1:
Rigid Frequency, f2:
Periodic + Rigid Type:
Earthquake Duration, t_d:
Directional Combination Type: SRSS
Absolute Directional Combination Scale Factor:
Modal Damping: Constant at 0,05
Diaphragm Eccentricity, 0 for All Diaphragms

- Menüde Define-Load Combinations... seçeneğini seçiniz.
- Add New Combo... düğmesine basınız
 - Load Combination Name kutucuğuna D1 yazınız.
 - Define Combination of Load Case/Combo Results bölümünde Add düğmesine basınız.
 - Eklenen satırda Load Name listesinden Q seçeneğini seçiniz.
 - Define Combination of Load Case/Combo Results bölümünde Add düğmesine basınız.
 - Eklenen satırda Load Name listesinden MBY seçeneğini seçiniz ve 2 kez OK düğmesine basınız.




- Menüde Analyze-Set Active Degrees of Freedom... seçeneğini seçiniz.
 - XZ Plane düğmesine basarak UX, UZ, RY serbestliklerinin seçili olmasını sağlayınız.
 - OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Run Analysis... seçeneğini seçiniz.
 - Dosya adı istendiğinde uygun bir dosya adı veriniz
 - Çözümü yapınız.
- Menüde Display-Show Deformed Shape seçeneğini seçiniz.
- Load Case/Load Combination/Modal Case bölümünde Mode seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Ekranı gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 1.042s olarak gösterilmektedir.

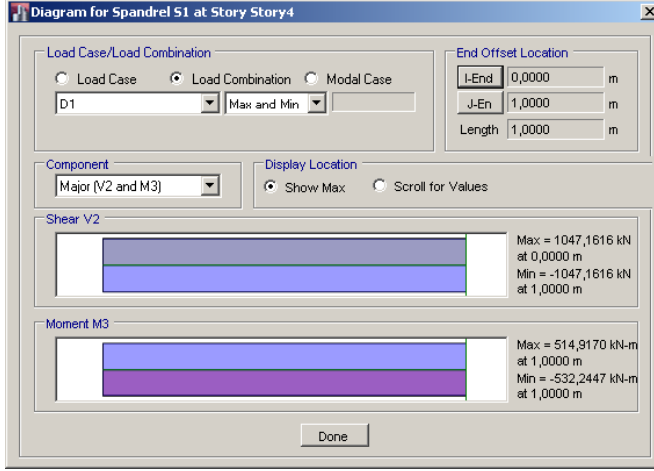


- Diğer mod şekillerini ve periyotları ekranda göstermek için ekranın sağ alt bölümündeki  düğmesine basınız.
- Hesapta gözönüne alınan mod sayısının yeterliliğini kontrol etmek için Display menüsünden Show Tables seçeneğini seçiniz.
- Analysis-Results-Modal Results-Modal Participating Mass Ratios seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX
Modal	1	1,042	0,6556	0	0	0,6556
Modal	2	0,218	0,2104	0	0	0,8661
Modal	3	0,098	0,0606	0	0	0,9267
Modal	4	0,063	0,0278	0	0	0,9545
Modal	5	0,046	0,0151	0	0	0,9636
Modal	6	0,043	0	0	0	0,9636
Modal	7	0,038	0	0	0	0,9636
Modal	8	0,037	0	0	0	0,9636
Modal	9	0,037	0,0092	0	0	0,9788
Modal	10	0,035	0	0	0	0,9788
Modal	11	0,032	0	0	0	0,9788
Modal	12	0,031	0,0058	0	0	0,9846

- Program kullanıcı değiştirmedığı sürece 12 modu hesaba katarak çözümü yapmaktadır. Bu örnek için 12 mod sonunda her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamı bina toplam kütlelerinin %98.46'sını oluşturmaktadır.DBYBHY2007 2.8.3.1 maddesine göre bu değer %90'dan büyük olması gerekmektedir. Koşul sağlanmaktadır.
-  düğmesine basarak tabloyu kapatınız.
- Oluşan kesme kuvvetlerini görmek için menüden Display-Force/Stress Daigrams – Frame/Pier/Spandrel/Link Forces... seçeneğini seçiniz.
- Combo kutucuğundan D1 ve Absolute Max seçeneklerini seçiniz.

- Component bölümünden Shear 2-2 seçeneğini seçiniz.
- Display Options bölümünden Show Values at Controlling Stations on Diagram seçeneğini seçiniz.
- Include bölümünde Piers ve Spandrels seçeneklerini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
 - 4. kat baş girişinin kesme kuvveti 1047 kN, sağ menset momenti 523 olarak hesaplanmaktadır.



5.7. Süneklik Düzeyi Normal Perdeler

Süneklik düzeyi normal perdeler, düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetlere göre boyutlandırılmaktadır. Süneklik düzeyi yüksek perdeler için verilen bağ kirişli perde sistemde perde taban momentleri toplamının, deprem yüklerinden oluşan devrilme momentinin 2/3'ünden fazla olmaması şeklinde belirtilen koşulun sağlanmasına gerek bulunmamaktadır.

Enkesit ve donatı koşulları süneklik düzeyi yüksek perdeler için olanlar ile aynıdır. Enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti $V_e = 2V_d$ olarak alınmalıdır.

5.8. Birleşim Bölgeleri

Betonarme sistemlerde elemanların etkilere karşı koyabilmeleri ve taşıma güçlerine tasarımda öngörülen türde sünek davranış göstererek ulaşabilmeleri için bu elemanların birleştiği bölgelerin gerekli dayanıma sahip olması gerekmektedir. Gerekli dayanımın sağlanması amacıyla bu bölgelerde deprem etkilerinin oluşturduğu gerilmeler incelenerek gerekli donatı detaylandırmasının yapılması gerekmektedir.

5.8.1. Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeve Sistemlerde Kolon-Kiriş Birleşim Bölgeleri

Taşıyıcı elemanlara benzer şekilde birleşim bölgelerinin de etkiyen iç kuvvetlere karşı koyabilecek şekilde boyutlandırılması gerekmektedir.

Şekil 5-58'de deprem yükleri etkisinde orta birleşim noktası gösterilmektedir. Deprem yüklerinin etkilediği durumda birleşim bölgesinin iki tarafındaki kiriş kesitlerinde oluşan momentler aynı yöndedir. Momentleri oluşturan kuvvet çiftleri F_s ve F_c 'nin bileşkesi donatıyı birleşim bölgesinden dışarı çıkarmaya zorlamaktadır. Dengenin oluşabilmesi için bu durumda daha büyük aderans gerilmelerinin karşılanması gerekecektir.

Deprem yön değiştirmesi durumunda birleşim bölgesine etkiyen kuvvetler Şekil 5-58'de gösterilmektedir. Birleşim bölgesine etkiyen tasarım kesme kuvveti depremin yönüne bağlı olarak birleşim bölgesinin ortasında yatay düzlem üzerinde etkiyen yatay kuvvetlerin dengesinden elde edilebilir. Örneğin Şekil 5-58a'da birleşim bölgesi kesme kuvveti

$$V_e = F_{s1} + F_{c2} - V_3 = F_{s1} + F_{s2} - V_3$$

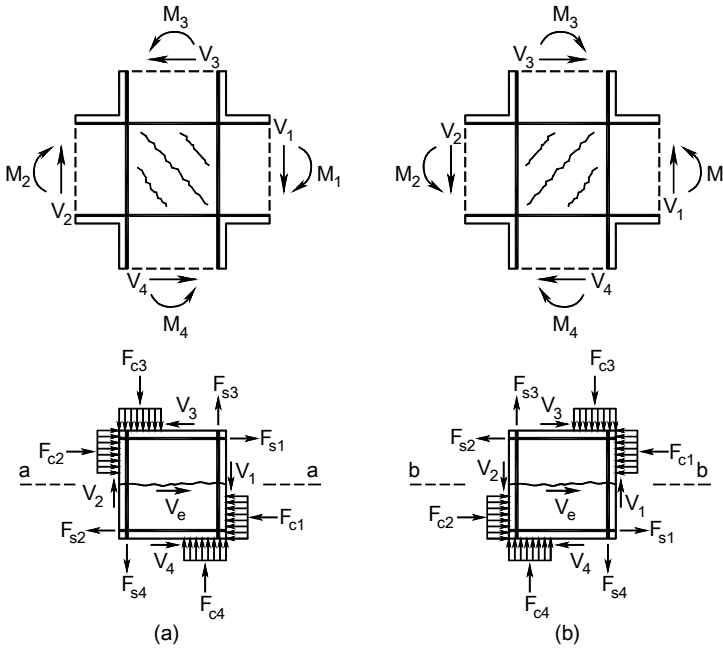
bağıntısıyla hesaplanabilir.

Deprem Yönetmeliğinde gözönüne alınan deprem doğrultusunda birleşim bölgesine etkiyen kesme kuvveti

$$V_e = 1.25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} \quad (5.37)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada kirişin basit eğilme etkisinde olduğu gözönünde bulundurularak basınç ve çekme kuvvetlerinin eşitliği kullanılmış ($F_{ci} = F_{si}$), donatılardaki olası pekleşme gözönüne alınarak karakteristik akma gerilmesi %25 artırılmıştır, ($F_{si} = 1.25 A_{si} f_{yk}$). V_{kol} birleşim bölgesinin üstünde ve altında deprem etkisi altında hesaplanan kolon kesme kuvvetlerinden küçük olanıdır, Şekil 5-62.

Kirişin kolona sadece bir taraftan saplandığı ve öbür tarafta devam etmediği durumlarda $A_{s2} = 0$ alınmalıdır.

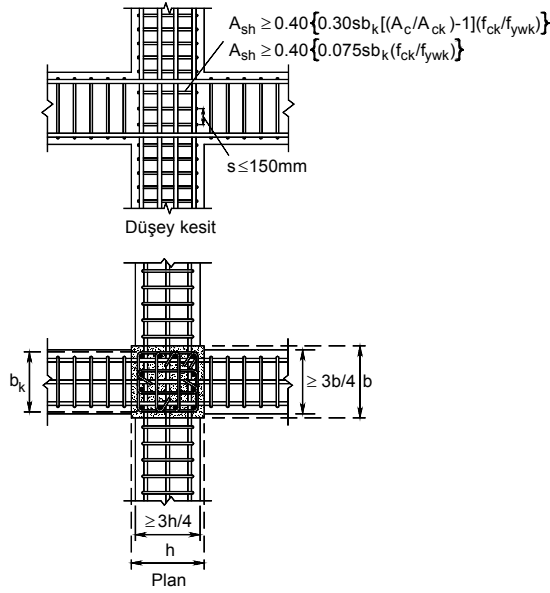


Şekil 5-58 Birleşim bölgesine etkiyen iç kuvvetler

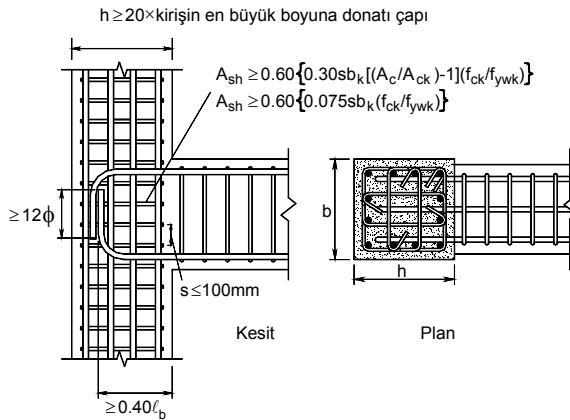
Birleşim bölgesine hesap yapılan doğrultuya dik yönde bağlanan başka kirişlerin bulunması yanal şekildeğiştirmeleri sınırlandıracağından olumlu katkı sağlayabilmektedir. Bu durumun etkili olabilmesi için kolona birleşen kirişlerin düğüm noktasını yeterince kuşatabilmesi gerekmektedir. Kirişlerin kolona dört taraftan birleşmesi ve her bir kiriş genişliğinin birleştiği kolon genişliğinin $\frac{3}{4}$ 'ünden daha az olmaması durumunda, kolon-kiriş birleşim bölgesi "Kuşatılmış Birleşim Bölgesi" olarak adlandırılır. Kuşatılmış

birleşim bölgesi içerisinde etriye aralığının 150mm'den fazla olmaması ve birleşen kolonun sarılma bölgesindeki enine donatı miktarının en az %40'ı kadar olması gerekmektedir.

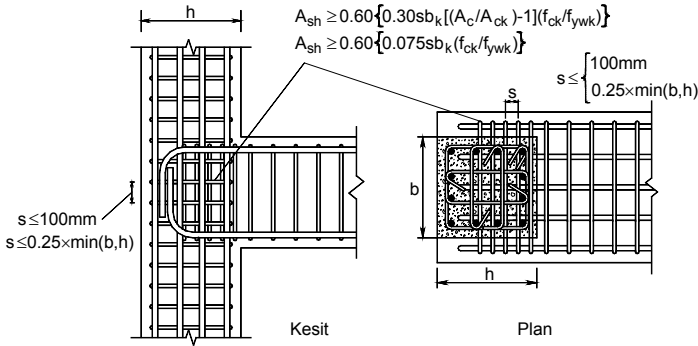
Bağlanan kiriş sayısının dörtten daha az olması veya genişlik koşulunun sağlanmadığı durumlarda kolon-kiriş birleşim bölgesi "Kuşatılmamış Birleşim Bölgesi" olarak adlandırılmaktadır. Kuşatılmamış birleşim bölgesi içerisinde etriye aralığının 100mm'den fazla olmaması ve birleşen kolonun sarılma bölgesindeki enine donatı miktarının en az %60'ı kadar olması gerekmektedir.



Şekil 5-59 Kuşatılmış birleşim detayı



Şekil 5-60 Kuşatılmamış birleşim bölgesi (Kolon kirişten daha geniş)



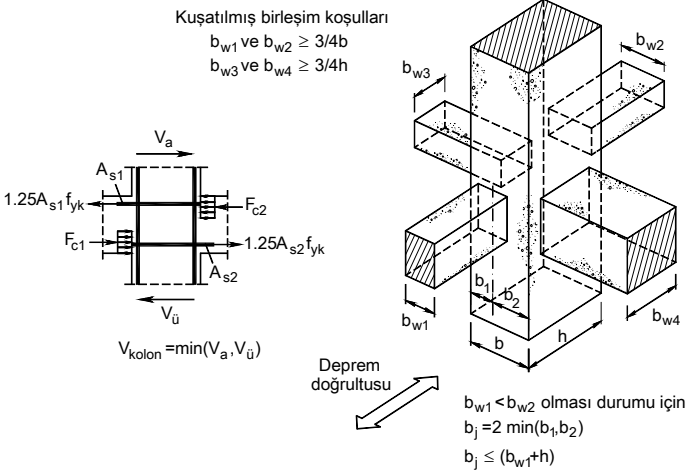
Şekil 5-61 Kuşatılmamış birleşim bölgesi (Kiriş kolondan daha geniş)

Birleşim bölgesine etkiyen kesme kuvveti aşağıdaki sınırları aşmamalıdır. Bu sınırların aşılması durumunda, kolon ve/veya kiriş kesit boyutları büyütülerek deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

(a) Kuşatılmış birleşimlerde: $V_e \leq 0.60 b_j h f_{cd}$

(b) Kuşatılmamış birleşimlerde: $V_e \leq 0.45 b_j h f_{cd}$ (5.38)

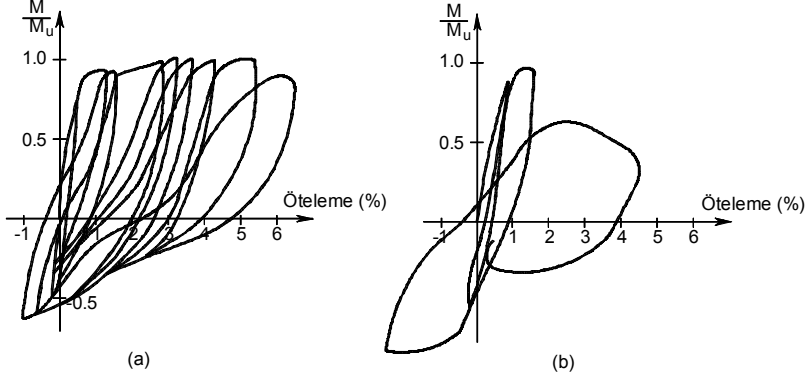
Burada b_j gözönüne alınan deprem doğrultusunda, birleşim bölgesine saplanan kirişin kolonla aynı genişlikte olması veya kolonun her iki yanından da taşması durumunda kolon genişliği, aksi durumda kirişin düşey orta ekseninden itibaren kolon kenarlarına olan uzaklıklardan küçük olanının iki katı (Kiriş genişliği ile birleşimin derinliğinin toplamını aşamaz) olan uzunluk, h kolonun gözönüne alınan deprem doğrultusundaki en kesit boyutudur, Şekil 5-62.



Şekil 5-62 Kuşatılmış birleşim koşulları

Kolon boyuna donatıları da birleşim bölgesi sınırları içerisinde aderans bakımından oldukça elverişsiz durumdadırlar. Kiriş yüksekliği boyunca aderans gerilmeleri tarafından karşılanması gerekli kuvvet, basınç ve çekme kuvvetlerinin toplamına eşittir.

Birleşim bölgesinde etriye bulundurulması aderansı olumlu yönde etkileyecektir. Etriye ve etriyesiz birleşim bölgelerinin çevrimsel yük etkileri altında davranışı Şekil 5-63'de gösterilmektedir.

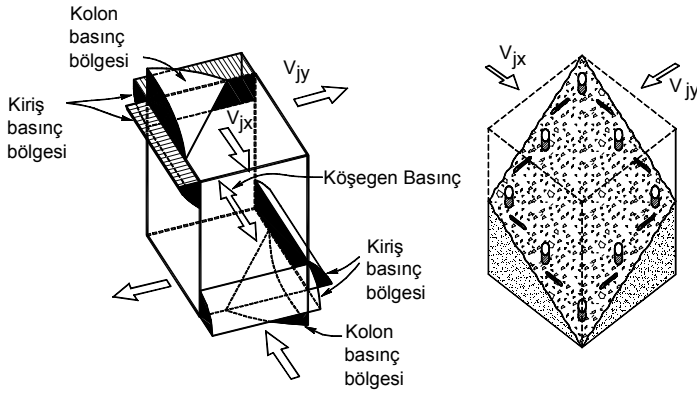


Şekil 5-63 (a) Etriyele birleşim bölgesinin çevrimsel yük etkisinde davranışı (b) Etriyesiz birleşim bölgesinin çevrimsel yük etkisinde davranışı

Kolon-kiriş birleşim bölgesindeki minimum enine donatı koşulları aşağıda verilmiştir (Şekil 5-22).

(a) Kuşatılmış birleşimlerde, alttaki kolonun sarılma bölgesi için bulunan enine donatı miktarının en az %40'ı, birleşim bölgesi boyunca kullanılacaktır. Ancak, enine donatının çapı 8 mm'den az olmayacak ve aralığı 150 mm'yi aşmamalıdır.

(b) Kuşatılmamış birleşimlerde, alttaki kolonun sarılma bölgesi için bulunan enine donatı miktarının en az %60'ı, birleşim bölgesi boyunca kullanılmalıdır. Ancak bu durumda, enine donatının çapı 8 mm'den az olmayacak ve aralığı 100 mm'yi aşmamalıdır.



Şekil 5-64 İki doğrultuda iç kuvvet etkisindeki birleşim bölgesi [9]

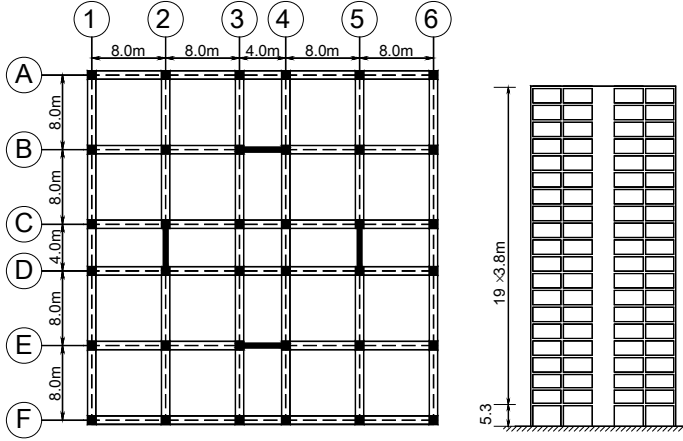
İki doğrultuda iç kuvvet etkisindeki birleşim bölgelerinde kesme açısından kritik düzlem oldukça karmaşıktır. Şekil 5-64'de birleşim bölgesi çekirdeğinin 6 kenarında oluşacak basınç gerilme blokları gösterilmektedir. Gerçekte karmaşık olan davranışı basitleştirmek amacıyla beton basınç çubuğunun yaklaşık köşegen doğrultusunda oluşacağı kabul edilebilir. Birleşim bölgesinde kesme donatısının yetersiz olması durumunda Şekil 5-64b'de gösterilen köşegen göçme yüzeyi oluşabilir. Alışılmalı kolları kolon yüzlerine paralel yatay etriye kullanılırsa her bir doğrultuda yalnızca bir kolu bu düzlemi kesecektir. Ek olarak düzlemi kesen kolların açısı 90°'den küçük olabileceğinden etkinliği azalmış şekilde kesme kuvvetini karşılayacaktır.

5.8.2. Süneklik Düzeyi Normal Çerçeve Sistemlerde Kolon-Kiriş Birleşim Bölgeleri

Süneklik düzeyi yüksek kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeve sistemlerinin kolon-kiriş birleşimleri ile ilgili olarak verilen kural ve koşullar, birleşim bölgelerinin kesme güvenliği kontrolü dışında, süneklik düzeyi normal olan sistemlerin kolon-kiriş birleşimleri için de geçerlidir.

Örnek 5-3

Şekilde gösterilen 20 katlı perde ve çerçevelerden oluşan sistemin hesabını yaparak tipik elemanların boyutlandırmasını yapınız.



Bina bilgileri:

Kat adedi: 20
 Kat yüksekliği: Zemin kat 5.3m, diğer katlar 3.8m
 Toplam bina yüksekliği: 77.50m
 Kullanım amacı: İşyeri/Ofis

Malzeme

Beton

C40 $f_{ck} = 40MPa$ $f_{ctk} = 0.35\sqrt{40} = 2.2MPa$ $E_c = 3250\sqrt{40} + 14000 \cong 34500MPa$

Donatı Çeliği

S420 $f_{yk} = 420MPa$ $E_s = 200000MPa$

Malzeme güvenlik katsayıları

Beton: $\gamma_{mc} = 1.5$ Donatı çeliği: $\gamma_{ms} = 1.15$

Yükler

Düşey Yükler

Beton birim hacim ağırlığı: $25 kN/m^3$

Sıva+Kaplama $1.50 kN/m^2$

Hareketli yük $3.50 kN/m^2$

Not: Merdiven ve asansör bölgesindeki sabit ve hareketli yüklerin döşemenin diğer bölgelerindeki sabit ve hareketli yüklere eşit olduğu varsayılmıştır.

Duvar yükleri: $7.5kN/m$

Deprem Hesabı Değişkenleri

Binanın 1. derece deprem bölgesinde bulunduğu ve etkin yer ivmesinin 0.40g olacağı kabul edilmiştir.

Deprem bölgesi: I

Etkin yer ivme katsayısı	$A_0=0.40$ (Deprem Yönetmeliği Tablo 2.2)
Yerel Zemin Sınıfı:	Z2 Zemin Karakteristik periyotları $TA=0.15s, TB=0.40s$
Bina önem katsayısı	İşyeri $I=1.0$ (Deprem Yönetmeliği Tablo 2.3)
Hareketli yük katılım katsayısı	$n=0.30$ (Deprem Yönetmeliği Tablo 2.7)

Deprem Hesabında Kullanılacak Yöntemin Seçimi

Bina 1. derece deprem bölgesinde bulunduğu ve yüksekliği $H_N \geq 40m$ olduğundan (Deprem Yönetmeliği Tablo 2.7) deprem hesabında kullanılacak yöntem olarak Mod Birleştirme Yöntemi seçilmiştir. Sözkonusu bina Deprem Yönetmeliği Tablo 2.1'de verilen planda ve düşey doğrultuda düzensizlikleri içermediğinden düzenli bir bina olarak kabul edilmektedir.

Mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan büyüklüklere ilişkin alt sınırı belirlemek için Eşdeğer deprem Yüğü yönteminde hesaplanan bina toplam deprem yükü de hesaplanacaktır.

Kat ağırlıklarının belirlenmesi

Yaklaşık olarak kat ağırlığının belirlenmesi gösterilmektedir. Bu değer bilgisayar çözümünden bulunacak değerlerin mertebesinin kontrolünde kullanılabilir. Hesaplamalarda SAP2000 programından elde edilen kat ağırlıkları esas alınmıştır.

$$\begin{aligned}
 g_i &\cong 36 \times 36 \times 0.15 \times 25 \dots \text{Döşeme kendi ağırlığı} \\
 &+ 2 \times (36 \times 6 - 2 \times 4) \times (0.80 - 0.15) \times 25 \dots \text{Kiriş kendi ağırlığı (döşeme altında kalan bölüm)} \\
 &+ 47.375 \times 3.8 \times 25 \dots \text{Kolon ve perdelerin ağırlığı} \\
 &+ 2 \times (4 \times 36 - 2 \times 4) \times 7.5 \dots \text{Duvar ağırlığı} \\
 &+ 36 \times 4 \times 1.52 \dots \text{Cephe ağırlığı} \\
 &= 4860 + 3380 + 4500 + 2040 + 218.9 = 14999.5kN \\
 q_i &\cong 36 \times 36 \times 3.5 = 4536kN
 \end{aligned}$$

Kat ağırlığı $w_i = g_i + nq_i$ (Deprem Yönetmeliği Denklem 2.6)

$$w_i = 14999.5 + 0.30 \cdot 4536 = 16360.3kN$$

Yaklaşık bina ağırlığı $W \cong 327206kN$ (Tüm düşey taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerinin değişmediği varsayımı altında)

Deprem yüklerinin hesabına esas olacak bina ağırlığı (SAP2000 programında hesaplanan değer)

$$W = \sum_{i=1}^{20} w_i = 325604kN \text{ olarak hesaplanmıştır. (Deprem Yönetmeliği Denklem 2.5)}$$

Tasarımda kullanılacak yük birleşimleri

Tasarıma esas olacak yük birleşimleri TS500 6.2.6'da verilmektedir. Buna göre yük birleşimleri Düşey yükler için

$$F_d = 1.4G + 1.6Q \quad (\text{TS500 Denklem 6.3})$$

Deprem söz konusu olduğu durumlar için

$$F_d = G + Q \mp E \quad (\text{TS500 Denklem 6.7})$$

$$F_d = 0.9G \mp E \quad (\text{TS500 Denklem 6.8})$$

şeklinde oluşturulmalıdır. Burada G sabit yükleri, Q hareketli yükleri ve E deprem yüklerini belirtmektedir. E yüklemesi olarak gösterilen deprem etkisi binaya x ve y doğrultularında etki eden depremlerin ortak etkisi ve ek dışmerkezlilik gözönüne alınarak belirlenmelidir.

Bu durumda yük birleşimleri

$$E_{xp}, E_{yp} : x \text{ ve } y \text{ doğrultularında } +\%5 \text{ Ek dışmerkezlilik}$$

$$E_{xn}, E_{yn} : x \text{ ve } y \text{ doğrultularında } -\%5 \text{ Ek dışmerkezlilik olmak üzere}$$

$1.4G + 1.6Q$ $G + Q \mp E_{xp} \pm 0.30E_{yp}$ 4 Adet Yük birleşimi $G + Q \mp E_{xp} \pm 0.30E_{yn}$ 4 Adet Yük birleşimi $G + Q \mp E_{xn} \pm 0.30E_{yp}$ 4 Adet Yük birleşimi $G + Q \mp E_{xn} \pm 0.30E_{yn}$ 4 Adet Yük birleşimi $0.9G \mp E_{xp} \pm 0.30E_{yp}$ 4 Adet Yük birleşimi $0.9G \mp E_{xp} \pm 0.30E_{yn}$ 4 Adet Yük birleşimi $0.9G \mp E_{xn} \pm 0.30E_{yp}$ 4 Adet Yük birleşimi $0.9G \mp E_{xn} \pm 0.30E_{yn}$ 4 Adet Yük birleşimi

olarak tanımlanacaktır.

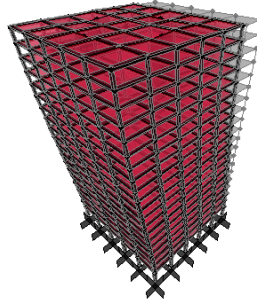
Tablo 5-3 Periyodun belirlenmesi

Kat	H_i	m_i	w_i	$w_i H_i$	F_{fi}	d_{fi}	$m_i d_{fi}^2$	$F_{fi} d_{fi}$
20	77.5	1283.212	12588.3	975594	74.65	0.004315	0.023892	0.32211
19	73.7	1587.011	15568.6	1147404	87.79	0.004222	0.028289	0.37065
18	69.9	1587.011	15568.6	1088243	83.27	0.004107	0.026769	0.34199
17	66.1	1587.011	15568.6	1029083	78.74	0.003966	0.024962	0.31228
16	62.3	1605.634	15751.3	981304	75.08	0.003798	0.023161	0.28515
15	58.5	1624.256	15934.0	932136	71.32	0.003618	0.021261	0.25804
14	54.7	1624.256	15934.0	871587	66.69	0.003417	0.018965	0.22788
13	50.9	1642.362	16111.6	820079	62.75	0.003198	0.016797	0.20067
12	47.1	1660.468	16289.2	767221	58.70	0.002972	0.014667	0.17446
11	43.3	1660.468	16289.2	705322	53.97	0.002732	0.012393	0.14745
10	39.5	1670.426	16386.9	647282	49.53	0.002478	0.010257	0.12274
9	35.7	1680.384	16484.6	588499	45.03	0.002219	0.008274	0.09992
8	31.9	1683.315	16513.3	526775	40.31	0.001951	0.006407	0.07864
7	28.1	1696.808	16645.7	467744	35.79	0.001677	0.004772	0.06002
6	24.3	1710.646	16781.4	407789	31.20	0.001405	0.003377	0.04384
5	20.5	1717.198	16845.7	345337	26.42	0.001134	0.002208	0.02996
4	16.7	1752.03	17187.4	287030	21.96	0.000868	0.001320	0.01906
3	12.9	1783.586	17497.0	225711	17.27	0.000619	0.000683	0.01069
2	9.1	1783.586	17497.0	159222	12.18	0.000384	0.000263	0.00468
1	5.3	1851.379	18162.0	96259	7.37	0.000178	0.000059	0.00131
		$\Sigma=$	325604.2	13069621	1000.		0.24878	3.11154

Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi

$$T_I = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (\text{Deprem Yönetmeliği Denklem 2.11})$$

bağıntısı kullanılarak yapının ilgili doğrultudaki doğal titreşim periyodu belirlenebilmektedir. Fiktif yük değerleri F_{fi} , eşdeğer deprem yükünün hesabında kullanılan $(V_I - \Delta F_N)$ yerine herhangi bir değer konularak hesaplanabilmektedir. Deprem yönetmeliğinde örnek olarak birim değer kullanılabileceği belirtilmekle birlikte sözkonusu bina için $(V_I - \Delta F_N) = 1000kN$ alınarak hesap yapılmıştır.



T=1.776s

$$T_I = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} = 2\pi \left(\frac{0.24878}{3.11154} \right)^{1/2} = 1.776s \text{ olarak hesaplanır.}$$

SAP2000 programı ile hesapta $T_I = 1.776s$ olarak hesaplanmaktadır. Sistem her iki doğrultuda simetrik olduğundan Y doğrultusundaki doğal titreşim periyodu da aynı değere sahip olmaktadır.

Deprem Yönetmeliği 2.7.4.2 maddesine göre $N > 13$ olan binalarda doğal titreşim periyodu $0.1N$ değerinden daha büyük alınmamalıdır.

$0.1N = 0.1 \cdot 20 = 2s > 1.776s$ olduğundan hesaplanan periyot değeri esas alınmıştır.

Eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi

Deprem etkileri altında hesap için mod birleştirme yöntemi kullanılmakla birlikte bu yöntemle elde edilen büyüklüklerin alt sınırını belirlemek için Eşdeğer Deprem Yükünün belirlenmesi gerekmektedir.

Söz konusu bina için

Etkin yer ivme katsayısı $A_0 = 0.40$

Bina önem katsayısı $I = 1.0$

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 7$ (Deprem Yönetmeliği Tablo 2.5) olarak seçilmiştir.

Not: Bu değerlerin kullanılabilmesi için boşluksuz perdelerin tabanında deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetleri toplamının binanın tümü için hesaplanan taban kesme kuvvetinin %75'inden az olması gerekmektedir. Hesaplama sonucu bunun gerçekleştiği kontrol edilecektir.

Yerel Zemin Sınıfı Z2

Spektrum karakteristik periyotları $T_A = 0.15s$, $T_B = 0.40s$

(Deprem Yönetmeliği Tablo 2.4)

$$W = 325604kN$$

$$T_{Ix} = 1.776s > T_B = 0.40s$$

$$S(T_{Ix}) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} = 2.5 \left(\frac{0.40}{1.776} \right)^{0.8} = 0.759 \quad (\text{Deprem Yönetmeliği Denklem 2.2})$$

$$R_a(T_{Ix}) = R = 7 \quad (T_A = 0.15s < T = 1.776s) \quad (\text{Deprem Yönetmeliği Denklem 2.3})$$

$$V_{tx} = W \frac{A_o IS(T_{Ix})}{R_a(T_{Ix})} = 325604 \frac{0.40 \cdot 1.0 \cdot 0.759}{7} = 14122kN$$

$$V_{tx} = 14122kN \geq 0.10 A_o IW$$

$$V_{tx} = 14122kN \geq 0.10 \cdot 0.40 \cdot 1.0 \cdot 325604 = 13024kN \quad (\text{Deprem Yönetmeliği Denklem 2.4})$$

Mod birleştirme Yöntemi ile elde edilecek toplam deprem yükünün alt sınırı Deprem Yönetmeliği 2.8.5 maddesi uyarınca $\beta = 0.80$ alınarak

$$V_{tx, \text{sınır}} = 0.80 \cdot 14122 = 11298kN$$

olarak belirlenir. Söz konusu binada A1, B2 veya B3 türü düzensizlikler bulunmamaktadır.

Mod birleştirme yönteminde taban kesme kuvveti 11852.3kN olarak elde edilmiştir.

Mod Birleştirme Yöntemi ile çözüm sistemin 3 boyutlu hesap modeli oluşturularak SAP2000 programı kullanılarak yapılmıştır. Ek dışmerkezliğin gözönüne alınması amacıyla mod birleştirme yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvveti katlara dağıtılarak ek dışmerkezlik sonucu oluşacak düşey eksen Z etrafındaki burulma momentleri belirlenmiş ve mod birleştirme yönteminde elde edilen değerler ile birleştirilmiştir.

Her katta rijit diyafram davranış özelliği oluşturulmuştur. Eleman uçlarında rijit bölgeler tanımlanmıştır. Böylece çözüm sonucunda mesnet yüzündeki iç kuvvet değerleri doğrudan elde edilebilmektedir.

Deprem Yönetmeliği 3.2.3 maddesine göre taşıyıcı sistem hesabında çatlama kesit rijitlikleri kullanılmıştır.

Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Boşluksuz Perdeli-Çerçevesi Sistemlere İlişkin Koşulların Kontrolü

Perdelerin tabanında deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin binanın tümü için tabanda oluşan kesme kuvvetine oranı doğal titreşim periyodunun hesabındaki yüklemdeki oran kullanılarak

$$\alpha_s = \frac{466}{1000} = 0.466 < 0.75$$

olarak hesaplanır.

Bu durumda Deprem Yönetmeliği 2.5.2.1 maddesine göre $R=7$ olarak kullanılabilir.

Komşu katlar arası rijitsizlik düzensizliği (Yumuşak Kat) kontrolü

Hiç bir kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölümü sınır değeri olan 2'den büyük olmadığından yumuşak kat düzensizliği bulunmamaktadır.

Tablo 5-4: Yumuşak kat düzensizliğinin belirlenmesi

Kat	h_i	$\Delta_{i,ort} (mm)$	$\Delta_{i,ort} / h_i$	$\frac{(\Delta_i / h_i)_{ort}}{(\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort}}$	$\frac{(\Delta_i / h_i)_{ort}}{(\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort}}$
20	3.8	0.00106	0.00028	---	0.81
19	3.8	0.00130	0.00034	1.23	0.83
18	3.8	0.00157	0.00041	1.21	0.86
17	3.8	0.00184	0.00048	1.17	0.94
16	3.8	0.00195	0.00051	1.06	0.91
15	3.8	0.00216	0.00057	1.10	0.92
14	3.8	0.00234	0.00062	1.09	0.98
13	3.8	0.00240	0.00063	1.02	0.94
12	3.8	0.00256	0.00067	1.06	0.95
11	3.8	0.00270	0.00071	1.06	0.97
10	3.8	0.00277	0.00073	1.03	0.96
9	3.8	0.00289	0.00076	1.04	0.97
8	3.8	0.00296	0.00078	1.03	0.99
7	3.8	0.00298	0.00078	1.01	0.99
6	3.8	0.00300	0.00079	1.01	1.00
5	3.8	0.00299	0.00079	1.00	1.06
4	3.8	0.00283	0.00075	0.95	1.04
3	3.8	0.00271	0.00071	0.96	1.12
2	3.8	0.00241	0.00064	0.89	1.60
1	5.3	0.00211	0.00040	0.63	---

Burulma düzensizliği kontrolü

Burulma düzensizliği değeri η_{bi} tüm katlarda sınır değer olan 1.2'den küçüktür. Sonuç olarak hiç bir katta burulma düzensizliği bulunmamaktadır.

Tablo 5-5: Burulma düzensizliğinin belirlenmesi

<i>Kat</i>	$d_{i,ma\ ks}$	$d_{i,min}$	$\Delta_{i,ma\ ks}$	$\Delta_{i,min}$	$\Delta_{i,ort}$	η_{bi}
20	0.0530	0.0407	0.001152	0.000937	0.001045	1.103
19	0.0518	0.0398	0.001431	0.001137	0.001284	1.114
18	0.0504	0.0386	0.001740	0.001359	0.001550	1.123
17	0.0487	0.0373	0.002044	0.001578	0.001811	1.129
16	0.0466	0.0357	0.002174	0.001679	0.001927	1.128
15	0.0445	0.0340	0.002406	0.001847	0.002127	1.131
14	0.0421	0.0322	0.002619	0.002001	0.002310	1.134
13	0.0394	0.0302	0.002676	0.002053	0.002365	1.132
12	0.0368	0.0281	0.002853	0.002184	0.002519	1.133
11	0.0339	0.0259	0.003013	0.002303	0.002658	1.134
10	0.0309	0.0236	0.003093	0.002368	0.002731	1.133
9	0.0278	0.0213	0.003222	0.002466	0.002844	1.133
8	0.0246	0.0188	0.003311	0.002531	0.002921	1.134
7	0.0213	0.0163	0.003326	0.002548	0.002937	1.132
6	0.0179	0.0137	0.003351	0.002567	0.002959	1.132
5	0.0146	0.0111	0.003338	0.002556	0.002947	1.133
4	0.0113	0.0086	0.003161	0.002425	0.002793	1.132
3	0.0081	0.0062	0.003027	0.002320	0.002674	1.132
2	0.0051	0.0038	0.002697	0.002059	0.002378	1.134
1	0.0024	0.0018	0.002367	0.001786	0.002077	1.140

Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Eşit yerdeğiştirme varsayımı uyarınca doğrusal olmayan davranış gösteren sistemde oluşacak yerdeğiştirmelerin ve bunlara bağılı olarak etkin görelî kat ötelemelerinin hesabı için azaltılmış deprem yükleri kullanılarak hesaplanan yerdeğiştirmelerin Taşıyıcı Sitem Davranış Katsayısı R ile çarpılarak artırılması gerekmektedir.

Bu şekilde her katta tüm düşey taşıyıcı elemanlarda etkin görelî kat ötelemeleri belirlenmiştir. İlgili katta etkin görelî kat ötelemelerin en büyük değerinin kat yüksekliğine oranının 0.02 değerinden küçük olması gerekmektedir.

Tablo 5-6'de ilgili büyüklük değerleri gösterilmektedir ve kontrol sağlandığından taşıyıcı sistemin yeterli rijitliğe sahip olduğu sonucuna varılmaktadır.

Tablo 5-6: Etkin Görelî Kat Ötelemelerinin belirlenmesi

Kat	$d_i(mm)$	$\Delta_i (mm)$	$\delta_i = R\Delta_i (mm)$	δ_i / h_i
20	53.00	1.15	8.07	0.0021
19	51.85	1.43	10.01	0.0026
18	50.42	1.74	12.18	0.0032
17	48.68	2.04	14.31	0.0038
16	46.63	2.17	15.21	0.0040
15	44.46	2.41	16.84	0.0044
14	42.05	2.62	18.33	0.0048
13	39.44	2.68	18.73	0.0049
12	36.76	2.85	19.97	0.0053
11	33.91	3.01	21.09	0.0056
10	30.89	3.09	21.65	0.0057
9	27.80	3.22	22.56	0.0059
8	24.58	3.31	23.18	0.0061
7	21.27	3.33	23.28	0.0061
6	17.94	3.35	23.46	0.0062
5	14.59	3.34	23.37	0.0061
4	11.25	3.16	22.13	0.0058
3	8.09	3.03	21.19	0.0056
2	5.06	2.70	18.87	0.0050
1	2.37	2.37	16.57	0.0031

$$\frac{(\delta_i)_{max}}{h_i} = 0.0062 < 0.02$$

Etkin kat ötelemelerinin en büyük değeri Deprem Yönetmeliği Denklem 2.19 koşulunu sağlamaktadır.

İkinci Mertebe Etkilerinin Kontrolü

Eksenel kuvvetlerin şekildeğiştirmiş sistem üzerinde oluşturduğu ek etkileri gözönüne alan ve taşıyıcı sistemde geometri bakımından doğrusal olmayan davranışa neden olan ikinci mertebe etkileri, İkinci Mertebe Gösterge Değeri θ_i kullanılarak değerdendirilmektedir. Aşağıda verilen koşulun sağlanması durumunda, ikinci mertebe etkileri yürürlükteki betonarme yönetmeliklerine göre değerdendirilecektir.

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

$$\theta_{i,maks} = 0.0177 \leq 0.12$$

Koşul sağlandığı için ikinci mertebe etkileri yürürlükteki betonarme yönetmeliklerine göre değerdendirilmektedir.

Tablo 5-7 İkinci mertebe gösterge değerinin belirlenmesi

Kat	$d_i(mm)$	$\Delta_i(mm)$	$W_i(kN)$	$\sum_{j=i}^N w_j$	$F_i(kN)$	$V_i(kN)$	$h_i(m)$	θ_i
20	46.85	1.04	12588.3	12588.3	884.77	884.77	3.8	0.0039
19	45.81	1.28	15568.6	28156.9	1040.51	1925.28	3.8	0.0049
18	44.52	1.55	15568.6	43725.5	986.94	2912.22	3.8	0.0061
17	42.97	1.81	15568.6	59294.0	933.25	3845.47	3.8	0.0073
16	41.16	1.93	15751.3	75045.3	889.87	4735.34	3.8	0.0080
15	39.24	2.13	15934.0	90979.3	845.31	5580.65	3.8	0.0091
14	37.11	2.31	15934.0	106913.2	790.43	6371.08	3.8	0.0102
13	34.80	2.36	16111.6	123024.8	743.73	7114.81	3.8	0.0108
12	32.44	2.52	16289.2	139314.0	695.73	7810.54	3.8	0.0118
11	29.92	2.66	16289.2	155603.2	639.67	8450.21	3.8	0.0129
10	27.26	2.73	16386.9	171990.0	587.04	9037.25	3.8	0.0137
9	24.53	2.84	16484.6	188474.6	533.71	9570.96	3.8	0.0147
8	21.68	2.92	16513.3	204987.9	477.77	10048.73	3.8	0.0157
7	18.76	2.94	16645.7	221633.6	424.19	10472.92	3.8	0.0164
6	15.83	2.96	16781.4	238415.0	369.79	10842.71	3.8	0.0171
5	12.87	2.95	16845.7	255260.8	313.14	11155.85	3.8	0.0177
4	9.92	2.79	17187.4	272448.2	260.28	11416.13	3.8	0.0175
3	7.13	2.67	17497.0	289945.2	204.69	11620.82	3.8	0.0176
2	4.45	2.38	17497.0	307442.1	144.36	11765.18	3.8	0.0163
1	2.08	2.08	18162.0	325604.2	87.35	11852.53	5.3	0.0108

Kirişlerin Boyutlandırılması

Perde ve çerçeve sistemin etkileşiminden dolayı bina yüksekliğinin orta bölgelerine yakın yerlerdeki kirişlerde daha büyük iç kuvvetler oluşmaktadır. Bu elemanlardan K720 ve K721 kirişlerini hesabı açıklanacaktır.

K720 kirişi

Kesit özellikleri: b/bw/h/t:1780mm/500mm/800mm/150mm $d'=40mm$

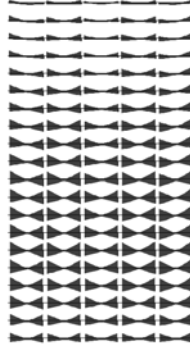
En kesit koşullarının kontrolü

Tasarım eksenel basınç kuvveti aşağıdaki koşulu sağlamalıdır.

$$N_d \leq 0.1 f_{ck} A_c \quad (\text{TS500 Denklem 7.2}) \quad (\text{Deprem Yönetmeliği 3.4.1.2 Maddesi})$$

$$A_c = 500 \cdot 800 = 400000 mm^2$$

$$0.1 f_{ck} A_c = 0.1 \cdot 40 \cdot 400000 = 1600000 N = 1600 kN > 0 kN$$



Şekil 5-65 Kiriş eğilme momenti diyagramlarının yükseklik boyunca değişimi (A Aksı)

$$b_w \geq 250mm \quad (\text{Deprem Yönetmeliği 3.4.1.1})$$

$$b_w = 500mm \geq 250mm$$

$$b_w \leq h + a \quad (\text{Deprem Yönetmeliği 3.4.1.1})$$

$$b_w = 500 \leq 800 + 850 = 1650mm$$

$$h \geq 300mm; 3t \quad (\text{TS500 Şekil 7.1}) \quad (\text{Deprem Yönetmeliği 3.4.1.1})$$

$$h = 800mm > 300mm; 3 \cdot 150 = 450mm \quad h \leq 3.5b_w \quad (\text{Deprem Yönetmeliği 3.4.1.1})$$

$$h = 800mm \leq 3.5 \cdot 600 = 2100mm$$

$$h \leq \ell_n / 4 \quad (\text{Deprem Yönetmeliği 3.4.1.1})$$

$$h = 800mm \leq (8000 - 900) / 4 = 1775mm$$

Boyuna donatı koşulları

$$A_{s,min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d \quad (\text{TS500 Denklem 7.3}) \quad (\text{Deprem Yönetmeliği Denklem 3.8})$$

$$A_{s,min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} b_w d = 0.8 \frac{1.5}{365} 500 \cdot 760 = 1250mm^2$$

$$A_{s,maks} = 0.02b_w d \quad (\text{TS500 Denklem 7.5})$$

$$A_{s,maks} = 0.02b_w d = 0.02 \cdot 500 \cdot 760 = 7600mm^2$$

$$A_s - A'_s = A_{s,maks} = 0.85 A_{sb}$$

$h > 600mm$ olduğundan gövde donatısı kullanılacaktır.

$$A_{s,gövde} = 0.001b_w d = 0.001 \cdot 500 \cdot 760 = 380mm^2$$

Seçilen gövde donatısı $2\phi 16$ ($402mm^2$)

Kiriş boyunca en az 2 adet donatı sürekli olmalıdır.

$$\ell_b = 0.12\phi \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \geq 20\phi$$

$$\ell_b = 0.12 \cdot 26 \frac{365}{1.5} = 760mm \geq 20\phi = 520mm \quad \text{Seçilen } \ell_b = 800mm$$

Bindirmeli ek boyunun belirlenmesi

$$\ell_o = \alpha_l \ell_b$$

$$\alpha_l = 1 + 0.5r$$

Kesitte eklenen donatının toplam donatıya oranı $r = 1$ alınarak $\alpha_l = 1.5$ olarak hesaplanır.

Aderansın daha zayıf olduğu Konum I'de bindirme boyu %40 artırılmalıdır. Kiriş üst donatıları Konum I'de olduklarından dolayı bindirme boyu

$$\ell_o = 1.4 \cdot (1.5 \cdot 760) = 1596 \text{ mm} \cong 1600 \text{ mm}$$

olarak hesaplanır.

Sargı donatısının bulunması aderansı olumlu yönde etkilediğinden bindirmeli eklerde bindirme boyunca sargı donatısı bulundurulacaktır. Sargı donatısının çapı en az eklenen donatı çapının 1/3'ü veya 8mm olmalıdır. Bir bindirme eki boyunca en az 6 sargı donatısı bulundurulmalı ve aralığı eleman yüksekliğinin 1/4'ünden (800mm/4=200mm)ve 200mm'den fazla olmamalıdır.

Seçilen sargı donatısı çapı ve aralığı: $\phi 10/200\text{mm}$.

Kesme Hesabı

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj}) / \ell_n$$

$$M_{pi} \cong 1.4 M_{ri}$$

$$M_{pj} \cong 1.4 M_{rj}$$

Kiriş taşıma gücü momentinin (M_{ri}) belirlenmesi

Örnek olmak üzere K720 kirişinin sol uç kesitinin negatif taşıma gücü momenti hesabının açıklaması verilmektedir.

Çekme donatısı alanı $4\phi 24 + 3\phi 26$ (3402mm^2)

Basınç donatısı alanı $4\phi 24$ (1810mm^2)

Basınç bölgesi genişliği 500mm

$d=760\text{mm}$

Basınç donatısının akmadığı kabul edilirse, gövde donatısının aktığı kabul edilirse

$$\sigma'_s = E_s \epsilon'_s \leq f_{yd}$$

$$\sigma_{s, \text{gövde}} = f_{yd}$$

$$\epsilon'_s = 0.003 \frac{(c - d')}{c}$$

$$\epsilon_{s, \text{gövde}} = 0.003 \frac{(h / 2 - c)}{c}$$

$$F_c = 0.85 f_{cd} b_w k_1 c$$

$$F_c = 0.85 \cdot 26.7 \cdot 500 \cdot 0.76 c = 8624.1c$$

$$F'_s = \sigma'_s A'_s = \epsilon'_s E_s A'_s$$

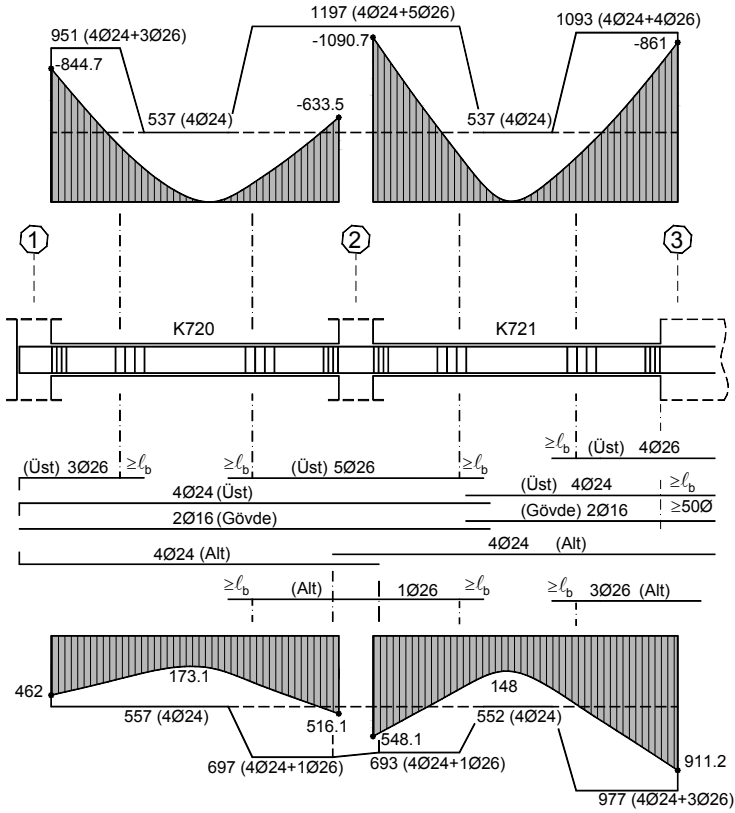
$$F_{s, \text{gövde}} = A_{s, \text{gövde}} f_{yd}$$

$$F_{s, \text{gövde}} = 402 \cdot 365 = 146730 \text{ N}$$

$$F'_s = 0.003 \cdot \frac{(c - 40)}{c} 200000 \cdot 1810 = 1086000 \frac{(c - 40)}{c}$$

$$F_s = A_s f_{yd} = 3402 \cdot 365 = 1241730 \text{ N}$$

$F_c + F'_s = F_s + F_{s, \text{gövde}}$ denkleminde $c=90.64\text{mm}$ olarak hesaplanır.



Şekil 5-66

Varsayımın geçerliliğinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

$$\varepsilon'_s = 0.003 \frac{(c - d')}{c} = 0.003 \frac{(90.64 - 40)}{90.64} = 0.00167 < \varepsilon_{yd} = 0.001825$$

Basınç donatısı akmadığından varsayım geçerlidir.

$$\varepsilon_{s, \text{gövde}} = 0.003 \frac{400 - 90.64}{90.64} = 0.0102 > 0.001825$$

Gövde donatısının aktığı kabulü geçerlidir.

$$\varepsilon_s = 0.003 \frac{(d - c)}{c} = 0.003 \frac{(760 - 90.64)}{90.64} = 0.022 > \varepsilon_{yd} = 0.001825$$

Çekme donatısı akmıştır.

$$M = F_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + F'_s (d - d') - F_{s, \text{gövde}} \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

$$M = \left[781707 \left(760 - \frac{68.89}{2} \right) + 606753 (760 - 40) - 146730 (400 - 40) \right] \cdot 10^{-6} = 951.2 \text{ kNm}$$

K720 kirişinin mesnet yüzünde düşey yüklerden (G+Q) yüklemesi altında hesaplanan basit kiriş kesme kuvveti değeri $V_{dy} = 139kN$ olarak hesaplanmıştır.

$$M_{pi}^+ \cong 1.4M_{ri}^+ = 1.4 \cdot 557 = 779.8kNm$$

$$M_{pi}^- \cong 1.4M_{ri}^- = 1.4 \cdot 951 = 1331.4kNm$$

$$M_{pj}^+ \cong 1.4M_{rj}^+ = 1.4 \cdot 697 = 975.8kNm$$

$$M_{pj}^- \cong 1.4M_{rj}^- = 1.4 \cdot 1197 = 1675.8kNm$$

$$V_{e1} = V_{dy} + (M_{pi}^+ + M_{pj}^-) / \ell_n = 139 + (779.8 + 1675.8) / (8 - 0.9) = 484.9kN$$

$$V_{e2} = V_{dy} + (M_{pi}^- + M_{pj}^+) / \ell_n = 139 + (1331.4 + 975.8) / (8 - 0.9) = 463.9kN$$

Kiriş enine donatı hesabında gözönüne alınacak kesme kuvveti

$$V_e = \max(V_{e1}, V_{e2}) = 484.9kN$$

olarak belirlenir.

Tasarım kesme kuvvetinin oluşturabileceği asal basınç gerilmelerinin betonda ezilmeye neden olmaması için aşağıdaki koşulun sağlanması gerekmektedir.

$$V_e \leq 0.22b_wdf_{cd} \quad (\text{Deprem Yönetmeliği Denklem 3.10})$$

$$V_e = 484.9kN \leq 0.22 \cdot 0.5 \cdot 0.76 \cdot (40000 / 1.5) = 2232.2kN$$

Sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvveti $V_E = 157.4kN$

Depremli durumdaki toplam kesme kuvveti $V_d = 327kN$

$$V_E = 157.4kN < \frac{V_d}{2} = 163.5kN \quad \text{olduğundan Deprem Yönetmeliği 3.4.5.3'e göre betonun kesme}$$

dayanımına katkısı gözönüne alınabilmektedir. Ancak çeşitli araştırmalarda plastikleşen bölgelerde betonun katkısının süneklik düzeyi arttıkça düştüğü ve yerdeğiştirme sünekliğinin 4'ten büyük olduğu durumlarda (süneklik düzeyi yüksek sistemlerde bu durumun ortaya çıkması beklenir) betonun katkısının 0 olarak alınması gerektiği belirtilmektedir. Bu nedenle bu örnekte de $V_c = 0$ alınacaktır.

$$V_{cr} = 0.65f_{ctd}b_wd \left(1 + \gamma \frac{N_d}{A_c} \right)$$

$$V_{cr} = 0.65 \cdot \frac{1500}{1.5} \cdot 0.5 \cdot 0.76 = 364.5kN$$

$$V_w = \frac{nA_o}{s} f_{ywd}d$$

Çerçeve kirişlerinin uçlarında, kiriş yüksekliğinin iki katı kadar olan bölgede, etriye aralığı aşağıdaki koşulları sağlamalıdır:

$$s \leq d/4 = 190mm$$

$$s \leq 8\phi_\ell = 176mm$$

$$s \leq 150mm$$

4 kollu $\phi 10/100mm$ etriye seçilirse taşınabilecek kesme kuvveti değeri

$$V_w = \frac{nA_o}{s} f_{ywd}d$$

$$V_w = \frac{4 \cdot 79}{100} 365 \cdot 760 \cdot 10^{-3} = 876kN > 484.9kN$$

olarak hesaplanmakta ve seçilen donatının uygun olduğu görülmektedir.

Seçilen etriyenin minimum etriyeden az olmaması gerekmektedir.

Minimum Kesme Donatısı

$$\frac{nA_o}{s} \geq 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w \quad \frac{4 \cdot 79}{100} = 3.16 \text{ mm}^2 / \text{mm} \geq 0.3 \frac{1.5}{365} 600 = 0.74 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

Etriye aralığı kiriş faydalı yüksekliğinin yarısından fazla olmamalıdır ($s \leq d/2 = 380 \text{ mm}$).

İlk etriye mesnet yüzünden 50mm uzaklıktan başlatılacaktır. Etriye aralığı 100mm olduğundan ($2h = 1600 \text{ mm}$) 1650mm uzunluğundaki sarılma bölgesinde 17 adet deprem etriyesi kullanılacaktır.

Bu bölgenin bitiminde kesme kuvveti değeri $V_d = 286 \text{ kN}$

Minimum etriye ile taşınabilecek kesme kuvveti

$$\frac{4 \cdot 79}{100} = 3.16 \text{ mm}^2 / \text{mm} \geq 0.3 \frac{1.5}{365} 600 = 0.74 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

$$\frac{nA_o}{s} \geq 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w$$

$$V_{w,\min} = \left(\frac{nA_o}{s} \right)_{\min} f_{ywd} d = 0.3 \frac{f_{ctd}}{f_{ywd}} b_w f_{ywd} d = 0.074 \cdot 365 \cdot 760 \cdot 10^{-3} = 205.3 \text{ kN}$$

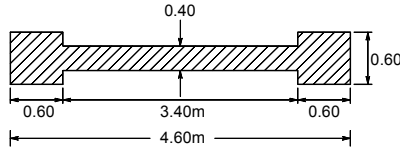
4 kollu $\phi 10/200 \text{ mm}$ etriye seçilirse

$$V_w = \frac{4 \cdot 79}{200} 365 \cdot 760 \cdot 10^{-3} = 438 \text{ kN}$$

Perde Hesabı

Perdenin tabandaki kesiti Şekil 5-67'da gösterilmektedir. Bu perdenin taban kesitinde hesap sonucu

$M_d = 22749 \text{ kNm}$, $N_d = 20573 \text{ kN}$, $V_d = 3064 \text{ kN}$ iç kuvvetleri elde edilmiştir. $R_a = 2$ alınarak hesaplanan kesme kuvveti $V_d = 10724 \text{ kN}$ 'dur.



Şekil 5-67 Perde kesiti

Perde kesitinin ucunda genişletilmiş bir kesit düzenlendiğinden; alanı dikdörtgen kesit için elde edilen alandan küçük olmayacak şekilde perde uç bölgesi belirlenecektir.

Uç bölgesi uzunluğu dikdörtgen kesitli perde için

$$\ell_u \geq \max(2b_w; 0.2\ell_w)$$

$$\ell_u \geq \max(2 \cdot 0.4 = 0.8 \text{ m}; 0.2 \cdot 4.60 = 0.92 \text{ m})$$

$$\ell_u = 0.92 \text{ m}$$

olarak belirlenir.

Uç bölgesi alanı

$$b_w \cdot \ell_u = 0.4 \cdot 0.92 = 0.37 \text{ m}^2$$

Genişletilmiş kesitin alanı $0.6 \cdot 0.6 = 0.36 \text{ m}^2 \cong 0.37 \text{ m}^2$ olduğundan perde uçlarındaki genişletilmiş kesit, uç bölgesi olarak gözönüne alınacaktır. Öncelikle bu bölgeye yönetmelikte verilen donatı koşullarını sağlayan donatı yerleşimi yapılacak ve daha sonra bu donatının uygunluğu araştırılacaktır.

Kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerinin her birinde düşey donatı toplam alanının perde brüt kesit enkesit alanına oranı $0.002'$ den az olmamalıdır.

$$\text{Perde brüt en kesit alanı} \quad 2 \cdot 0.60 \cdot 0.60 + 0.4 \cdot (4.60 - 2 \cdot 0.60) = 2.08m^2$$

Perde uç bölgelerinin her birinde bulunması gerekli minimum düşey donatı alanı

$$0.002 \cdot 2.08 \cdot 10^6 = 4160mm^2 \quad \text{Seçilen donatı } 16\phi 22 (6082mm^2)$$

Uç bölgesinde enine donatı çapı $12mm$ olarak seçilmiştir (minimum $8mm$). Kullanılan etriye ve çirozların arasındaki uzaklık seçilen etriye ve çiroz çapının 25 katından fazla olmamalıdır. ($a \leq 25\phi_{etr}$).

Perde uç bölgesinde kritik perde yüksekliği boyunca

$$A_{sh} \geq \frac{2}{3} \underbrace{\left(0.075sb_k \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \right)}_{\text{Kolon sarılma bölgesi için koşul}} = 0.05sb_k \frac{f_{ck}}{f_{ywk}}$$

koşulunu sağlamalıdır.

Düşey doğrultuda etriye veya çiroz aralığı perde kalınlığının yarısından ve $100mm$ 'den daha fazla, $50mm$ 'den daha az olmamalıdır ($50mm \leq s \leq 100mm$). Bu koşula uygun olarak aralık $s=100mm$ olarak seçilmiştir. Tüm etriye kollarının ve çirozların kesit alanı

$$A_{sh} = 5 \cdot 113 = 565mm^2$$

olarak belirlenir.

$$A_{sh} = 5 \cdot 113 = 565mm^2 \geq 0.05 \cdot 100 \cdot (600 - (40 + 40 + 12)) \frac{40}{420} = 242mm^2$$

DBYBHY 3.6.4 maddesinde gövde yatay donatılarının etriyelerle sarılı perde uç bölgesinin sonuna 90° kıvrılarak karşı yüzde köşedeki düşey donatıya 135° lik kanca ile bağlanması veya 90° kıvrım yapılmaksızın bitirilmesi durumunda perdenin her iki ucuna gövde donatısı ile aynı çapta olan \supset biçiminde yatay donatılar yerleştirilmesi öngörülmektedir. Bu tür detaylandırma yapıldığında yatay gövde donatılarının kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgesine konulacak sarğı donatısının belirlenmesinde hesaba katılabileceği belirtilmektedir. Bu örnekteki detaylandırma gereği, gövde donatıları uç bölgesi sarğı donatısı hesabına katılmamıştır.

Gövde donatısı için gerekli kenetlenme boyu perde uç bölgesi uzunluğundan küçük olduğundan bu donatılar kenetlenme boyundan daha büyük bir uzunluk seçilerek ($500mm$) perde uç bölgesi içine uzatılacaktır.

$$\ell_b = 1.4 \cdot 0.12\phi \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} = 1.4 \cdot 0.12 \cdot 12 \frac{365}{1.5} = 491mm$$

Kullanılan detaylandırma türüne göre perde uç bölgelerindeki enine donatının birim boydaki toplam alanı perde gövdesindeki yatay donatı alanının birim boydaki toplam alanından az olmamalıdır.

$$\frac{\sum A_{o,uç}}{s} \geq \frac{\sum A_{o,gövde}}{s}$$

Perdenin her iki yüzündeki gövde donatılarının toplam en kesit alanı, düşey ve yatay donatıların her biri için perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt enkesit alanının $0.0025'$ inden az olmamalıdır. Bu donatıların aralığı $250mm$ 'den fazla olmamalıdır.

$$A_{s,gövde düşey} \geq 0.0025 \cdot b_w \cdot \ell_{gövde} = 0.0025 \cdot 400 \cdot 3400 = 3400mm^2$$

Seçilen donatı $44\phi 18/150mm$ ($11196mm^2$)

$H_w / \ell_w > 2.0$ olan perdede enine donatı hesabında esas alınacak tasarım kesme kuvveti

$$V_e = \beta_v \frac{(M_p)_L}{(M_d)_t} V_d$$

bağıntısı ile belirlenmektedir. Söz konusu bina perde ve çerçeve sistemin birleşiminden oluştuğundan kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı $\beta_v = 1.5$ olarak alınmalıdır.

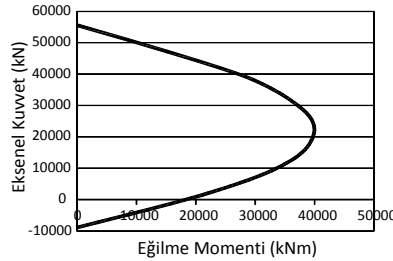
Bu bağıntıda $(M_d)_t$ perdenin taban kesitinde yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında bulunan hesap momenti, $(M_p)_t$ perdenin taban kesitinde f_{ck} , f_{yk} ve çeliğin pekleşmesi gözönüne alınarak hesaplanan moment kapasitesidir. $(M_p)_t$ 'nin belirlenmesinde donatı çeliği için kullanılan gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları bu özellikleri içerecek şekilde oluşturulmalıdır. Daha kesin hesap yapılmadıkça $(M_p)_t \cong 1.25(M_r)_t$ alınabilir. $(M_r)_t$ perdenin taban kesitinde f_{cd} , f_{yd} kullanılarak hesaplanan momenttir.

$(M_r)_t = 39300kNm$ olarak hesaplanmaktadır.

$$(M_p)_t = 1.25 \cdot 39300 = 49125kNm$$

Düşey yükler ile birlikte $R_a = 2$ alınarak hesaplanan kesme kuvvetinin V_e 'den küçük olması durumunda tasarım kesme kuvveti olarak hesaplanan kesme kuvveti kullanılmalıdır.

Seçilen donatılar esas alınarak kesitin karşılıklı etki diyagramı (M-N) oluşturulduğunda Şekil 5-56 $N=20573kN$ için taban kesitinde moment kapasitesi $(M_p)_t$ $49125kNm$ olarak belirlenmektedir.



Şekil 5-68 Perde karşılıklı etki diyagramı

Tasarıma esas kesme kuvveti

$$V_e = 1.5 \cdot \frac{49125}{22749} \cdot 3064 = 6617kN$$

olarak belirlenmiştir. $R_a = 2$ alınarak hesaplanan kesme kuvveti V_e 'den büyük olduğundan hesaplarda $V_e = 6617kN$ değeri kullanılacaktır.

Perdenin her iki yüzündeki gövde donatılarının toplam enkesit alanı, düşey ve yatay donatıların her biri için, perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt enkesit alanının 0.0025 'inden az olmamalıdır.

$$\frac{A_{s,gövde yatay}}{s \cdot b_w} \geq 0.0025$$

2 kollu $\phi 16$ donatı $150mm$ ara ile yerleştirilecek olursa

$$\frac{2 \cdot 201}{150 \cdot 400} = 0.0067 > 0.0025$$

Perde kesitinin kesme dayanımı

$$V_r = A_{ch}(0.65 f_{ctd} + \rho_{sh} f_{yvd})$$

$$A_{ch} = 2 \cdot 0.6 \cdot 0.6 + 0.4 \cdot 3.4 = 2.08 m^2$$

$$V_r = 2.08 \cdot (0.65 \cdot 1.5 + 0.0067 \cdot 365) \cdot 10^3 = 7116 kN$$

$$V_r = 7116 kN > V_e = 6616 kN$$

$$V_e = 6616 kN \leq 0.22 \cdot 2.08 \cdot 26667 = 12203 kN$$

kesme güvenliği sağlanmaktadır.

Sürtünme kesmesi kontrolü

$$2 \times 16\phi 22 + 44\phi 18 = 2 \cdot 6082 + 11196 = 23360 mm^2$$

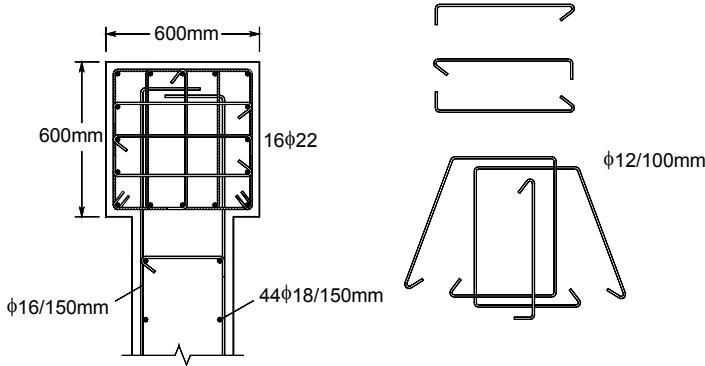
Sürtünme kesmesinin bulunduğu düzlemde bulunan basınç eksenel kuvvetinin olumlu katkısı sürtünme kesmesi güvenliğinin kontrolünde gözönüne alınacaktır. Tüm yük birleşimlerindeki en düşük kalıcı basınç eksenel kuvvet değeri 13774 kN olarak belirlenmiştir.

$$V_{r,sürtünme\ kesmesi} = (A_{vf} f_{yd} + N) \mu$$

$$V_{r,sürtünme\ kesmesi} = (23360 \cdot 365 \cdot 10^{-3} + 13774) \cdot 0.6 = 13380 kN$$

$$V_{r,sürtünme\ kesmesi} \leq 0.2 f_{cd} A_c = 0.2 \cdot 2.08 \cdot 25000 = 10400 kN > V_e = 6616 kN$$

Sürtünme kesmesi güvenliği sağlanmaktadır.



Şekil 5-69 Perde donatısı

Kolonların hesabı

Örnek olmak üzere 900mmx900mm boyutundaki S720 kolonunun hesabı yapılacaktır.

$$N_{d\max} = 8199 kN \quad (G+Q+EXP+0.3EYP \text{ yüklemesinde})$$

$$A_c \geq \frac{N_{d\max}}{0.5 f_{ck}}$$

$$A_c = 900 \cdot 900 = 810000 \geq \frac{8199000}{0.5 \cdot 40} = 409950 mm^2$$

$$e_{\min} = 15 mm + 0.03h$$

$$e_{\min} = 15 mm + 0.03 \cdot 900 = 42 mm$$

$$M_{x,\min} = M_{y,\min} = N_d e_{\min} = 8199 \cdot 0.042 = 344.4 kNm$$

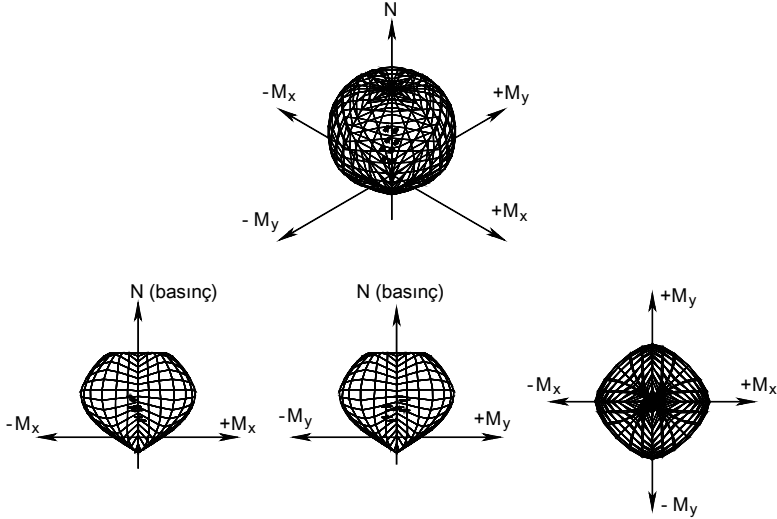
$$N_d = 4034 kN \quad M_x = 474 kNm \quad M_y = 175.3 kNm$$

$$N_d = 4034kN \quad M_{x,min} = 169.4kNm \quad M_{y,min} = 169.4kNm$$

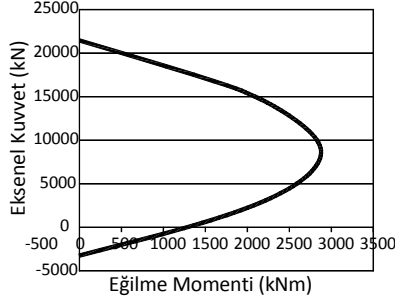
$$A_{s,min} = 0.01 \cdot 900 \cdot 900 = 8100mm^2$$

$$16\phi 26 \quad (8495mm^2)$$

Seçilen donatı ile Eksenel kuvvet-Eğilme Momentleri etkileşim yüzeyi oluşturulmuş ve tüm yük birleşimindeki iç kuvvetlerin bu yüzeyin içerisinde kaldığı, dolayısıyla seçilen donatının yeterli olduğu görülmüştür.



Şekil 5-70 Kolon N - M_x - M_y etkileşim yüzeyi



Şekil 5-71 Kolon M - N etkileşim diyagramı

Benzer işlem 85x85 kolon içinde yapılmış ve boyuna donatı olarak $16\phi 24$ ($7238mm^2$) donatı seçilmiştir.

Kolonların kirişlerden güçlü olma koşulunun kontrolü

$$(M_{ra} + M_{r\ddot{u}}) \geq 1.2(M_{ri} + M_{rj})$$

Kolon taşıma gücü momentlerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak bu momentleri en küçük yapan N_d eksenel kuvvetleri gözönüne alınmıştır.

S719 için $M_{r\ddot{u}} = 2338kNm$ ($N_d = 3472kN$)

S819 için $M_{ra} = 2113 \text{ kNm}$ ($N_d = 3251 \text{ kN}$)

$$M_{ri} = 951 \text{ kNm}$$

$$M_{ra} + M_{ri} = 2113 + 2338 = 4451 \text{ kNm} \geq 1.2 \cdot 951 = 1141.2 \text{ kNm}$$

olarak belirlenmiştir.

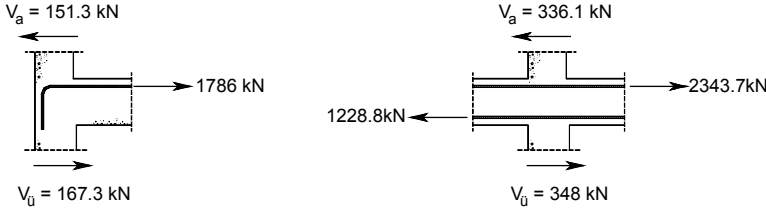
S720 için $M_{ri} = 2489 \text{ kNm}$ ($N_d = 11036 \text{ kN}$)

S820 için $M_{ra} = 2927 \text{ kNm}$ ($N_d = 12035 \text{ kN}$)

olarak belirlenmiştir.

$$M_{ra} + M_{ri} = 2489 + 2927 = 5416 \text{ kNm} \geq 1.2 \cdot (1197 + 697) = 2272.8 \text{ kNm}$$

Birleşim bölgesi kesme güvenliği kontrolü



Şekil 5-72 Kolon-kiriş birleşim bölgesi hesabına esas etkiler

Söz konusu birleşimde yalnızca bir tarafta kırış bulunduğundan birleşim kuşatılmamış birleşimdir.

$$V_e = 1.25 f_{yk} A_{s1} - V_{kol}$$

$$1.25 f_{yk} A_{s1} = 1.25 \cdot 420 \cdot 3402 \cdot 10^{-3} = 1786.2 \text{ kN}$$

$$V_e = 1786.2 - 151.3 = 1634.9 \text{ kN}$$

$$V_{emax} = 0.45 f_{cd} b_j h_c = 0.45 \cdot 26.7 \cdot 500 \cdot 850 \cdot 10^{-3} = 5100.6 \text{ kN}$$

$b_w = 500 \text{ mm} \leq 3/4(b_{kolon}) = 675 \text{ mm}$ olduğu için söz konusu birleşim kuşatılmamış birleşimdir.

$$V_e = 1.25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol}$$

$$1.25 f_{yk} A_{s1} = 1.25 \cdot 420 \cdot 4464 = 2343707 \text{ N} = 2343.7 \text{ kN}$$

$$1.25 f_{yk} A_{s2} = 1.25 \cdot 420 \cdot 2341 = 1228755 \text{ N} = 1228.8 \text{ kN}$$

$$V_e = 2343.7 + 1228.8 - 336.1 = 3236.4 \text{ kN}$$

$$V_{emax} = 0.60 f_{cd} b_j h_c = 0.60 \cdot 26.7 \cdot 500 \cdot 850 \cdot 10^{-3} = 6800.9 \text{ kN}$$

Kolon kesme kuvveti Hesabı

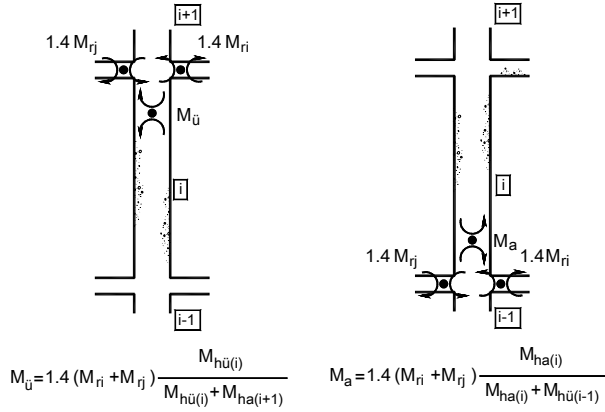
Kolonlar kirişlerden güçlü olduğu için kolon alt ve üst uç momentleri (M_a, M_{ii}) kiriş moment kapasitelerinin kolonlara paylaşılması ile belirlenmektedir.

S719 kolonu tasarım kesme kuvvetinin belirlenmesi

$$\Sigma M_p = M_{pi}^- = 1331.4 \text{ kNm}$$

$$M_{ii} = 1331.4 \frac{316.7}{316.7 + 304.5} = 678.8 \text{ kNm}$$

$$M_a = 1331.4 \frac{304.6}{304.6 + 345.4} = 623.9 \text{ kNm}$$



Şekil 5-73 Kolon alt ve üst uç momentlerinin belirlenmesi

$$V_e = \frac{M_u + M_a}{\ell_n}$$

$$V_e = \frac{678.8 + 623.9}{3.8 - 0.8} = 434.2 \text{ kN}$$

$$V_w = \frac{nA_o}{s} f_{ywd} d$$

5 kollu $\phi 10/100\text{mm}$ sargı donatısı seçilirse

$$V_w = \frac{nA_o}{s} f_{ywd} d$$

$$V_w = \frac{5 \cdot 79}{100} 365 \cdot 860 \cdot 10^{-3} = 1240 \text{ kN} > 434.2 \text{ kN}$$

S720 kolonu tasarım kesme kuvvetinin belirlenmesi

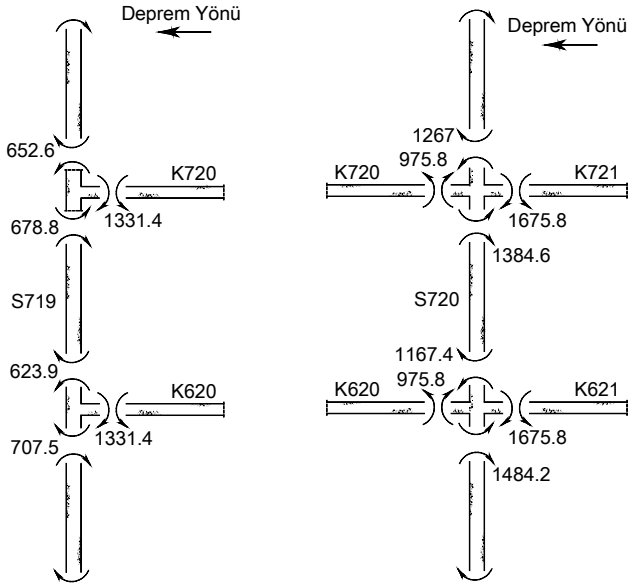
$$\Sigma M_p = M_{pi}^+ + M_{pi}^- = 975.8 + 1675.8 = 2651.6 \text{ kNm}$$

$$M_u = 2651.6 \frac{745.5}{745.5 + 682.2} = 1384.6 \text{ kNm}$$

$$M_a = 2651.6 \frac{680.8}{680.8 + 865.5} = 1167.4 \text{ kNm}$$

$$V_e = \frac{M_u + M_a}{\ell_n}$$

$$V_e = \frac{1384.6 + 1167.4}{3.8 - 0.8} = 850.7 \text{ kN}$$



Şekil 5-74 Kolon kesme kuvvetinin belirlenmesine esas olan uç momentleri

Sarıma bölgelerinin her birinin uzunluğu döşeme üst kotundan yukarıya doğru veya kolona bağlanan en derin kirişin alt yüzünden başlayarak aşağıya doğru ölçülmek üzere kolon kesitinin büyük boyutundan, kolon serbest yüksekliğinin $1/6$ 'sından ve $500mm$ 'den az olmamalıdır.

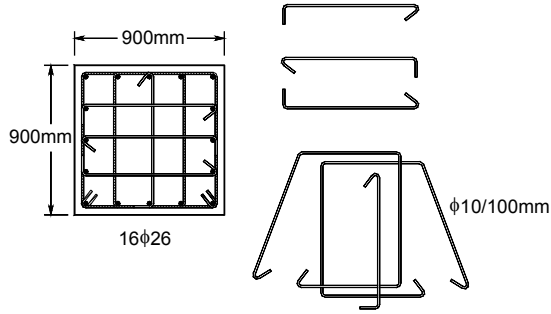
Sarıma bölgelerinde enine donatı çapı $\phi 8$ 'den az olmamalıdır. Bu bölgede boyuna doğrultudaki etriye ve çiroz aralığı en küçük enkesit boyutunun $1/3$ 'ünden ve $100mm$ 'den daha fazla, $50mm$ 'den daha az olmamalıdır.

$$V_w = \frac{nA_o}{s} f_{ywd} d$$

5 kollu $\phi 10/100mm$ sargı donatısı seçilirse

$$V_w = \frac{nA_o}{s} f_{ywd} d$$

$$V_w = \frac{5 \cdot 79}{100} 365 \cdot 860 \cdot 10^{-3} = 1240kN > 850.7kN$$



Şekil 5-75 Kolon kesiti donatısı

$$V_d = 486.2kN$$

Orta bölge 5 kollu $\phi 10/200mm$ sargı donatısı seçilirse taşınabilecek kesme kuvveti değeri

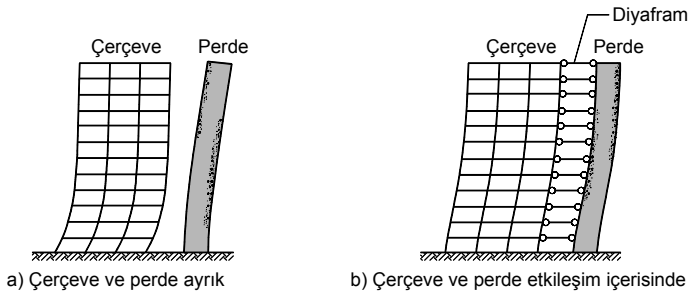
$$V_w = \frac{5 \cdot 79}{200} 365 \cdot 860 \cdot 10^{-3} = 620kN > 486.2kN$$

olarak hesaplanır ve etkiyen kesme kuvvetinden büyük olduğundan tasarım uygun olarak değerlendirilir.

5.9. Döşemelerin Düzlem İçindeki Davranışları

Betonarme bir binada döşemeler düşey yüklerin taşınmasına ek olarak deprem gibi yatay etkiler karşısında diyafram davranışı gösterecek şekilde boyutlandırılmalıdır. Tasarım sırasında perde, kolon giriş ve birleşim bölgesi tasarımına ek olarak tüm sistemin birlikte etkileşim içinde çalışacağı da gözönüne alınmalıdır. Özellikle yük akışının taşıyıcı sistem içinde zemine kadar aktarılmasının sağlıklı olarak sağlanması, aktarım yolu üzerindeki elemanların yeterli dayanıma sahip olması ve sistem bütünlüğünü zayıflatmaması gerekmektedir.

Kat düzeylerinde oluşan deprem kuvvetlerinin düşey taşıyıcılara aktarılması sırasında döşemeler de önemli görev almaktadır. Örneğin birbirinden bağımsız hareket eden kolon ve perdelerin bulunduğu sistemin yerdeğiştirme profili ile kolon ve perdeleri birbirine bağlayan ve diyafram görevi gören döşemelerin bulunduğu sistemin yerdeğiştirme profilleri oldukça farklı olmaktadır. Döşemeler düzlemleri içinde oluşan kuvvetler ile yerdeğiştirme uyumunu sağlamakta; deprem kuvvetlerinin kolon, perde gibi ana elemanlara dağıtılmasında ve bu elemanların birarada tutulmasına katkıda bulunmaktadır, Şekil 5-76.

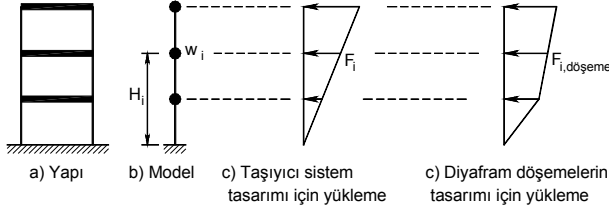


Şekil 5-76 Perde ve çerçeve sistem davranışı

Genellikle betonarme binaların deprem etkileri altında tasarımında, döşeme içindeki yerdeğiştirmelerin ana taşıyıcı sistemdeki yerdeğiştirmeler ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu ve düzlemi içinde rijit davranış gösterdiği kabul edilmektedir. Bir çok durumda bu kabul geçerli olmakla birlikte döşemenin düzlemi içindeki esnekliği yatay yük taşıyıcı elemanlar arasında yük dağılımını etkilemektedir.

Özellikle transfer döşemelerinde düzlem içi etkiler büyük değerlere ulaşacağından bu döşemelerde rijit diyafram kabulü yapılmadan döşemenin düzlem içi rijitliği (esnekliği) gözönüne alınarak hesaplama yapılmalıdır.

Çok katlı yapılarda yüksek modların katkısından dolayı farklı kat döşemeleri farklı ivme değerlerine sahip olabilmektedir. Her döşeme kendine ait en büyük ivme tepki spektrumu değeri kullanılarak elde edilen etkileri karşılayabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Sistemdeki düşey taşıyıcıların her bir mod için hesaplanan en büyük tepkilerin toplamına göre tasarlanması, bu tepkiler aynı zamanda ortaya çıkmadığından, ekonomik olmamaktadır. Bu nedenle birincisi kolon, kiriş, perde gibi taşıyıcı sistem elemanları, diğeri ise diyafram görevi gören döşemeleri tasarlamak için iki farklı yükleme durumu ortaya çıkmaktadır.

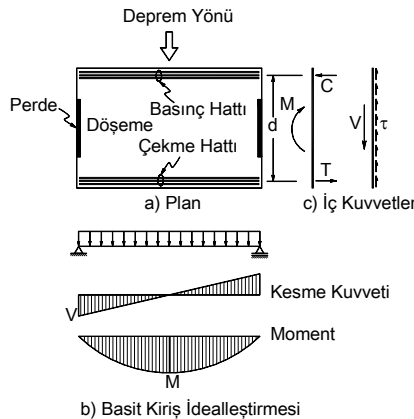


Şekil 5-77 Taşıyıcı sistem ve döşeme sistemi yatay yükleri

Hesaplarda döşemelere etkiyen kuvvet olarak $F_{i,döşeme}$ ve F_i 'den büyük olanı alınmalıdır. $F_{i,döşeme}$ yükü Denklem (5.39)'de verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

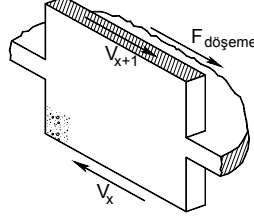
$$F_{i,döşeme} = \frac{\sum_{j=i}^N F_j}{\sum_{j=i}^N w_j} w_{i,döşeme} \quad (5.39)$$

Döşemelerin düzlem içi kuvvetler etkisinde çözümü, döşemenin düzlemi içerisinde kiriş gibi davrandığı ve perde gibi elemanların mesnet olarak değerlendirildiği eşdeğer bir sistem olarak yapılmaktadır. Basit bir örneği Şekil 5-78'da gösterilmektedir. Moment ve kesme kuvveti diyagramları kiriş sisteme benzetilerek elde edilir. Perdelere yakın yerlerde kesme kuvveti en büyük değerlere ulaşmaktadır. Bu modelleme taşıyıcı sistemin düzenli olduğu, düşey taşıyıcı elemanların rijitliklerinin birbirine yakın olduğu ve burulma etkilerinin az olduğu durumlarda uygun çözümler vermektedir.



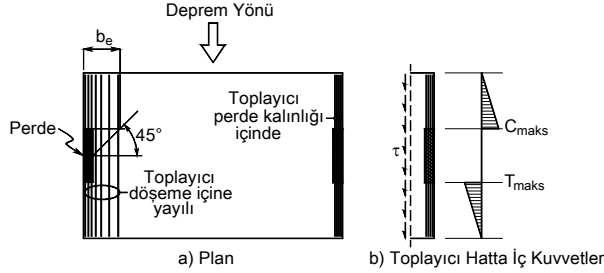
Şekil 5-78 Döşemelerin yatay kuvvetler altında kiriş benzeşimi ile çözümü

Bilgisayar programları kullanılarak yapılan çözümlerde döşeme içindeki etkiler ilgili bölgede kesitler alınarak kolaylıkla belirlenebilmektedir. Şekil 5-79'de mesnetlik görevi gören perde dolaylarında zorlanan bir kesitte döşeme iç kuvveti gösterilmektedir.

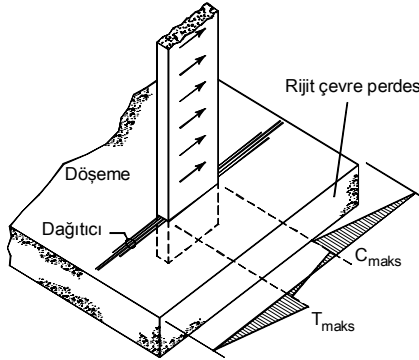


Şekil 5-79 Perde ile diyafram arasında aktarılan kuvvet

Döşeme, düzlem içi etkiler altında oluşacak eğilme ve kesme kuvveti etkilerini karşılayabilecek dayanıma sahip olmalı ve bütünlüğünü korumalıdır. Toplayıcı ve dağıtıcı bölgeler oluşan etkileri döşemeden düşey taşıyıcılara güvenle aktarabilmelidir, Şekil 5-80 ve Şekil 5-81.



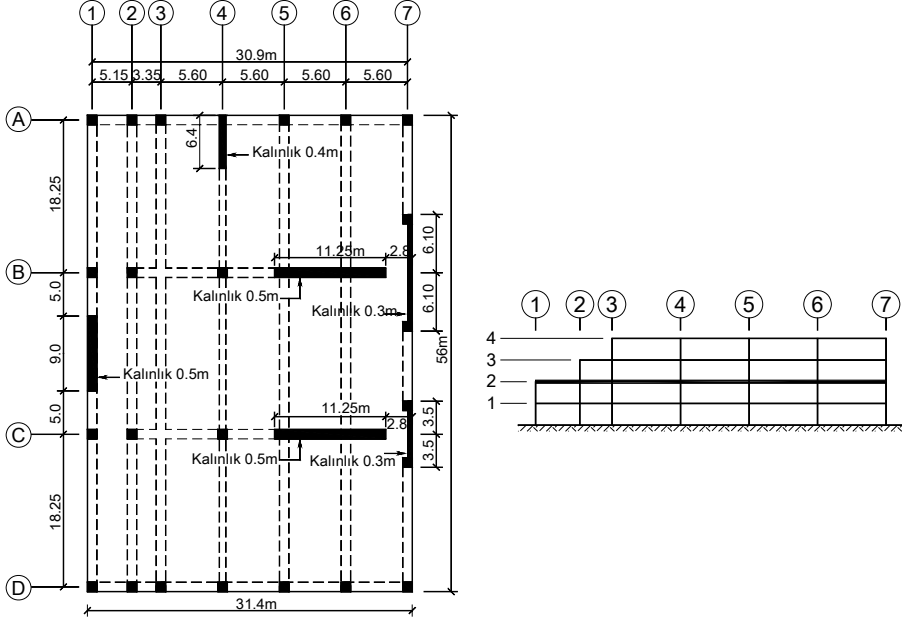
Şekil 5-80 Toplayıcı donatı düzenlenmesi



Şekil 5-81 Döşeme içinden çevre perdelerine etkileri aktarma amaçlı donatı düzenlemesi

Örnek 5-4

Şekilde gösterilen döşeme sistemin düzlem içi etkiler altında hesabını yaparak gerekli donatıları belirleyiniz.



Malzeme: C40/S420

Deprem Bölgesi: 1 Etkin Yer İvme Katsayısı: $A_0=0.40$

Bina Önem Katsayısı $I=1.0$

Spektrum Katsayısı $S(T_1)=2.5$

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı $R=6$

Kat	W_i (kN)	H_i (m)	$W_i H_i$	$\frac{W_i H_i}{\sum W_i H_i}$	F_i (kN)	$\sum F_i$ (kN)	$\sum W_i$ (kN)	$\frac{\sum F_i}{\sum W_i}$	F_{pi} (kN)
4	10656.8	12	127881.6	0.286	3356.6	3356.6	10656.8	0.315	3356.9
3	16170	9	145530.0	0.325	3442.1	6798.7	26826.8	0.253	4091.0
2	19342.4	6	116054.4	0.259	2743.1	9541.8	46169.2	0.207	4003.9
1	19342.4	3	58027.2	0.130	1376.8	10918.6	65511.6	0.167	3230.2
	65511.6		447493.2	1	10918.6				

Tasarım deprem kuvveti

$$V_i = 65511.6 \frac{0.40 \cdot 1 \cdot 2.5}{6} = 10918.6 \text{ kN}$$

$$\Delta F_N = 0.0075 N V_i = 0.0075 \cdot 4 \cdot 10918.6 = 327.6 \text{ kN}$$

$$V_i - \Delta F_N = 10591 \text{ kN}$$

X yönünde hesap:

Döşemede en büyük kesme kuvveti

$$V_d = 1322.75 \text{ kN}$$

Kesme donatısının bulunmadığı durumda dayanım

$$V_c = 0.8 \cdot 0.65 \cdot 1.5 \cdot 11250 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 1755 \text{ kN} > 1322.75 \text{ kN}$$

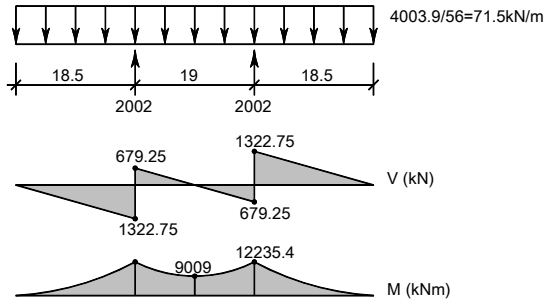
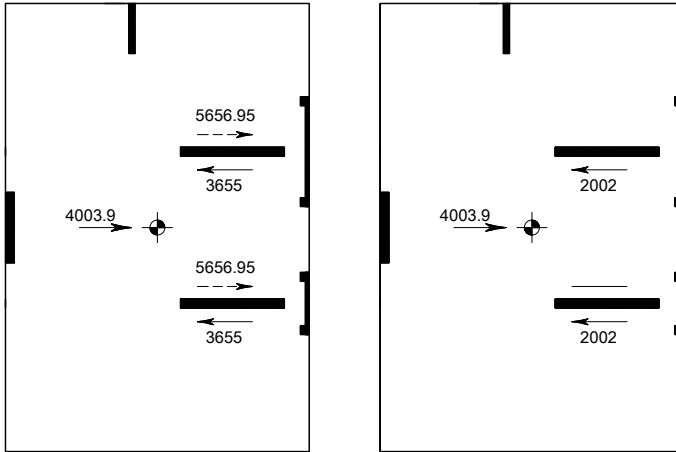
Kesme donatısına gereksinim bulunmamaktadır.

Çekme şeridi tasarımı:

$$T = \frac{M}{d} = \frac{12235.4}{(31.4 - 0.3)} = 393.4 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{393400}{365} = 1077 \text{ mm}^2 \quad 3\phi 22 \text{ (1140 mm}^2\text{)}$$

Sol ve sağ kenarlar boyunca yerleştirilecektir.



Y yönünde hesap:

Çekme şeridi tasarımı

$$M_{AA} = 5050 \cdot 7.85 - \frac{127.5 \cdot 7.85^2}{2} = 35714 \text{ kNm}$$

$$M_{BB} = 5050 \cdot 15.7 - 1990 \cdot 1.35 - \frac{127.5 \cdot 15.7^2}{2} = 60885 \text{ kNm}$$

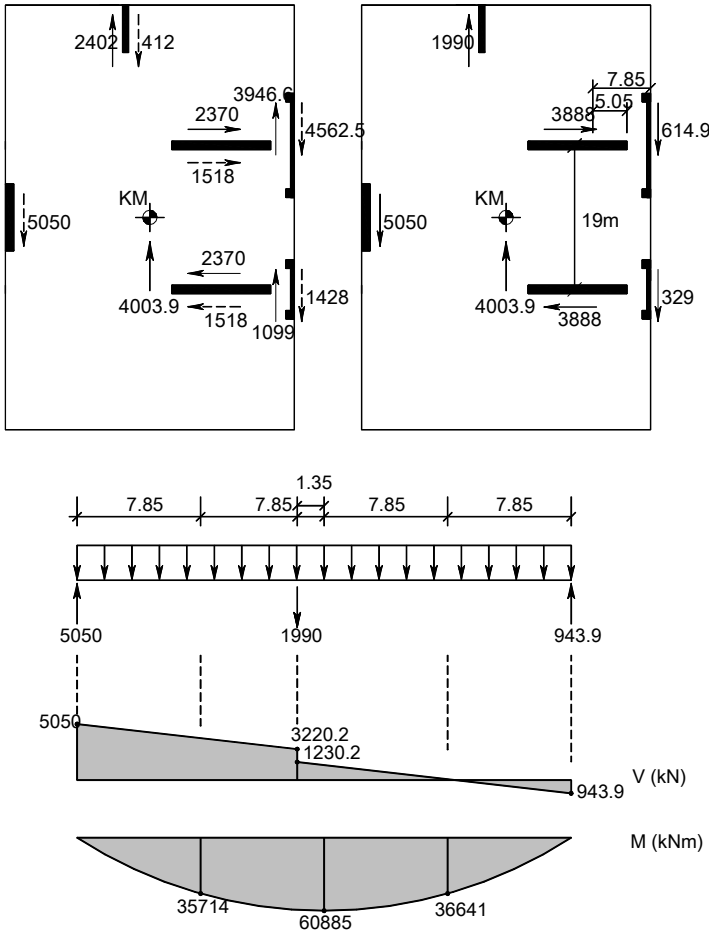
$$M_{CC} = 943.9 \cdot 7.85 - \frac{127.5 \cdot 7.85^2}{2} + 3888 \frac{5.05}{11.25} \cdot 19 = 36641 \text{ kNm}$$

$$M_{maks} \cong 60885 \text{ kNm}$$

$$T = \frac{M}{d} = \frac{60885}{(56 - 0.6)} = 1099 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{1099000}{365} = 3011 \text{ mm}^2 \quad 8\phi 22 \quad (3041 \text{ mm}^2)$$

Üst ve alt kenarlar boyunca yerleştirilecektir.



1 aksı üzerindeki perdede L=9m'lik bölümde döşemenin kesme kuvveti kapasitesi

$$V_c = 0.8 \cdot 0.65 \cdot 1.5 \cdot 9000 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 1404 \text{ kN} < 5050 \text{ kN}$$

9m'lik bölümde döşeme kesitinin alt ve üstüne $\phi 14 / 400$ ($0.385 \text{ mm}^2 / \text{mm}$) donatı yerleştirilmesi durumunda

$$V_s = 2 \cdot 0.385 \cdot 9000 \cdot 365 \cdot 10^{-3} = 2529 \text{ kN}$$

$$V_c + V_s = 2529 + 1404 = 3933 \text{ kN} < 5050 \text{ kN}$$

Dağıtıcı donatıya gereksinim vardır.

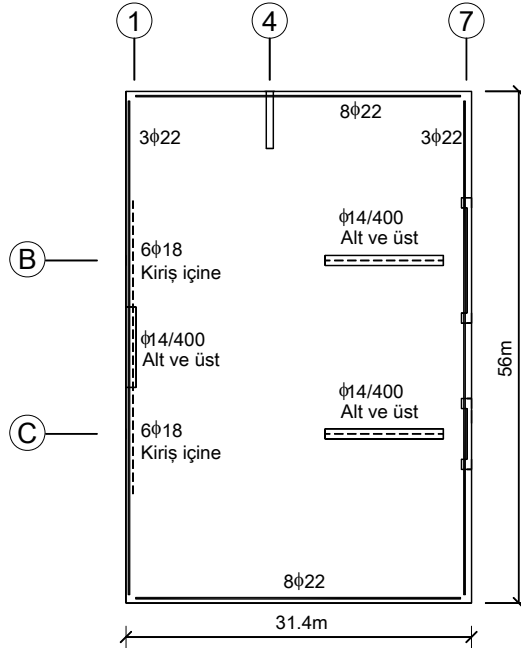
$$5050 - 3933 = 1117 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{1117000 / 2}{365} = 1530 \text{ mm}^2 \quad 6\phi 18 \quad (1530 \text{ mm}^2)$$

Kirişlere yerleştirilecektir.

L=56m'lik bölümde döşemenin kesme kuvveti kapasitesi

$$V_c = 0.8 \cdot 0.65 \cdot 1.5 \cdot 56000 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 8736 \text{ kN} > 5050 \text{ kN}$$



Bir taraftaki dağıtıcı uzunluğu 10m olarak seçilirse dağıtıcı boyunca kesme kuvveti kapasitesi

$$V_c = 0.8 \cdot 0.65 \cdot 1.5 \cdot 2 \cdot 10000 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 3120 \text{ kN} > 958 \text{ kN}$$

4 aksı üzerindeki perde elemanın 2 tarafında döşeme bulunmaktadır.

$$V_c = 0.8 \cdot 0.65 \cdot 1.5 \cdot 6400 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 998 \text{ kN} > \frac{1990}{2} = 995 \text{ kN}$$

B aksı üzerindeki perde için

$$V_c = 0.8 \cdot 0.65 \cdot 1.5 \cdot 11250 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 1755 \text{ kN} < \frac{3888}{2} = 1944 \text{ kN}$$

Döşeme kesitinin alt ve üstüne $\phi 14 / 400$ ($0.385 \text{ mm}^2 / \text{mm}$) donatı yerleştirilmesi durumunda

$$V_s = 2 \cdot 0.385 \cdot 9000 \cdot 365 \cdot 10^{-3} = 2529 \text{ kN}$$

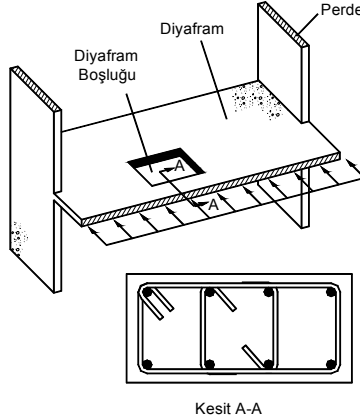
$$V_c + V_s = 1755 + 2529 = 4284 \text{ kN} > 1944 \text{ kN} \text{ dağıtıcı donatıya gerek bulunmamaktadır.}$$

7 aksı üzerindeki perdelerde kesme güvenliği kontrolü yapılırsa

$$V_c = 0.8 \cdot 0.65 \cdot 1.5 \cdot 7000 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 1092 \text{ kN} > 329 \text{ kN}$$

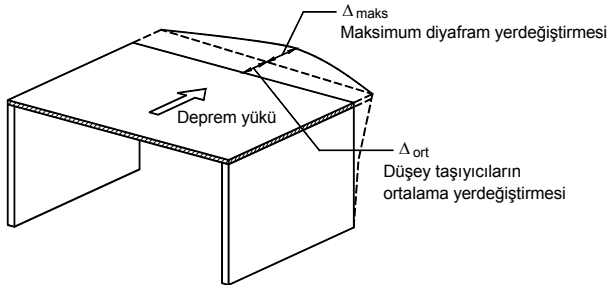
$$V_c = 0.8 \cdot 0.65 \cdot 1.5 \cdot 12200 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 1903 \text{ kN} > 614.9 \text{ kN} \text{ Güvenliğin sağlandığı görülür.}$$

Döşemelerdeki boşluklar yük aktarımını olumsuz olarak etkileyeceğinden, boşlukların yeri uygun olarak seçilmeli ve boşluk çevreleri yeterli şekilde donatılmalıdır.



Şekil 5-82 Düzlemi içinde eğilme etkisindeki döşeme parçasında donatı düzeni

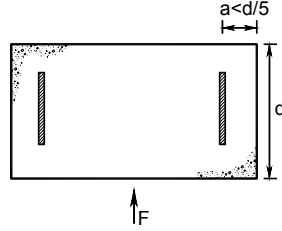
Kata etkileyen yatay deprem yükleri etkisinde döşemede oluşan en büyük düzlem içi yerdeğiştirme değeri düşey taşıyıcıların ortalama kat yerdeğiştirmesi değerinin iki katından büyük ise döşeme esnek olarak kabul edilmelidir. Bu durumda döşemenin kendi düzlemi içinde sonsuz rijit diyafram kabulü geçersiz olmaktadır. Esnek diyafram özelliği, döşemelerde dinamik davranışı olumsuz olarak etkilediğinden yatay yüklerin düşey taşıyıcılara aktarılmasında sorunlar yaşanabilmektedir. Bu nedenle tasarım aşamasında olası ölçüde esnek diyafram davranışı göstermeyen döşeme oluşturulmaya çalışılmalıdır. Döşeme kalınlığının artırılması, döşemenin kendi düzlemi içindeki davranışını esnek durumdan rijit duruma doğru götüreceğinden döşeme kalınlığı seçimi bu tür durumlarda önemli bir düzenleme olmaktadır.



$$\Delta_{\text{maks}} > 2 \Delta_{\text{ort}} \text{ ise döşeme esnek kabul edilmelidir.}$$

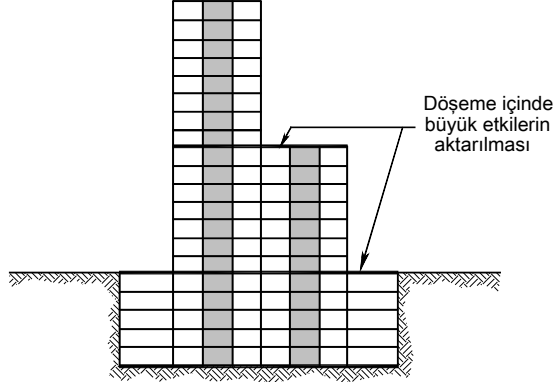
Şekil 5-83 Döşemenin esnek döşeme olarak kabul edilme durumu

Esnek döşemelerde perde veya çerçeve taşıyıcı sisteminin dışına taşan döşeme bölümü uzunluğunun, yüke paralel doğrultudaki döşeme uzunluğunun 1/5'inden küçük olmasının sağlanması uygundur, Şekil 5-84 .



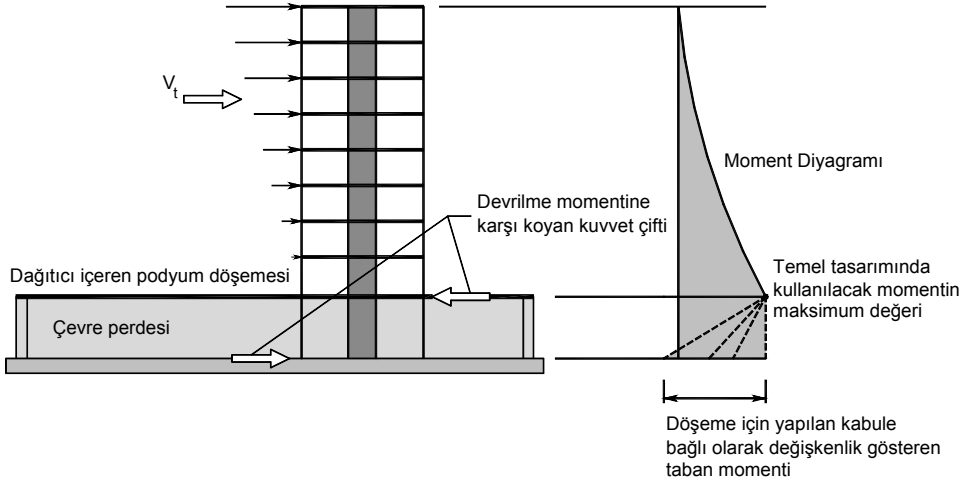
Şekil 5-84 Esnek döşemelerde taşıyıcı sistem dışına çıkan döşeme uzunluğu

Döşemelerin tasarımında düzlem içi etkilerin önemli olabileceği katlar için tipik örnekler Şekil 5-85'de gösterilmektedir. Bu katlarda döşemelerin düzlem içi rijitliği için yapılan kabuller yük dağılımını etkileyeceğinden çatlama ile oluşabilecek rijitlik azalımı gözönüne alınmalıdır. Bu durumlarda genel olarak düzlem içi rijitlik azaltma çarpanı değeri olarak 0.15 ile 0.50 aralığında bir değer kullanılabilir.



Şekil 5-85 Düzlem içi kuvvetlerin güvenle aktarıldığının kontrol edilmesi gerekli olan döşemeler

Deprem yüklerinin oluşturduğu devrilme momenti, bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu binalarda üstteki katlardan bodrum katlarına geçişte yer alan ve bodrum perdeleri ile çevrelenen kat döşeme sisteminde düzlem içi etkiler oluşturmaktadır. Bu etkiler karşısında döşemenin düzlem içi dayanımının yeterli olması gerekmektedir, Şekil 5-86.



Şekil 5-86 Devrilme momentinin döşeme düzlemi içinde oluşturduğu etkiler

5.10. Temeller

Binaların temelleri yapıdan aktarılan yükleri zemine güvenle aktaracak şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca tüm yapının oturmasını ve yapının herhangi bir bölümünün diğer bir bölüme göre oturma farkını azaltacak şekilde boyutlandırılmalıdır.

Temelerde oluşabilecek kusurların sonradan düzeltilmesi çok zor, bazı durumlarda da olanaksızdır. Bu nedenle güvenlik, temelerde deprem sırasında oluşacak gerilme artışlarını karşılayabilecek ve oturmalarından dolayı üst yapıda hasar oluşturmayacak biçimde, zemin özellikleri gözönünde bulundurularak sağlanmalıdır.

Temel türünün ve boyutlarının seçiminde taşıyıcı sistemden aktarılan etkiler yanında zeminin taşıma kapasitesi de belirleyici olmaktadır. Bu nedenle temel sisteminin belirlenmesinden önce zeminin taşıma kapasitesi hakkında güvenilir bilgi edinilmelidir.

Tablo 5-8 Zemin Grupları

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı
(A)	Masif volkanik kayalar ve ayrılmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar, çok sıkı kum, çakıl, sert kil ve siltli kil
(B)	Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrılmış çimentolu tortul kayalar, sıkı kum, çakıl, çok katı kil ve siltli kil
(C)	Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrılmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar, orta sıkı kum, çakıl, katı kil ve siltli kil
(D)	Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları, gevşek kum, yumuşak kil, siltli kil

Tablo 5-9 Bazı zemin türleri için γ ve ϕ değerleri

Zemin Türü	Birim hacim ağırlığı γ (kN/m ³)	Kayma direnci açısı ϕ (°) (İçsel sürtünme açısı)
Bitkisel toprak (doğal durumda)	17	25
Kum ve çakıl (doğal nemde)	18	30
Kum ve çakıl (doğgun durumda)	20	27
Kaya parçaları (yuvarlak, köşeli)	19	35
Taş dolgu (keskin köşeli, ocak malzemesi)	18	40
Kil ve silt (doğgun durumda)	21	15~25

(A), (B) ve (C) zemin gruplarına giren zeminlerde, statik yük için belirlenen zemin emniyet gerilmesi ($\sigma_{z,em}$) ve kazıklı temellerde kazığın taşıyabileceği yatay ve eksenel yükler, depremin kısa süreli bir etki olduğu düşünülerek deprem durumunda en fazla %50 artırılabilir. (D) grubu zeminlerde bu tür bir arttırma yapılmamalıdır.

Tablo 5-10 Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z1	(A) grubu zeminler, $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler, $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler, $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler, $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

Tekele temellerde her iki doğrultuda ve bir doğrultuda sürekli temeller eksenlerine dik doğrultuda bağ kirişleri ile birleştirilerek farklı yatay yerdeğiştirme yapımaları ve dolayısıyla yapıda ek etkilerin oluşması önlenmelidir. Tüm sistemin deprem etkilerine karşı birlikte karşı koyduğu düşünülerek bağ kirişlerinin bağladıkları temellerin kolon yükleri ile orantılı olarak zorlandığı kabul edilebilir. Bu nedenle Deprem Yönetmeliğinde bağ kirişlerinin karşılaması gerekli olan hesap eksenel kuvvetleri kolon yüklerinin belirli bir oranı olarak tanımlanmıştır, Tablo 5-11.

Temeller arasında hareket birbirine yaklaşma ve uzaklaşma şeklinde olabileceğinden kesit hesabında bağ kirişlerinin hem basınç, hem de çekme kuvvetlerini karşılayacağı gözönünde tutulmalıdır. Zemin ya da taban betonu tarafından sarılan bağ kirişlerinin basınca çalışması durumunda, burkulma etkisi gözönüne alınmayabilir. Çekme durumunda ise, çekme kuvvetinin sadece donatı tarafından taşındığı varsayılmalıdır. Bağ kirişi donatılarının eklelerinde ve temel içine kenetlenmesinde bu durumun gözönüne alınmalıdır. Bağ kirişlerinin etriye çapı 8 mm'den az ve etriye aralığı 200 mm'den fazla olmamalıdır. Temel zemininin (A) grubu olması durumunda bağ kirişleri yapılmayabilir veya sayısı azaltılabilir. Bağ kirişlerinin en kesit boyutu serbest açıklığının 1/30'undan az olmamalıdır.

Bağ kirişleri temel kazısına uygun olarak, temel üst kotunda oluşturulabileceği gibi, temel düzeyinde de düzenlenebilir. Bağ kirişleri düzenlenirken kısa kolon oluşturulmamasına dikkat edilmelidir. Kısa kolon oluştuğunda, kısa parçada ortaya çıkacak olan büyük kesme kuvvetleri gevrek bir kırılmaya neden olacaktır. Bu kaçınılması gerekli bir durumdur.

Bağ kirişleri yerine betonarme döşemeler de kullanılabilir. Bu durumda, döşeme kalınlığı 150 mm'den az olmamalıdır. Döşemenin ve içine konulan donatının, bağ kirişleri için verilen yatay yüklere eşit yükleri güvenli biçimde aktarabildiği hesapla gösterilmelidir.

Yük taşıma kapasitesi düşük zeminlerde veya yüksek yapıların temellerinde genellikle kazık temel sistemi oluşturulmaktadır. Kazıklar yapı temellerinde oluşan düşey ve yatay etkilerin zeminin alt tabakalarına aktarmak için kullanılmaktadır. Kazıklar ayrıca temelde oluşacak oturmaları da sınırlandırmaktadır. Kazıkların taşıma gücü, zemin davranışına ve kesit özelliklerine bağlıdır. Kazıkların birbirine yakın düzenlenmesi arada bulunan zemin gerilmeleri artacağı için, kazıkların yük taşıma kapasiteleri azalmaktadır. Kazık eksenleri arası uzaklığın D kazık çapı olmak üzere

$$s \geq \max(2D, 0.60m) \quad (5.40)$$

koşulunu sağlaması uygundur. Betonarme kazıkların boyutlandırılması kolonlara benzetilerek yapılabilir.

Tablo 5-11 Bağ kirişlerine ilişkin minimum koşullar

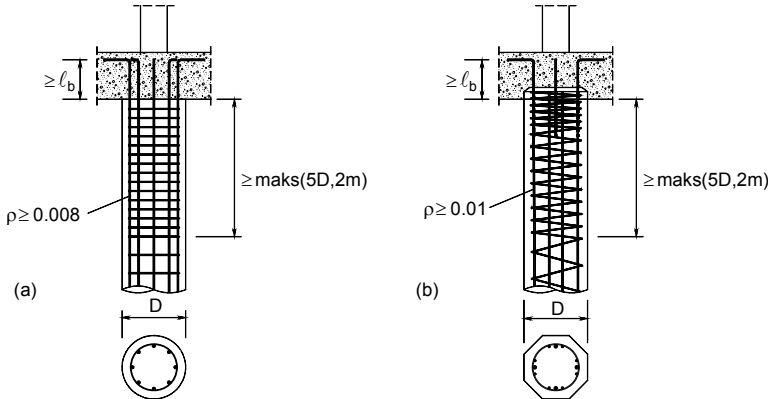
KOŞULUN TANIMI	Deprem Bölgesi	Zemin Grubu (A)	Zemin Grubu (B)	Zemin Grubu (C)	Zemin Grubu (D)
1. Bağ kirişinin minimum aksel kuvveti (*)	1, 2 3, 4	%6 %4	%8 %6	%10 %8	%12 %10
2. Minimum enkesit boyutu (mm)	1, 2 3, 4	250 250	250 250	300 250	300 250
3. Minimum enkesit alanı (mm ²)	1, 2 3, 4	62500 62500	75000 62500	90000 75000	90000 75000
4. Minimum boyuna donatı	1, 2 3, 4	4φ14 4φ14	4φ16 4φ14	4φ16 4φ16	4φ18 4φ16

(*) Bağ kirişinin bağlandığı kolon veya perdelerdeki en büyük aksel kuvvetin yüzdesi olarak

DBYBHY2007'e göre depremde yatay yüklerin etkili olması nedeniyle 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde, düşeye göre eğimleri 1/6'dan daha fazla olan eğik kazıklar kullanılmamalıdır. Kazıklı temeller, aksel yüklerle ek olarak depremden oluşan yatay yüklerle ve etkilere göre de hesaplanmalıdır. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kılıflı ya da kılıfsız yerinde dökme fore kazıklarda, 3 metreden az olmamak üzere, kazık başlığının altındaki kazık boyunun üstten 1/3'ünde boyuna donatı oranı 0.008'den az olmamalıdır. Bu bölgeye konulacak spiral donatı çapı 8 mm'den az ve spiral adımı 200 mm'den fazla olmamalı, ayrıca üstten en az iki kazık çapı kadar yükseklikte spiral donatı adımı 100 mm'ye indirilmelidir. Betonarme prefabrike çakma kazıklarda boyuna donatı oranı 0.01'den az olmamalıdır. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kazık başlığının altındaki kazık boyunun üstten 1/3'ünde enine donatının çapı 8 mm'den az olmamalıdır. Bu bölgede, etriye aralığı veya spiral donatı adımı 200 mm'den fazla olmamalı, ayrıca üstten en az iki kazık çapı (dikdörtgen kesitli kazıklarda en büyük boyutun iki katı) kadar yükseklikte etriye aralığı ya da spiral donatı adımı 100 mm'ye indirilmelidir. Enine donatı koşulları, önerilmeli prefabrike çakma kazıklarda da aynen uygulanmalıdır.

Gerekli durumlarda sıklaştırma bölgesi uzunluğunun Şekil 5-87'de verilen koşulları sağlaması ve kazık enine donatısının da kolonlar için verilen minimum enine donatı koşullarını sağlaması önerilir.

Yumuşak zeminden sert zemine geçilen bölgelerde de potansiyel plastikleşme bölgesi olduğundan bu bölgelerde de sargı donatısının sıklaştırılması gerekmektedir.



Şekil 5-87 Kazık elemanlar a) Yerinde dökme b) Prefabrike

Kazık temellerin hesabında genel olarak kazık elastik zemine mesnetli eleman olarak düşünülmektedir. Kazık ile zemin etkileşimi kazığa bağlı doğrusal ve elastik yatay yaylarla temsil edilmektedir. Yatay yay katsayıları, zeminin yatay yatak katsayısının kazık genişliği ile çarpılması ile elde edilmektedir. Zeminin yatay yatak katsayısı, düşey yatak katsayısına bağlı olarak, örneğin 2/3'ü gibi, elde edilebilmektedir [35]. Zemin düşey yatak katsayısı uygun geoteknik incelemeler ile belirlenmelidir.

Tablo 5-12'de bazı zemin türlerinin düşey yatak katsayıları için yaklaşık değerler verilmektedir.

Tablo 5-12 Ortalama zemin düşey yatak katsayıları

Zemin türü	K_v (kN/m ³)
Balçık, turba	<2000
Plastik kil	5000~10000
Yarı sert kil	10000~15000
Sert kil	15000~30000
Dolgu toprak	10000~20000
Gevşek kum	10000~20000
Orta sıklıkta kum	20000~50000
Sıkı kum	50000~100000
Sıkı kum ve çakıl	100000~150000
Sağlam şist	>500000
Kaya	>2000000

Tek kazığın limit durumda basınç kuvveti taşıma kapasitesi yaklaşık olarak

$$Q_u = Q_{\text{sürtünme}} + Q_{u\text{ç}}$$

$$Q_{\text{sürtünme}} = f_s C_p \left[\frac{1}{2} \gamma D_c^2 + \gamma D_c (H - D_c) \right] k \quad (5.41)$$

$$Q_{u\text{ç}} = \gamma D_c N_q A_{u\text{ç}}$$

bağıntıları kullanılarak hesaplanabilir. Burada

Q_u : Limit durumda (göçme) tek kazığın taşıyabileceği yük

$Q_{\text{sürtünme}}$: Limit durumda (göçme) tek kazığın yüzeyi ile zemin arasındaki sürtünme ile taşınabilecek yük

$Q_{u\text{ç}}$: Limit durumda (göçme) tek kazığın uç kesitinde taşınabilecek yük

f_s : zemin ile kazık arasındaki sürtünme katsayısı (beton için yaklaşık 0.45 değeri alınabilir)

C_p : Kazık çevre uzunluğu

γ : zemin birim hacim ağırlığı

D_c : kritik yükseklik, gevşek zeminlerde yaklaşık kazık çapının 10 katı, sıkı zeminlerde 20 katı alınabilir.

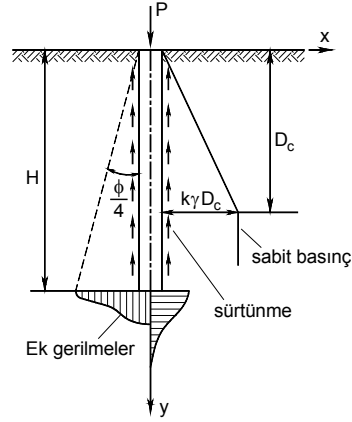
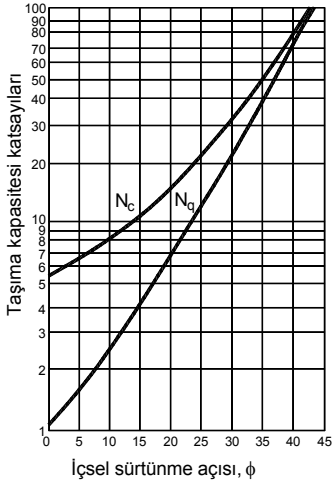
H : kazık gömülme derinliği

k : yatay zemin basınç katsayısı

N_q : taşıma kapasitesi çarpanı

$A_{u\text{ç}}$: kazık uç alanı

büyükliklerini göstermektedir. Kazığın taşınmasına izin verilecek yük değeri kapasitenin belirli bir güvenlik katsayısına bölünmesi ile elde edilmektedir. Basınç durumunda kazığın uç kuvveti veya sürtünme kuvveti kapasitesinin diğerinden daha büyük olması durumuna göre kazık uç kazığı veya sürtünme kazığı olarak adlandırılır. Genellikle kazık boyları, çaplarının 15-40 katı arasında değişmektedir. Uç kazıkları sağlam zemine çaplarının yaklaşık 1.5 katı kadar sokulur. Kazıkların çapları uygulamada 0.40m ile 1.20m arasında değişmektedir. Daha küçük kazıklar, çapları 0.25m-0.30m olan, mini kazık olarak adlandırılır. Mini kazıklar düşey yük karşılanmasında kullanılır, moment taşıma kapasiteleri oldukça az olduğundan hesaplarda ihmal edilebilir.



Şekil 5-88 Kazık-zemin etkileşimi

Kazık grubunun taşıma kapasitesi

$$Q_{grup} = E_g mn Q_u \quad (5.42)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada m ve n kazık yerleşiminde düşey ve yatay sıradaki kazık adetlerini, E_g kazık grubu etkinlik katsayısını göstermektedir ve (5.43) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$E_g = 1 - \left(\frac{\theta}{90} \right) \frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn} \quad (\text{kohezyonlu zemin}) \quad (5.43)$$

$$E_g = 1.0 \quad (\text{kohezyonsuz zemin})$$

Burada θ açısı, kazık çapı D ve kazıklar arası minimum uzaklık s değerine bağlı olarak

$$\theta = \arctan(D/s) \quad (5.44)$$

olarak hesaplanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] ATC/SEAOC Joint Venture, Built to Resist Earthquakes Briefing Papers
- [2] SAP2000, CSI Inc., Berkeley, USA, 2010.
- [3] Yapı Dinamiği , Z. Celep, İstanbul, 2011.
- [4] Betonarme Yüksek Binalar, K. Özden, N. Kumbasar, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul 1993.
- [5] U. Ersoy, G. Özcebe; "Sarılmış Betonarme Kesitlerde Moment-Eğrilik İlişkisi Analitik Bir İrdeleme", İMO Teknik Dergi, 1799-1827, 1998.
- [6] Betonarme Çokkatlı Yapılar, Z. Hasgür, A. N. Gündüz, Beta Basım Yayım, İstanbul, 1996.
- [7] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık Bakanlığı, Ankara, 2007.
- [8] Deprem Mühendisliği, A. Mertol, H. C. Mertol, Koza Ofset, Ankara, 2002.
- [9] Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, T. Paulay , M. J. N. Priestley ,Wiley-Interscience; 1992
- [10] Displacement Based Seismic Design of Structures M.J.N. Priestley, G.M. Calvi, M.J. Kowalsky, IUSS Press, 2007.
- [11] Fundamental Concepts of Earthquake Engineering, R. Villaverde CRC Press; 2009.
- [12] Design of Concrete Structures, A. Nilson, D. Darwin, C. Dolan, McGraw-Hill, 2009.
- [13] Earthquake Resistant Concrete Structures, A. Kappos, G.G. Penelis, Spon Press;1996.
- [14] Richart, F.E., Brandtzaeg, A., and Brown, R.L., The failure of plain and spirally reinforced concrete in compression, Engineering Experimental Station Bulletin no. 190, University of Illinois, 1929, 74pp.
- [15] Earthquake Engineering: Application to Design, C. K. Erdey, Wiley, 2007.
- [16] Wind and Earthquake Resistant Buildings: Structural Analysis and Design, B. S. Taranath, CRC Press, 2004.
- [17] Structural Dynamics: Theory and Computation, M. Paz , W. Leigh, Springer; 5th ed., 2003.
- [18] International Handbook Of Earthquake Engineering: Codes, programs, and examples, Mario Paz Springer; 1995.
- [19] Depremde Çökmeyen Bina Nedir? Nasıl Projelendirilir, Ergin Atımtay, Ankara, 2009.
- [20] Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Z. Celep, Beta Yayın Dağıtım A.Ş., 2008.
- [21] Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Z. Celep, N. Kumbasar, İstanbul 2004.
- [22] Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, E. Atımtay, Ankara, 2000
- [23] Çerçevesiz ve Perdeli Betonarme Sistemlerinin Tasarımı Temel Kavramlar ve Hesap Yöntemleri, Ergin Atımtay.
- [24] Seismic and Wind Design of Concrete Buildings, S.K. Ghosh, Q. Shen, ICC, 2008.
- [25] Seismic Design using Structural Dynamics, S.K. Ghosh, J. Kim, F.H. Shad, ICC, 2009.
- [26] The Seismic Design Handbook, Farzad Naeim (Editor), Springer, 2001
- [27] Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeler, E. Canbay, U. Ersoy, G. Özcebe, H. Sucuoğlu, S. T. Wasti, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, 2008.
- [28] Concrete Structures in Earthquake Regions E. Booth, Longman Scientific & Technical, 1994.
- [29] The Philosophy and Application of Capacity Design, Thomas Paulay ,Scientia Iranica, Vol. 2, No. 2, July, 1995Concrete Structures in Earthquake Regions E. Booth, Longman Scientific & Technical, 1994.

- [30] Dynamics of Structures, A. K. Chopra, Prentice Hall, 2006
- [31] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Açıklamalar ve Örnekler Kitabı, M. N. Aydınoğlu, Z. Celep, E. Özer, H. Sucuoğlu, 2009.
- [32] Seismic Detailing of Concrete Buildings, D. Fanella, PCA, 2007.
- [33] Priestley M.J.N., Verme R., Xiao Y. "Seismic Shear Strength of Reinforced Concrete Columns", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 120, No.8, August 1994, 2310-2329.
- [34] Earthquake Resistant Design of Structures, P. Agarwal, M. Shrikhande, PHI Learning ,2011.
- [35] Yapı Elemanı Olarak Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar, Z. Celep, TMMOB İMO İstanbul Şubesi Yapı Tasarım Kursları, 2007.
- [36] TS500: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara, 2000.
-

DİZİN

A	
Açısal doğal frekans	8
Açısal Frekans	8
Agrega	137
Asal basınç gerilmesi	153
Aşılma olasılığı	3
Atalet kuvvetleri	3

B	
Bağ kirişi	229
Bağ kirişleri	167
Beton	74
Beton örtüsü	137
Betonarme Sistemler	100
Bina ömrü	3
Bindirmeli ek	139, 143
Birleşim bölgesi	144, 192, 195
Kesme kuvveti	193
Birleştirme	
Karelerin Toplamının Kare Kökü	115
Tam Karesel	115
Burulma rijitliği	157
Burulma stabilitesi	157

C	
CQC	115

Ç	
Çapraz donatı	167
Çatlak	157
Çatlama Momenti	84
Çekme dayanımı	84
Çekme donatısı	97
Çiroz	133
Çok Serbestlik Dereceli Sistemler	48

D	
D'Alembert Prensibi	9
Deprem	3

Büyüklik	2
Derz	131
ivmesi	34
Kayıtları	5
Kuvvetleri	3
Şiddet	2
Deprem Etriyeleri	133
Derz	131
Dış yük	20
Dinamik büyütme katsayısı	180, 212
Doğal periyot	8
Donatı demetleri	167
Dönüş periyodu	3
Döşeme	218
Transfer döşemesi	226
Düğüm noktası	151
Düzensizlikler	105
Burulma düzensizliği	105
Döşeme Süreksizlikleri	106
Düşey Elemanlarının Süreksizliği	108
Planda çıkıntılarının bulunması	106
Yumuşak Kat	108
Zayıf Kat	107

E	
Eğilme rijitliği	83
Eğrilik	82
Eksenel basınç	157
Eksenel kuvvet	98
Eksenel yük	143
En büyük yer ivmesi	See PGA
Enerji	3
Episantr	Bkz. Merkez üssü
Esnek döşeme	225
Esneklik	9
Etriye	99, 133
Ezilme	98

F	
Fay	2
Faz açısı	17, 19
Faz farkı	21
Filiz donatısı	165

Frekans 8

G

Geçici Titreşim 21
Genlik 16
Gövde donatısı 137

H

Harmonik hareket 16
Harmonik yük 21
Hiposantr *Bkz. Odak*

i

İçsel sürtünme açısı 228
İkinci Mertebe
Etkileri 130
Gösterge Değeri 130
İvme 6
İvme kaydı 6
İvme spektrumu
Azaltılmış 114

K

Kanca 138
Kapasite 163
Kapasite tasarımı ilkesi 102
Karakteristik akma gerilmesi 193
Kararlı Titreşim 21
Kazık 229
Kazık çapı 228
Kenetlenme 138
Düz 139
Kenetlenme boyu 138
Kesme-sürtünme donatısı 164
Kısa kolon 154
Kiriş 134, 138
Gövde genişliği 134
Kesme Güvenliği 140
Sarıлма bölgesi 139
Kolon 143, 150
Sarıлма bölgesi 148
Kolon-Kiriş Birleşimi 192, 197

Kritik Perde Yüksekliği 159
Kritik sönüm 17
Kuşatılmamış birleşim bölgesi 195
Kuşatılmış birleşim bölgesi 195
Kütle 9

M

Manşonlu ek 140
Mercalli Şiddet Cetveli 4
Merkez üssü 2
Mod 50
Şekilleri 49
Mod Birleştirme Yöntemi 113
Moment-Eğrilik 82

N

Newmark 34
Newton 9
Normalizasyon 50

O

Odak 2
Odak derinliği 2
Ortogonallik özelliği 50

P

Perde 156, 157
Gövde bölgesi 160
Kesme güvenliği 164, 166
Uç bölgesi 161
Periyot 8, 19
PGA 6

R

Rezonans 20
Richter ölçeği 3
Rijit diyafram 115, 225
Rijitlik 9
Rüzgar Yükleri 4

S	
SAP2000	23, 27, 39, 43, 87
Sargı donatısı	98
Sargı Etkisi	145
Sarıma bölgesi	148, 217
Serbestlik derecesi	7
Sönüm	17
Coulomb	18
Çevrimsel	18
kritik	18
Kritik sönüm	18
Viskoz	18
Sönüm oranı	18
Sönümsüz sistem	16
Spiral donatı	150
Süneklik	70, 82, 97
Süneklik düzeyi	101

Ş	
Şekildeğiştirme	140
Şiddet	3

T	
Tarafsız eksen	98

Tasarım Eğilme Momentleri	162
Taşıyıcı sistem	102
Taşıyıcı Sistem	105
Temel	227
Temel sistemi	158
Titreşim	
Geçici	21
Kararlı	21
Toplayıcı	220
TS500	97

Y	
Yapı	1
Ağırlık	12
Periyot	112
Yatak katsayısı	230

Z	
Zemin	
Yerel Zemin Sınıfları	228
Zemin Grubu	227
Zorlanmış Titreşim	19
