

Depreme Dayanıklı Binaların Tasarımına Giriş

Deprem Yönetmeliği 2019
Yapı Dinamiği Temel Konuları
Betonarme ve Çelik Taşıyıcı Sistemler
SAP2000 Çözümlü Örnekleri

Kutlu Darılmaz
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Örnek Sayfaları

ÖNSÖZ

Depreme dayanıklı yapıların tasarımı İnşaat Mühendisliğinin önemli çalışma alanlarından biridir. Elinizdeki kitap “Depreme Dayanıklı Binaların Tasarımına Giriş” başlığı altında yazarın çalışma notlarının bir araya getirilmesi ile oluşturulmuştur.

Kitap inşaat mühendisliği öğrencilerine ve uygulamadaki mühendislere, depreme dayanıklı sistemlerin tasarımı konusunda temel kavramların yönetmelik kuralları da esas alınarak açıklanmasını ve hatırlatılmasını amaçlamaktadır.

Günümüzde yapı sistemlerinin çözümünde çoğunlukla bilgisayar programları kullanıldığından kitaptaki bazı örnekler ülkemizde yaygın olarak kullanılan SAP2000 genel amaçlı yapı analiz programı ile de çözülmüştür.

Kitap, yazım ve çizim işlerinin tamamı yazar tarafından yapılarak yoğun bir çalışma süreci sonucu oluşturulmuştur. Bunu gözönüne alarak okuyucuların olası eksiklikleri hoşgörü ile karşılayacağı ümit edilmektedir. Okuyucuların yazara iletecekleri her türlü eleştiri ve görüş, yazar tarafından memnuniyetle karşılanacak ve ileriki baskılar için önemli katkılar olarak değerlendirilecektir.

Kitabın hazırlanmasında yazar pek çok kaynaktan yararlanmışır. Yazar bu değerli eserleri hazırlayanlara teşekkürü bir borç bilmektedir.

Yazar, kitabın İnşaat Mühendisliği öğrencilerine ve konu ile ilgili çalışan İnşaat Mühendislerine yararlı olacağını umut etmektedir.

Kutlu Darılmaz, 2019

İÇİNDEKİLER:

1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL KAVRAMLAR VE DEPREM DEĞİŞKENLERİ.....	2
2.1. Depremlerin Oluşumu.....	2
2.2. Depremin Büyüklüğü ve Şiddeti.....	3
2.3. Deprem Olma Olasılığı ve Dönüş Periyodu.....	4
2.4. Yapıya Etkiyen Deprem Kuvvetleri.....	4
2.5. Deprem ve Rüzgar Yüklerinin Karşılaştırılması.....	5
2.6. Deprem Kayıtları.....	6
2.7. En Büyük Yer İvmesi ve Düşey İvme.....	7
2.8. Depremden dolayı oluşan hasarların nedenleri.....	8
3. DEPREM HESABINDA KULLANILAN YAPI DİNAMİĞİ TEMEL İLKELERİ.....	9
3.1. Dinamik ve Statik Etkiler Altında Çözüm.....	9
3.2. Serbestlik derecesi.....	9
3.3. Periyot, Frekans ve Açısal Frekans.....	10
3.4. Kütle, Rijitlik.....	11
3.5. Hareket Denklemi, Newton'un Hareket Yasası, D'Alembert Prensibi.....	12
3.6. Periyot, kütle ve rijitlik ilişkisi.....	16
3.7. Sönüm.....	18
3.8. Titreşim Hareketinin Sınıflandırılması.....	19
3.9. Tek Serbestlik Dereceli Sönümsüz Sistemin Serbest Titreşimi.....	20
3.10. Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistemin Serbest Titreşimi.....	21
3.11. Tek Serbestlik Dereceli Sönümsüz Sistemin Harmonik Yük Etkisinde Zorlanmış Titreşimi.....	23
3.12. Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistemin Harmonik Yük Etkisinde Zorlanmış Titreşimi.....	24
3.13. Yer Hareketi Etkisindeki Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistemin Titreşimi.....	31
3.14. Newmark Sayısal İntegrasyon Yöntemi ile Çözüm.....	34
3.15. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler.....	44
3.15.1. Mod Şekilleri ve Açısal Frekanslar.....	45
3.15.2. Mod Birleştirme Yöntemi.....	47
3.15.3. Sönüm Matrisi.....	58
3.16. Tepki Spektrumları.....	59
4. TASARIM İLKELERİ VE DEPREM ETKİLERİ.....	66
4.1. Giriş.....	66

4.2. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde Tanımlanan Deprem Yer Hareketi Düzeyleri ve Bina Performans Düzeyleri.....	66
4.2.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri.....	66
4.2.2. Bina Performans Düzeyleri.....	67
4.3. Taşıyıcı Sistemler.....	67
4.3.1. Betonarme Taşıyıcı Sistem Türleri.....	67
4.3.2. Taşıyıcı Sistemin Oluşturulması.....	68
4.3.3. Kütle ve Rijitlik Merkezi Kavramları.....	68
4.4. Kapasite Tasarımı İlkesi.....	69
4.5. İç Kuvvetlerin Hesabında Yapılan Kabuller.....	70
4.5.1. Eşit yerdeğiştirme ve eşit enerji kavramları.....	70
4.6. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları.....	71
4.7. Deprem Tepki Spektrumları.....	71
4.7.1. Elastik Tepki Spektrumu ve Tasarım Spektrumu.....	74
4.7.2. TBDY Deprem Yer Hareketi Spektrumları.....	75
4.7.3. Sahaya Özel Deprem Yer Hareketi Spektrumu.....	79
4.7.4. Zaman Tanım Alanında Deprem Yer Hareketi.....	80
4.8. TBDY’de Bina Kullanım, Deprem Tasarım ve Bina Yükseklik Sınıfları.....	81
4.8.1. Bina Kullanım Sınıfları (BKS).....	81
4.8.2. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS).....	82
4.8.3. Bina Yüksekliği ve Bina Yükseklik Sınıfları (BYS).....	83
4.9. Depreme Dayanıklı Bina Tasarımında Kullanılan Yaklaşımlar.....	84
4.10. Performans Hedefleri ve Uygulanacak Tasarım Yaklaşımları.....	85
4.11. Deprem Etkisi Altında Uygun Tasarım İçin Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Düzenlenmesi.....	86
4.11.1. Taşıyıcı Sistem Seçimi ve Düzensizlikler.....	87
4.11.2. Taşıyıcı Sistemde Fazla Bağlılık Özelliğinin Sağlanması.....	87
4.11.3. Dayanım ve Rijitlik.....	87
4.11.4. Süneklik.....	88
4.11.5. Katlarda ve Geçiş Katlarında Yeterli Döşeme Rijitliği ve Dayanımı.....	113
4.11.6. Taşıyıcı Sistemin Düzenli ve Simetrik Olarak Düzenlenmesi.....	114
4.11.7. Düzensizlikler.....	114
4.12. Dayanıma Göre Tasarım.....	119
4.13. Elastik Ötesi Doğrusal Olmayan Davranış.....	120
4.13.1. Doğrusal Olmayan Davranış ve Hesaplarda Kullanım Amacıyla İdealleştirme.....	122
4.13.2. Akma Dayanımı, Tasarım Dayanımı ve Deprem Yüğü Katsayıları.....	123
4.13.3. Dayanım Fazlalığı Katsayısı.....	124
4.13.4. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı.....	125
4.13.5. TBDY’de Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı.....	127
4.14. Betonarme Sistemlerin süneklik düzeyine bağlı olarak sınıflandırılması.....	128
4.14.1. Binaların Üst ve Alt Bölümlerinde Farklı R Katsayılarının Kullanılması.....	129
4.15. Deprem Etkisinin Tanımlanması ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi.....	131
4.15.1. Yatay Deprem Etkisi Altında Azaltılmış Tasarım İvme Spektrumu.....	131
4.15.2. Yatayda Birbirine Dik Doğrultulardaki Deprem Etkilerinin Birleştirilmesi.....	131
4.15.3. Düşey Deprem Etkisi.....	131

4.15.4.	Deprem Etkilerinin Diğer Etkilerle Birleştirilmesi	132
4.15.5.	Doğrusal Hesap İçin Taşıyıcı Sistemin Modellenmesine İlişkin Kurallar.....	133
4.15.6.	Doğrusal Hesap Yönteminin Seçilmesi.....	140
4.16.	Etkin Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması,	183
4.17.	İkinci Mertebe Etkileri	185
4.18.	Deprem Derzleri.....	187
4.19.	Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım Yaklaşımı	189
4.19.1.	Tanım	189
4.19.2.	Performans Hedefleri	190
4.19.3.	Deprem Etkisinin Tanımlanması ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi.....	190
4.19.4.	Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminin Seçimi.....	191
4.19.5.	Doğrusal Olmayan Davranış Modelleri.....	191
4.19.6.	Doğrusal Olmayan Hesap İçin Taşıyıcı Sistemin Modellenmesine İlişkin Kurallar	194
4.19.7.	Doğrusal Olmayan İtme Yöntemleri ile Deprem Hesabı	196
4.19.8.	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi İle Deprem Hesabı.....	204
5.	BETONARME BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞI	207
5.1.	Malzeme Özellikleri.....	207
5.2.	Özel Deprem Etriyeleri ve Çirozları	207
5.3.	Kirişler	208
5.3.1.	Süneklik Düzeyi Yüksek Kirişler.....	208
5.3.2.	Süneklik Düzeyi Sınırlı Kirişler.....	220
5.4.	Kolonlar	222
5.4.1.	Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlar.....	222
5.4.2.	Süneklik Düzeyi Sınırlı Kolonlar.....	236
5.5.	Perdeler	240
5.5.1.	Perdelerin Yerleşimi.....	241
5.5.2.	Süneklik düzeyi yüksek perdeler.....	242
5.5.3.	Perde Uç Bölgeleri ve Kritik Perde Yüksekliği.....	243
5.5.4.	Gövde Donatısı Koşulları.....	244
5.5.5.	Gövde Donatılarının Düzenlenmesi	246
5.5.6.	Perde Uç Bölgelerinde Donatı Koşulları.....	246
5.5.7.	Farklı Geometriye sahip perdelerde etkili başlık genişliklerinin belirlenmesi	249
5.5.8.	Tasarım Eğilme Momentleri	249
5.5.9.	Kesme güvenliği.....	251
5.5.10.	Perdelerde Güç Tükenmesi Durumları.....	256
5.5.11.	Perdelerde Boşluklar	258
5.5.12.	Bağ Kirişli (Boşluklu) Perdeler İlişkin Kural ve Koşullar.....	259
5.6.	Bağ kirişleri.....	259
5.7.	Süneklik Düzeyi Sınırlı Perdeler.....	273
5.8.	Birleşim Bölgeleri	273
5.8.1.	Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeve Sistemlerde Kolon-Kiriş Birleşim Bölgeleri.....	274
5.8.2.	Süneklik Düzeyi Sınırlı Çerçeve Sistemlerde Kolon-Kiriş Birleşim Bölgeleri.....	279
5.9.	Döşemeler	281

5.9.1.	Döşemelerin Düzlem İçindeki Davranışları	282
5.9.2.	Döşemeler ile ilgili TBDY Koşulları	284
5.10.	Temeller	296
5.10.1.	Yüzeysel temellerin Taşıma Gücü	298
5.10.2.	Temel Bağ Kirişleri.....	300
5.10.3.	Kazıklı Temeller.....	300
6.	ÇELİK BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞI.....	305
6.1.	Kullanılabilecek Tasarım Yöntemleri	306
6.1.1.	Güvenlik Katsayıları ile Tasarım	307
6.1.2.	Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT)	307
6.2.	Malzeme.....	307
6.3.	Enkesit Koşulları.....	308
6.4.	Kapasite Tasarımı ve Olası Malzeme Dayanımları.....	309
6.5.	Kapasitesi Korunmuş Bölgeler	310
6.6.	Kolon ve Kiriş Ekleri	311
6.7.	Yük Birleşimleri.....	311
6.8.	Moment Aktaran Çelik Çerçevesel Sistemler	312
6.8.1.	Moment Aktaran Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çerçevesel Sistemler.....	312
6.8.2.	Kiriş-Kolon Birleşim Bölgeleri	314
6.8.3.	Moment Aktaran Çerçevelerde Kiriş-Kolon Birleşim Detayları	317
6.8.4.	Moment Aktaran Süneklik Düzeyi Sınırlı Çelik Çerçevesel Sistemler	334
6.9.	Merkezi Çelik Çaprazlı Sistemler	335
6.9.1.	Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler	335
6.9.2.	Süneklik düzeyi sınırlı merkezi çaprazlı çelik çerçeveler	344
6.10.	Süneklik Düzeyi Yüksek Dışmerkez Çelik Çaprazlı Sistemler	346
6.10.1.	Bağ Kirişleri	347
6.10.2.	Rijitlik (Berkitme) Levhaları.....	351
6.10.3.	Çaprazlar, Kat Kirişleri ve Kolonlar	352
6.10.4.	Bağ Kirişi-Kolon Birleşimi	352
6.10.5.	Çapraz-Kiriş-Kolon Birleşimi	353
6.11.	Çapraz-Kiriş-Kolon Birleşim Detayları	353
6.12.	Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçeveler	362
6.13.	Diyafram Tasarımı	366
	KAYNAKLAR.....	368
	DİZİN	370

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 davranışıdır.

Bir yapının depreme dayanıklı olarak tasarımında amaç, yapının kullanım ömrü boyunca yapıldığı bölgede oluşması beklenen en şiddetli depremde geçmeden 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 geçmenin 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 etkilecek 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, rijitlik ve süneklik sağlanarak yönetmelikte öngörülen yapısal performans ve yerdeğiştirme sınırları koşulları yerine getirilmiş olur.

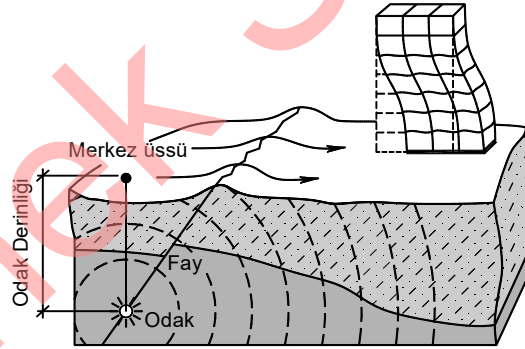
2. TEMEL KAVRAMLAR VE DEPREM DEĞİŞKENLERİ

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 enerjisinin 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 sığ 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 sığ 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 belirlenmemektedir. 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'de depremin büyüklüğü ve salınan enerji ile önemli olaylarda ortaya çıkan enerjilerin karşılaştırmalı değişimi grafik olarak gösterilmektedir.

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.

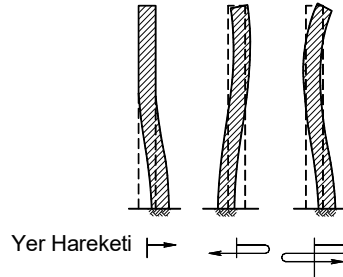
$$P_y = 1 - (1 - P_1)^y = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^y \quad (2.3)$$

Örneğin 475 yıllık dönüş periyodu olan bir depremin, bir yılda aşılma olasılığı %0.21, 50 yıllık bina ömrü öngörülerek bu süre içerisinde aşılma olasılığı $P_{50} = 1 - (1 - 1/475)^{50} = 0.10$ (%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 2-3'de basit olarak gösterilen biçimdedir. Yapının üzerinde bulunduğu zemin titreşim hareketi yapığında yapının tabanı zemin ile birlikte yerdeğiştirir. Yapı kütlelerinin ataleti bu harekete karşı koyarak yapıda yatay ve düşey doğrultularda atalet kuvvetlerinin oluşmasına neden olur. Atalet kuvvetleri doğrultusunda yapıda hareket ile birlikte yerdeğiştirmeler oluşur. Bu yerdeğiştirmeler dalgasal şekildedir ve karmaşık bir salınım hareketi ortaya çıkarır.



Şekil 2-3 Deprem sırasında yapı davranışı

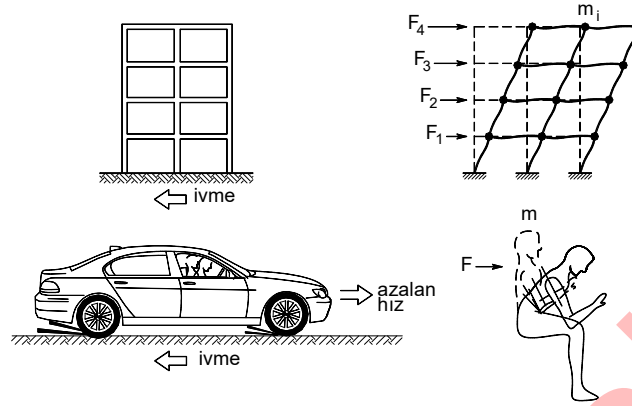
Atalet kuvvetinin oluşumunun anlaşılması amacıyla günlük yaşamdan bir örnek verilebilir. Bir araç frenleme yaptığındaki hızındaki azalma ile oluşan negatif ivme araç içindeki insanları aracın önüne doğru hareket ettirmeye zorlar. Buna, oluşan atalet kuvveti neden olmaktadır. Benzer şekilde deprem sırasında zeminde oluşan ivmelerde yapıda atalet kuvvetleri oluşturur, (Şekil 2-4). Atalet kuvvetleri kütle ile orantılıdır.

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, kapı 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

2.5. Deprem ve Rüzgar Yüklerinin Karşılaştırılması

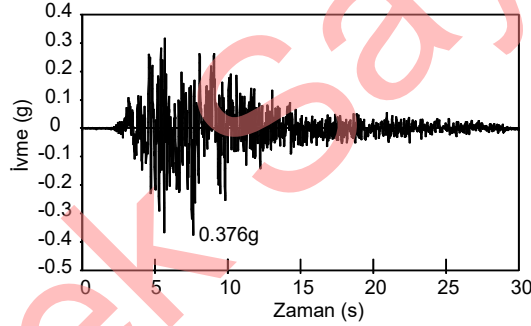
Deprem ve rüzgar yüklerinin yönetmeliklerde genellikle eşdeğer statik yatay yükler olarak kullanılmasına izin verilmesi bu yükler arasında benzerlik yaratmaktadır. Gerçekte dinamik özellikleri olan deprem ve rüzgar yüklerinin yapısı ve oluşma şekilleri birbirinden farklıdır. Rüzgar yükleri dışarıdan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



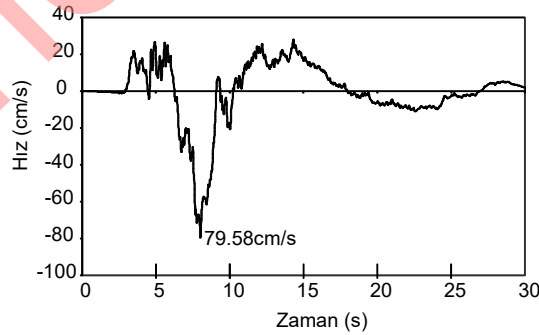
Şekil 2-4 Atalet kuvvetinin oluşumu

2.6. Deprem Kayıtları

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



Şekil 2-5 Deprem İvme-Zaman grafiği

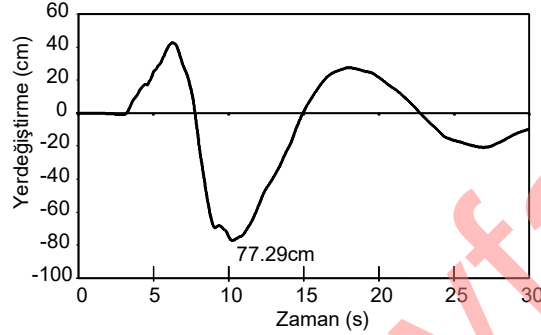


Şekil 2-6 Deprem Hız-Zaman grafiği

Şekil 2-5'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 2-6 ve Şekil 2-7'de aynı deprem için hız ve yerdeğiştirme kayıtları gösterilmektedir. Şekil 2-5'den en büyük ivme 0.376g, Şekil 2-6'dan en büyük hız 79.58cm/s ve Şekil 2-7'den en büyük yerdeğiştirme 77.29cm olarak belirlenmektedir.

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 2-7 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/s^2) yaygın olarak yerçekimi ivmesine (g) oranlanarak kullanılmaktadır. Örnek olmak üzere Şekil 2-5'de verilen ivme-zaman grafiğinde en büyük yer ivmesi 0.376g olarak görülmektedir.

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 arttıracığından 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 hareketlerinden daha büyük değerler alabilmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2019) düşey deprem etkisinin gözönüne alınmasını şart koşmaktadır.

2.8. Depremden dolayı oluşan hasarların nedenleri

Depremden dolayı yapıda oluşacak hasarların birçok nedeni bulunmaktadır. Genel olarak hasarlar kaynaklarına göre aşağıdaki değişkenlere bağlıdır.

Deprem 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.

Bu değişkenlerden yalnızca yapısal özellikler tasarımcının kontrolündedir.

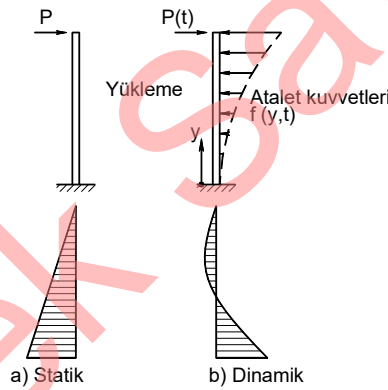
Örnek Sayfalar

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 bağlıdır. 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 bağlı 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 $f(y,t)$ sisteme aynı anda etkimektedir. 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 bağlıdır. Dinamik çözümlemede temel güçlük atalet kuvvetlerinin oluşumuna neden olan yerdeğiştirmelerin kendisinin, atalet kuvvetlerine bağlı olmasıdır.

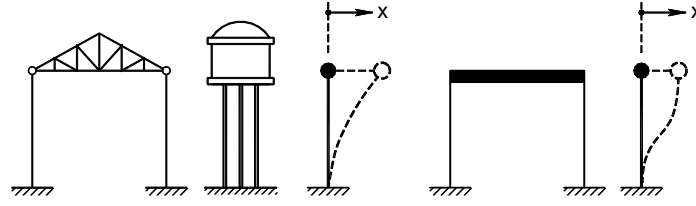


Şekil 3-1 Statik ve dinamik yükleme arasındaki temel farklılıklar

3.2. Serbestlik derecesi

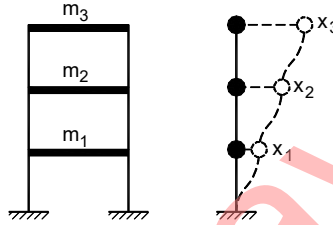
Titreşim hareketi sırasında herhangi bir zaman anı için sistemin konumunu belirli bir eksen takımına göre tanımlamak için gerekli bağımsız değişken sayısına serbestlik derecesi adı verilmektedir. Gerçekte sürekli bir sistemin sonsuz sayıda serbestlik derecesi bulunmaktadır. Yapı sisteminin idealleştirilerek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

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



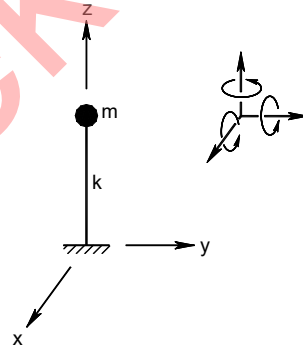
Şekil 3-2 Tek Serbestlik dereceli sistem örnekleri ve hesap modelleri

Örneğin Şekil 3-3'de gösterilen, kütlelerin kat seviyelerinde toplandığı, kiriş ve kolonlarda boy kısılmasının 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 kütleli 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 bilinmesi 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.

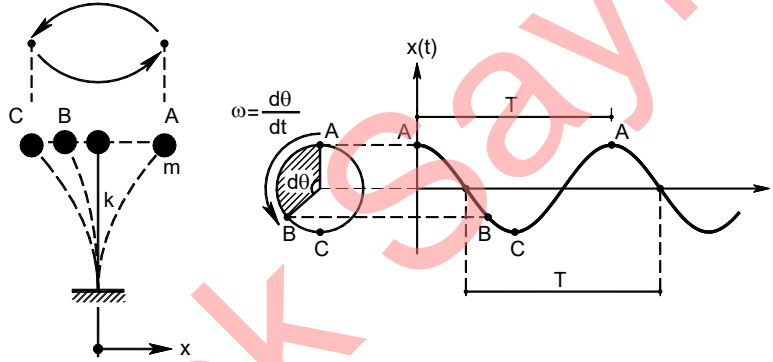
Bu üç büyüklük arasında aşağıdaki bağıntılar bulunmaktadır.

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

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 ($f = 2s^{-1}$) ve dairesel hareket gösteriminde birim zamanda ($1s$ 'de) 4π radyan açı tarayacaktır ($\omega = 4\pi rad/s$).



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 yararlanarak belirlenebilmektedir.

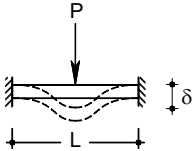
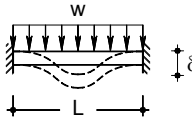
3.4. Kütle, Rijitlik

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 yerdeğiştirmeye (δ) bölünmesi ile belirlenmektedir. Rijitlik, birim yerdeğiştirme oluşturmak için uygulanması gereken kuvvet olarak da değerlendirilebilir.

Tablo 3-2 (Devam)

	$\delta = \frac{PL^3}{192EI}$	$k = \frac{192EI}{L^3}$
	$\delta = \frac{wL^4}{384EI}$	$k = \frac{384EI}{L^3}$

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

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

denklemini yazılabilir. Burada \ddot{x} yerdeğiştirmenin zamana göre ikinci türevi olan ivmeyi göstermektedir.

D'Alembert prensibine göre ise cisimlerin ivmesi, sanki üzerlerinde ivmenin tersi yönde ve ivmenin ve kütlenin 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 çözülebilir. Bu yöntemin kullanımı dinamik denge olarak da adlandırılmaktadır.

Şekil 3-6'daki sistemde D'Alembert prensibi uyarınca hareket doğrultusunda denge denklemi yazılırsa Denk. (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 denklemini

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

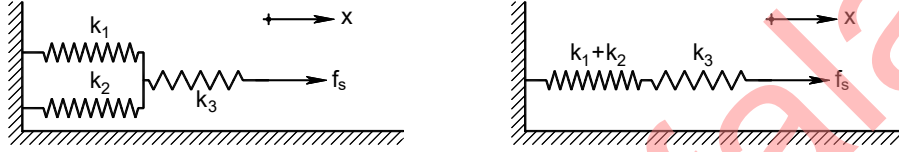
biçiminde yazılabilir.

$x = x_1 + x_2$ eşitliği $\frac{f_s}{k_e} = \frac{f_s}{k_1} + \frac{f_s}{k_2} \rightarrow \frac{1}{k_e} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \rightarrow k_e = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$ olarak elde edilir.

c) a şıkında çözülen paralel yayların çözümünden yararlanarak rijitliği k_1 ve k_2 olan iki yay yerine rijitliği $k_1 + k_2$ olan eşdeğer tek bir yay yerleştirilebilir.

b şıkındaki seri bağlı yayların çözümünden de yararlanarak

etkin yay rijitliği $\frac{1}{k_e} = \frac{1}{k_1 + k_2} + \frac{1}{k_3} \rightarrow k_e = \frac{(k_1 + k_2) k_3}{k_1 + k_2 + k_3}$ olarak elde edilir.



3.6. Periyot, kütle ve rijitlik ilişkisi

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

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

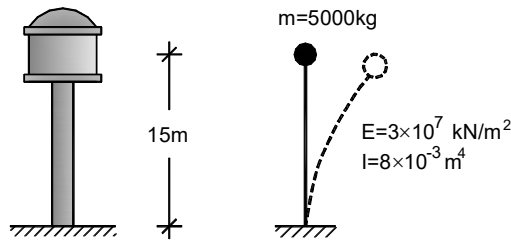
Açısal frekans ile kütle ve rijitlik arasındaki bağıntı da Denk. (3.8)'deki gibi olur.

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

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

Örnek 3-2

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



İdealize edilmiş sistem

Çözüm:

Su tankını taşıyan sistemin konsol sistem olduğu varsayılırsa sistemin rijitliği

Tablo 3-2'den

$$k = \frac{3EI}{h^3} = \frac{3 \cdot (3 \cdot 10^7) \cdot (8 \cdot 10^{-3})}{(15)^3} = 213.33 \text{ kN} / \text{m}$$

olarak hesaplanır.

Periyot değeri ise Denk. (3.7)'den

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{5}{213.3}} = 0.962 \text{ s}$$

olarak elde edilir.

SAP2000 : Örnek 3-2'de verilen sistemin çözümü.

- SAP2000 programını çalıştırınız.
- Birim bölümünden kN,m,C seçiniz.
- Menüde File-New Model → Grid Only seçeneğini seçiniz.
 - Number of Grid Lines bölümünde
 - X Direction kutucuğuna 2
 - Y Direction kutucuğuna 1
 - Z Direction kutucuğuna 2
 - Grid Spacing bölümünde
 - X Direction kutucuğuna 1
 - Y Direction kutucuğuna 1
 - Z Direction kutucuğuna 15
- yazınız ve OK düğmesine basınız
- Menüde View-Set 2D View seçeneğine seçiniz.
 - X-Z Plane seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Draw-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 View-Set Display Options seçeneğini seçiniz.
 - Joints bölümünde Labels kutucuğunu seçili duruma getiriniz
 - Joints bölümünde Invisible kutucuğunu seçili durumdan çıkarınız ve OK düğmesine basınız
- Menüde Define-Materials... seçeneğini seçiniz.
 - Add New Material... düğmesine basınız.
 - Region açılır listesinden User seçeneğini,
 - Material Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
 - Weight per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.
 - Units açılır listesinden N,mm,C 'yi seçiniz
 - 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.
 - Frame Section Property Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz.

Serbest ve zorlanmış titreşimler

Eğer bir sistem başlangıç koşulları sonucunda titreşiyorsa ($t > 0$ için sisteme etki eden dış zorlama yoksa) sistem serbest titreşim durumundadır. Eğer sistem düzgün, düzensiz veya rastgele şekilde bir dış zorlama etkisindeyse zorlanmış titreşim durumunda olarak adlandırılır. Zorlanmış titreşimde sisteme enerji aktarılır ve enerjiyi sağlayan etkiye zorlayıcı kuvvet denilmektedir. Zorlayıcı kuvvetler sabit (örneğin basamak şeklinde yükleme), kısa sürede etkiyen ve kalkan (örneğin darbe yüklemesi), sinüs fonksiyonu veya rastgele yükleme biçiminde olabilir. Düzenli olarak zorlayan bir etkiye örnek olarak esnek bir döşeme sistemi üzerinde çalışan makina motoru gösterilebilir. Çalışma sırasında motor dönme hızı ile orantılı periyodik bir yük etkileyecektir. Rastgele yük etkisine örnek olarak da rüzgar ve deprem etkileri gösterilebilir. Bu yüklemelerde düzensiz bir değişim bulunmaktadır.

3.9. 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 kütsüz kolonlara mesnetlenmiş rijit bir kirişten oluşan sistem gösterilebilir (Şekil 3-8).

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

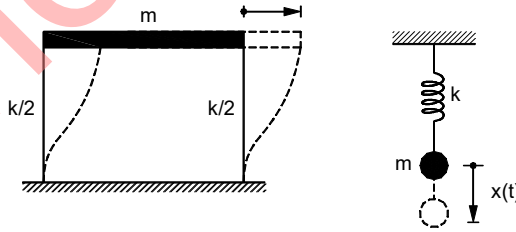
$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad (3.9)$$

ikinci mertebeden diferansiyel denklemi biçimindedir. Bu denklemin çözümü için iki adet başlangıç koşuluna gereksinim bulunmaktadır. Denklemin çözümü, $\omega = \sqrt{k/m}$ açısal frekans olmak üzere

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

şekindedir. C_1 ve C_2 integrasyon sabitleridir ve başlangıç koşullarından (örneğin $t=0$ 'daki başlangıç yerdeğiştirmesi x_0 , başlangıç hızı \dot{x}_0 gibi) belirlenmektedir. Başlangıç koşullarının (3.10) denkleminde kullanılması ile çözüm aşağıdaki şekilde belirlenir.

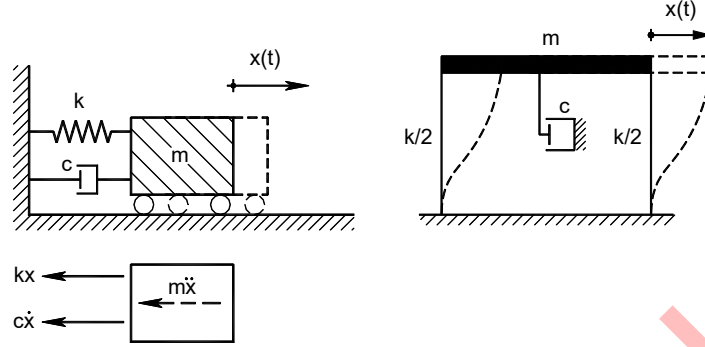
$$x = x_0 \cos \omega t + \frac{\dot{x}_0}{\omega} \sin \omega t \quad (3.11)$$



Şekil 3-8 Tek serbestlik dereceli sönümsüz sistem

Burada x_0 ve \dot{x}_0 sırasıyla başlangıç yerdeğiştirmesi ve başlangıç hızıdır. Trigonometrik dönüşümler ile denklem (3.11)

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



Şekil 3-10 Tek serbestlik dereceli sönümlü sistem

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

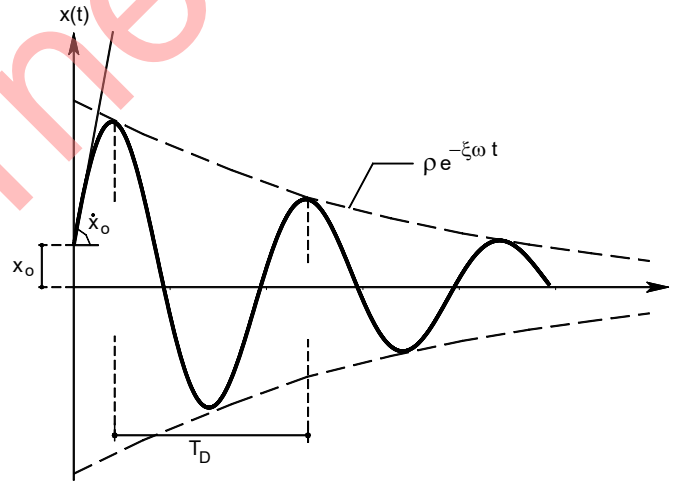
$$\omega_D = \omega \sqrt{1 - \xi^2} \quad (3.19)$$

Sönümlü sistem ile sönümsüz sistemin periyotları arasında da

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

bağıntısı bulunmaktadır. Sönümlü bir sistemin titreşim periyodunun, sönümün hareketi yavaşlatmasından dolayı, sönümsüz durumdaki periyottan biraz daha büyük olduğu görülmektedir.

Normal yapılar için sönümün kritik sönüm 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.



Şekil 3-11 Sönümlü sistemin serbest titreşim hareketi

Denk. (3.16) trigonometrik dönüşümler kullanılarak

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

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

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

Faz açısı β Denk. (3.23) ile elde edilmektedir.

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

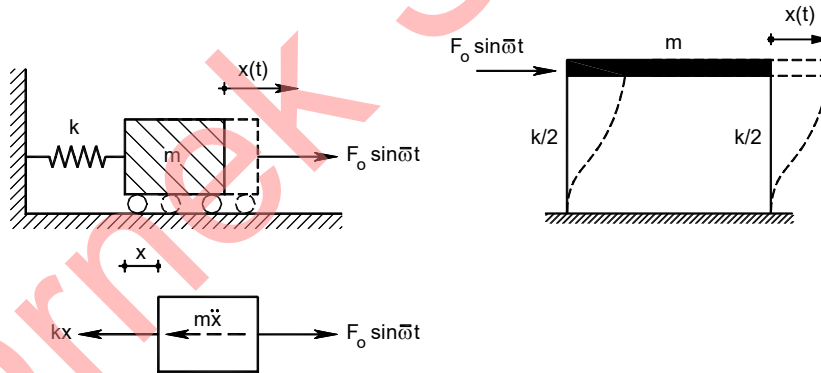
Şekil 3-11'de başlangıç hızı ve yerdeğiştirmesi ile harekete geçen sönümlü bir sistemin yerdeğiştirmesinin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir.

3.11. 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 denklemi Denk. (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 çözüm verilecektir. Burada F_o dış yükün genliğini, ω dış yükün açısal frekansını göstermektedir. Hareket denkleminin yeni hali Denk. (3.25)'deki gibi olur.

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

Hareket denklemi Denk. (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 Denk. (3.30) halini alır.

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

Yeni durumda hareket denkleminin çözümü de aşağıda verilmektedir.

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

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 , Denk. (3.32) ile hesaplanmaktadır.

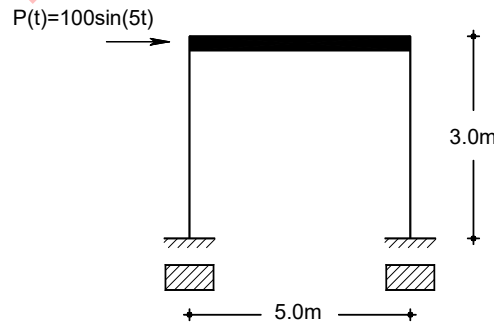
$$\tan \theta = \frac{2\xi r}{1-r^2} \quad (3.32)$$

Örnek 3-3

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 20t'dir. Kolonlar 0.25m x 0.40m boyutlarındadır. Sisteme rijit kiriş seviyesinde $P(t) = 1000 \sin(5t)$ kN harmonik yük etkimektedir. Brüt kesit rijitliklerini kullanarak

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

hesaplayınız. $E = 3 \cdot 10^7$ kN / m²



Şekil 3-14 Tek serbestlik dereceli sönümsüz sistem

Moment değeri

$$M = \frac{V \cdot h}{2} = \frac{507.13 \cdot 3}{2} = 760.7 \text{ kNm} \quad \text{olarak elde edilir.}$$

Tablo 3-3 Harmonik Fonksiyon

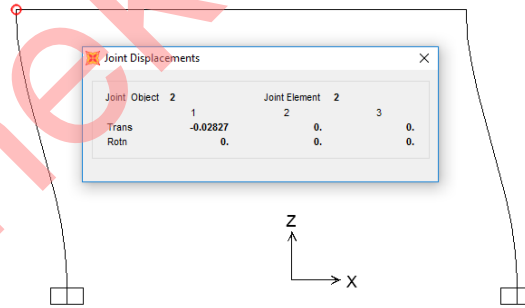
t (s)	$F(t) = \sin(5t)$	t (s)	$F(t) = \sin(5t)$
0.0000	0.0000	0.6912	-0.3090
0.0628	0.3090	0.7540	-0.5878
0.1257	0.5878	0.8168	-0.8090
0.1885	0.8090	0.8796	-0.9511
0.2513	0.9511	0.9425	-1.0000
0.3142	1.0000	1.0053	-0.9511
0.3770	0.9511	1.0681	-0.8090
0.4398	0.8090	1.1310	-0.5878
0.5027	0.5878	1.1938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

SAP2000

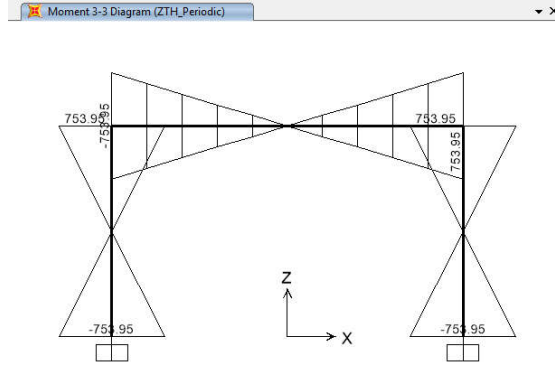
Örnek 3-3'de verilen sistemin çözümü:

- SAP2000 programını çalıştırınız.
- Birim bölümünden kN,m,C seçiniz.
- Menüde File-New Model seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen pencerede 2D Frames seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda
 - Number of Stories kutucuğuna 1
 - Number of Bays kutucuğuna 1
 - Story Height kutucuğuna 3
 - Bay Width kutucuğuna 5 yazınız
 - 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.
 - Ankastre 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.

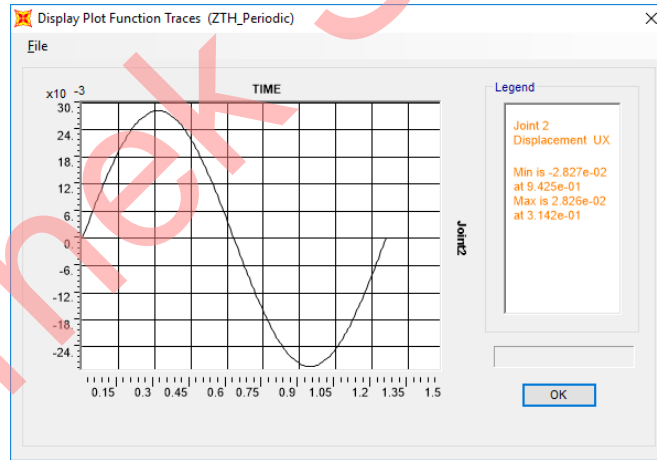
- Menüde Assign-Joint Loads-Forces... seçeneğini seçiniz.
 - Load Pattern Name listesinde YUK seçeneğini seçiniz.
 - Force Global X kutucuğuna 1000 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Load Cases seçeneğini seçiniz.
 - Add New Load Case... düğmesine basınız
 - Load Case Name kutucuğuna ZTH 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 200 yazınız.
 - Output Time Step Size kutucuğuna 0.006283 yazınız.
 - Modal Damping bölümünde Modify/Show düğmesine basınız.
 - Constant damping for all Modes seçeneğini seçiniz
 - Sistem sönümsüz olduğu için Constant damping for all Modes kutucuğuna 0 yazınız.
 - 3 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde Analyze-Set Analysis Options... seçeneğini seçiniz.
 - Sistemin XZ düzleminde düzlem bir sistem olduğunu belirtmek için 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.



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

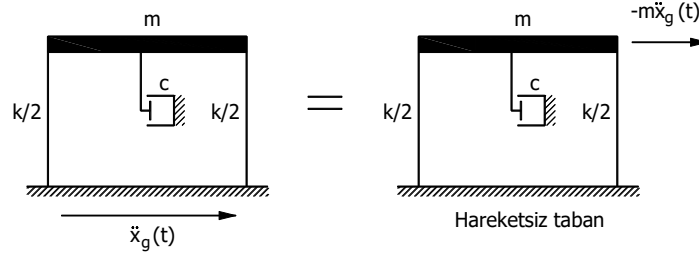


- Yerdeştirmelerin zaman ile değişiminin grafiğini oluşturmak için menüde Display>Show Plot Functions seçeneğini seçiniz.
 - Define Plot Functions... seçeneğini seçiniz.
 - Choose Function Type to Add bölümünden Add Joint Disps/Forces seçeneğini seçiniz ve Add Plot Function... düğmesine basınız
 - Joint 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 yerdeğişmesinin zaman ile değişiminin grafiğini çizdiriniz.



Tablo 3-4 Sonuçların karşılaştırılması

	Teorik sonuç	SAP2000	Göreceli Fark %
Yerdeğiştirme (m)	0.02853	0.02827	0.9
Moment (kNm)	760.7	753.9	0.9



Şekil 3-16 Yer hareketi ile dış yük ilişkisi

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

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

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

Denklemin çözümü

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

şekindedir. Bu denklem Duhamel integrali olarak adlandırılmaktadır.

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

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

olarak ve

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

efektif ivme olarak değerlendirilebilir.

Örnek 3-4

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 20t'dur. Kolonlar 0.25m×0.40m 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.

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

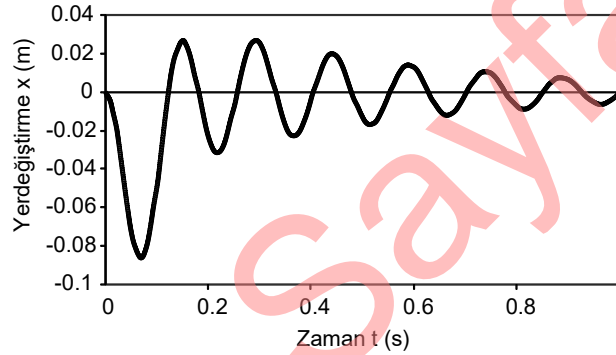
$$x(0.2) = -0.02287$$

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

Sönümlü sistemin serbest titreşim durumunda yerdeğiştirmenin zamana bağlı değişimi Denk. (3.16)'da t yerine $(t - 0.2)$ yazılarak elde edilir.

$$x(t) = e^{-\xi\omega(t-0.2)} \left(x_0 \cos \omega_D(t-0.2) + \frac{\dot{x}_0 + x_0 \xi \omega}{\omega_D} \sin \omega_D(t-0.2) \right)$$

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.

$$V_{kolon} = k_{kolon} \cdot x = \frac{35555.6}{2} \cdot 0.08605 = 1529.8kN$$

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

3.14. Newmark Sayısal İntegrasyonYöntemi 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

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

Denk. (3.63)'de (3.61) ve (3.62) eşitlikleri yerine yazılırsa

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

denklemini elde edilir ve

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

$$\Delta \hat{p}_i = \Delta p_i + \left(m \frac{1}{\beta \Delta t} + c \frac{\gamma}{\beta} \right) \dot{x}_i + \left[m \frac{1}{2\beta} + c \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) \right] \ddot{x}_i \quad (3.66)$$

düzenlemeleri yapılarak

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

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

Tablo 3-5 Newmark Yöntemi ile çözümde izlenen adımlar [31]

1 Başlangıç hesapları	
1.1	$\ddot{x}_o = \frac{p_o - c\dot{x}_o - kx_o}{m}$
1.2	Zaman adımının seçimi Δt
1.3	$\hat{k} = k + c \frac{\gamma}{\beta \Delta t} + m \frac{1}{\beta \Delta t^2}$
1.4	$a = m \frac{1}{\beta \Delta t} + c \frac{\gamma}{\beta}$ $b = m \frac{1}{2\beta} + c \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right)$
2 Her zaman adımı için hesaplama, i	
2.1	$\Delta \hat{p}_i = \Delta p_i + a\dot{x}_i + b\ddot{x}_i$
2.2	$\Delta x_i = \frac{\Delta \hat{p}_i}{\hat{k}}$
2.3	$\Delta \dot{x}_i = \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \Delta x_i - \frac{\gamma}{\beta} \dot{x}_i + \Delta t \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \ddot{x}_i$
2.4	$\Delta \ddot{x}_i = \frac{1}{\beta \Delta t^2} \Delta x_i - \frac{1}{\beta \Delta t} \dot{x}_i - \frac{1}{2\beta} \ddot{x}_i$
2.5	$x_{i+1} = x_i + \Delta x_i$, $\dot{x}_{i+1} = \dot{x}_i + \Delta \dot{x}_i$, $\ddot{x}_{i+1} = \ddot{x}_i + \Delta \ddot{x}_i$
3 Bir sonraki zaman adımı için i yerine $i+1$ koyarak 2.1 ile 2.5 arasındaki işlemlerin tekrarlanması.	

Zaman adımındaki yerdeğiştirme artımı (3.68) bağıntısıyla hesaplanabilmektedir.

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

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

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

Tablo 3-6 Ortalama ivme yöntemi ile sayısal çözüm

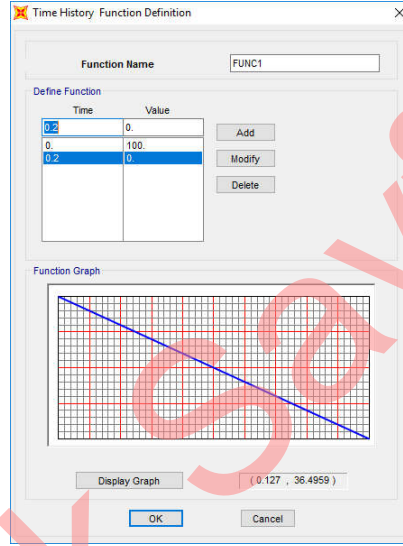
t_i	\ddot{x}_g	\ddot{x}_i (Adım 2.5)	$\Delta \hat{p}_i$ (Adım 2.1)	Δx_i (Adım 2.2)	$\Delta \dot{x}_i$ (Adım 2.3)	$\Delta \ddot{x}_i$ (Adım 2.4)	\dot{x}_i (Adım 2.5)	x_i (Adım 2.5)
0	100	-100.000	-3900	-0.0046	-0.9150	16.9919	0.0000	0.0000
0.01	95	-83.008	-10695	-0.0125	-0.6792	30.1690	-0.9150	-0.0046
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

SAP2000

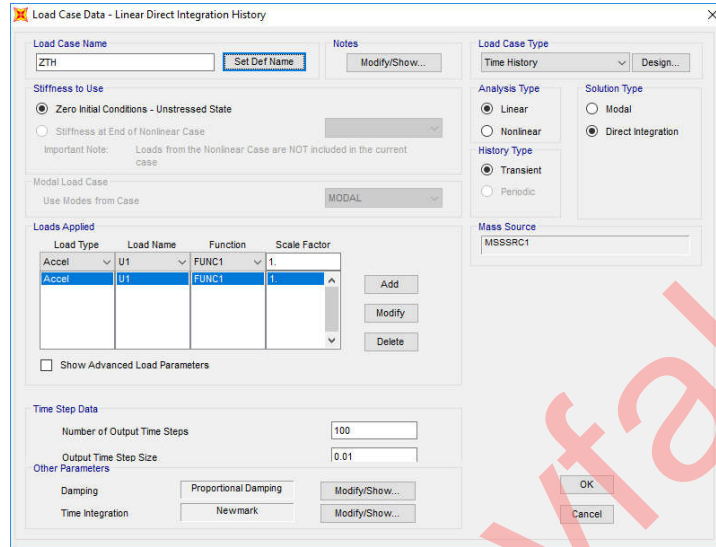
Örnek 3-4'de verilen sistemin çözümünü yapınız.

- SAP2000 programını çalıştırınız.
- Birim bölümünden kN,m,C seçiniz.
- Menüde File-New Model seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen pencerede 2D Frames seçeneğini seçiniz.

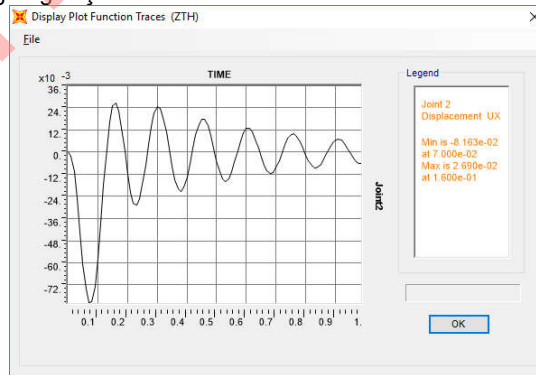
- 2 ve 4 numaralı düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Masses... seçeneğini seçiniz.
 - Specify Joint Mass bölümünde As Mass seçeneğini seçiniz.
 - Mass Coordinate System bölümünde Direction olarak GLOBAL seçeneğini seçiniz.
 - Translation Global X kutucuğuna 10 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- 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.
 - Add New Load Case... düğmesine basınız
 - Load Case Name kutucuğuna ZTH yazınız.
 - Load Case Type açılır listesinden Time History seçeneğini seçiniz.
 - Time History Solution Type bölümünden Direct Integration 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.
 - Sönüm özelliğini düzenlemek için Other Parameters bölümünde Damping için Modify/Show... düğmesine basınız.
 - First Period kutucuğuna 0.15 ve karşı gelen Damping kutucuğuna 0.05 yazınız.
 - Second Period kutucuğuna 1 ve karşı gelen Damping kutucuğuna 0.05 yazınız ve 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.



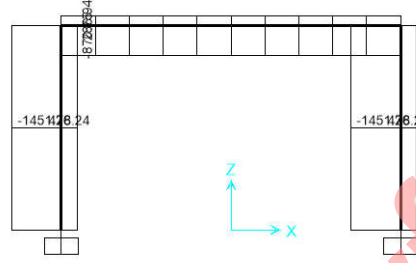
- Oluşan yerdeğiştirmeleri görmek için menüden Display-Show Deformed Shape... seçeneğini seçiniz.
 - Case/Combo Name kutucuğundan ZTH seçeneğini seçiniz
 - Multivalued Options bölümünden Envelope (Max or Min) seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız
 - Kat düzeyindeki herhangi bir düğüm noktasına sağ mouse tuşu ile basarak ilgili noktanın yerdeğiştirme ve dönme değerlerini gösteren pencereyi ekrana getiriniz. (xmax=-0.08163)
- 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 çizdiriniz.



- Oluşan kesme kuvvetlerini görmek için menüden Display-Show Forces/Stresses-Frame Cables seçeneğini seçiniz.

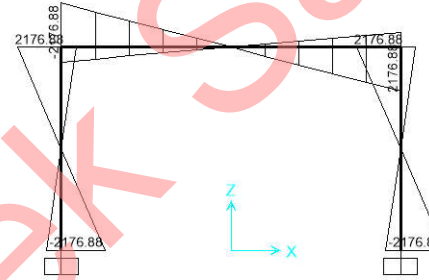
- Case/Combo Name kutucuğundan ZTH seçeneğini seçiniz
- Multivalued Options bölümünden Envelope (Range) seçeneğini seçiniz
- Component bölümünden Shear 2-2 seçeneğini seçiniz
- Options bölümünden Show Values on Diagram seçeneğini seçiniz ve Apply düğmesine basınız (V=1451.3kN olarak hesaplanmaktadır)

Shear Force 2-2 Diagram (ZTH) x



- Oluşan momentleri görmek için ekranda bulunan Display Frame Forces/Stresses penceresinde seçeneğini seçiniz Moment 3-3 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız. (M=2176.9kNm olarak hesaplanmaktadır).

Moment 3-3 Diagram (ZTH) x



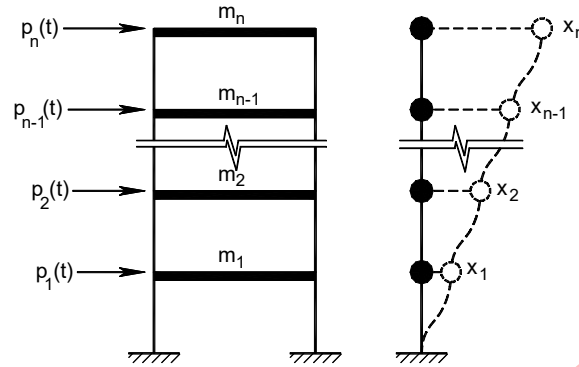
3.15. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler

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 3-19'de toplu kütle idealleştirilmesi ile kütlelerin kat düzeyinde toplandığı ve bağımsız değişkenlerin yalnızca yatay yerdeğişimlerden oluştuğu bir yapı sistemi gösterilmektedir.

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 Denk. (3.70) olarak yazılabilir.

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



Şekil 3-19 Çok serbestlik dereceli sistem

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.

3.15.1. Mod Şekilleri ve Açısal Frekanslar

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

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

şeklini almaktadır.

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

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

Burada $\{A\}$ hareketin genlik vektörünü ve ω açısal frekansı göstermektedir. Denk. (3.72) ve zamana göre ikinci türevi Denk. (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.

Genelleştirilmiş sönüm	$C_i = \{\phi_i\}^T [c] \{\phi_i\} = 2\xi_i \omega_i M_i$
Genelleştirilmiş rijitlik	$K_i = \{\phi_i\}^T [k] \{\phi_i\} = \omega_i^2 M_i$
Genelleştirilmiş yük	$P_i = \{\phi_i\}^T \{p(t)\}$
Genelleştirilmiş koordinat	Y_i

olarak adlandırılmak üzere hareket denklemi

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

veya

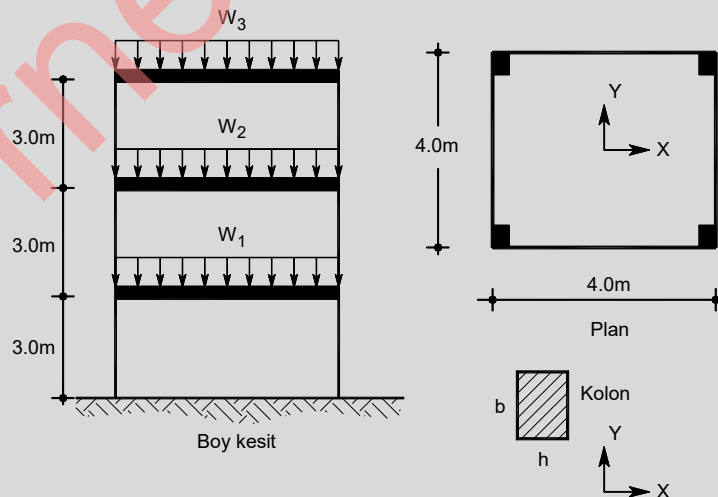
$$\ddot{Y}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = \frac{P_i}{M_i} \quad (3.92)$$

olarak yazılır. Böylece Denk. (3.70) verilen çok serbestlik dereceli sistemin dinamik davranışını gösteren diferansiyel denklem sistemi, genelleştirilmiş koordinat, kütle, sönüm, rijitlik ve yük kullanılarak ayrıklaştırılmış olur. Denk. (3.92) ile çok serbestlik dereceli bir sistemin herhangi bir titreşim modundaki hareket denklemi Denk. (3.37)'deki gibi tek serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemi ile aynı hale gelmekte ve Denk. (3.70)'de verilen çok serbestlik dereceli sistemin bağımlı hareket denklemi 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 3-6

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

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



Denk. (3.74) kullanılarak açısal frekanslar ve doğal titreşim periyotları elde edilir.

$$\begin{vmatrix} 100296 - 17.94\omega^2 & -33600 & 0 \\ -33600 & 48184 - 17.94\omega^2 & -14584 \\ 0 & -14584 & 14584 - 12.72\omega^2 \end{vmatrix} = 0$$

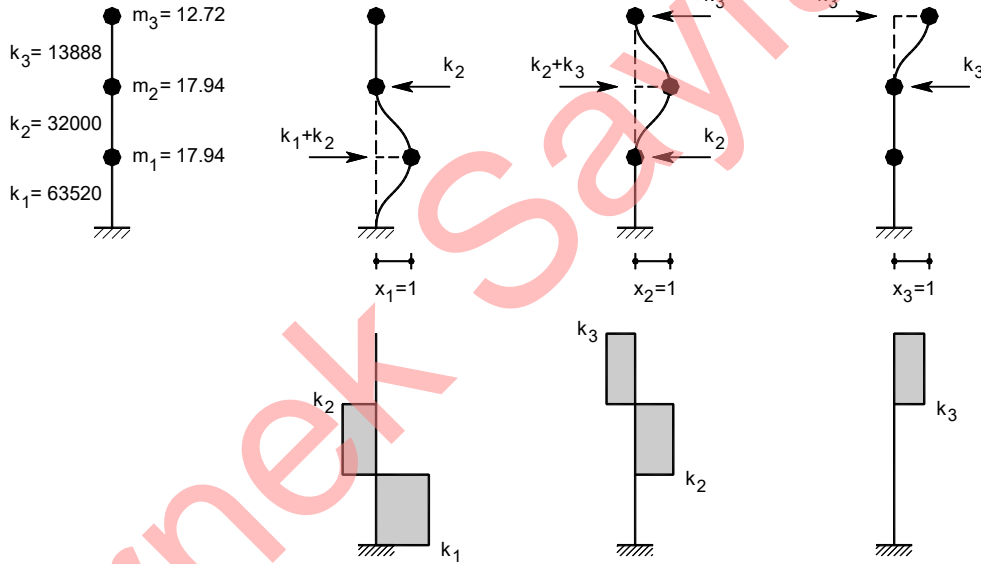
$$\omega^6 - 9423\omega^4 + 20065030\omega^2 - 7983323586 = 0$$

$$\omega_1 = 22.72 \text{ rad / s}, \omega_2 = 48.62 \text{ rad / s}, \omega_3 = 80.89 \text{ rad / s}$$

$$\omega_1 = 22.72 \rightarrow T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0.277 \text{ s}$$

$$\omega_2 = 48.62 \rightarrow T_2 = 0.129 \text{ s}$$

$$\omega_3 = 80.89 \rightarrow T_3 = 0.078 \text{ s}$$

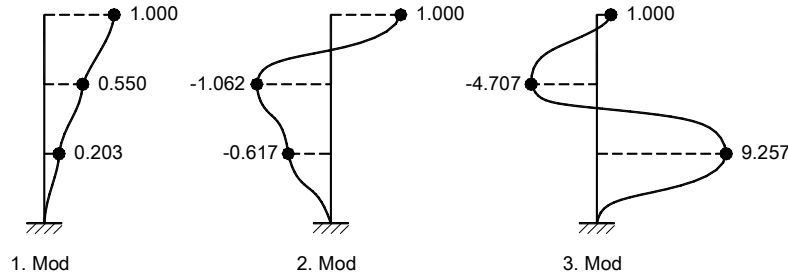


$\omega = \omega_1$ için

$$[k - m\omega_1^2][\phi_1] = \{0\}$$

$$\begin{bmatrix} 91036.85 & -33600 & 0 \\ -33600 & 38925 & -14584 \\ 0 & -14584 & 8019 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_{11} \\ \phi_{21} \\ \phi_{31} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

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



Normalizasyon işlemi Denk. (3.81)'de verilen yöntem ile yapılırsa

$$\begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 18.88 \\ 39.77 \\ 1947.9 \end{Bmatrix}$$

bulunur ve yeni durumda modal matris

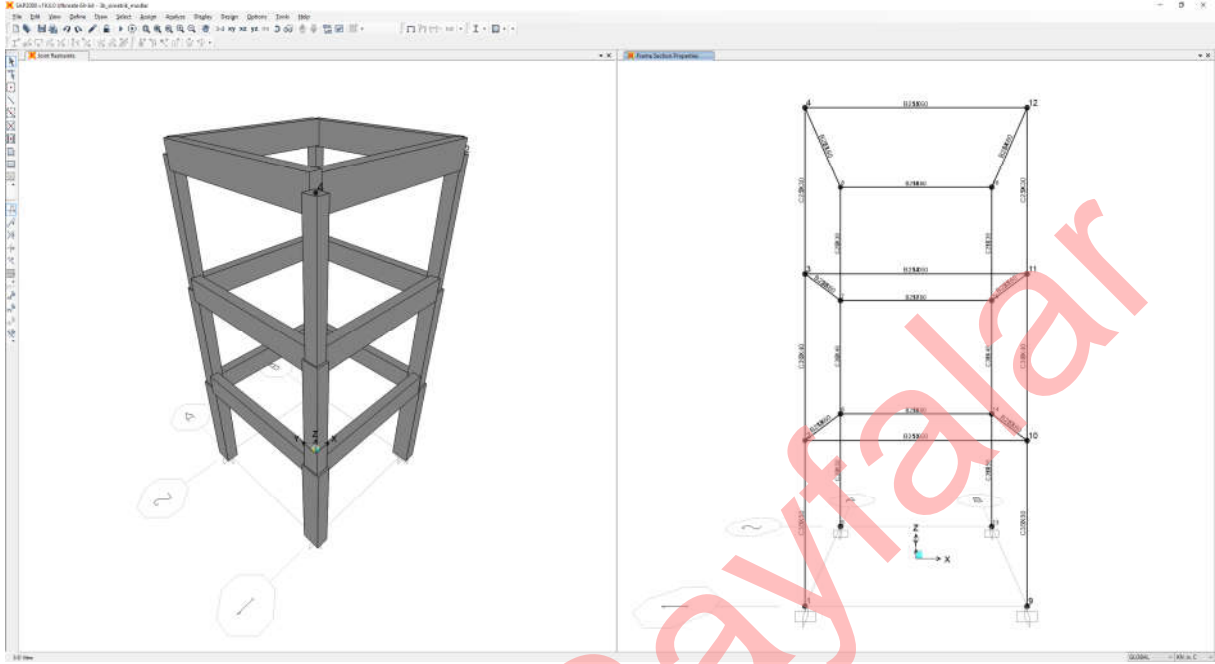
$$[\phi] = \begin{bmatrix} 0.0467 & -0.0978 & 0.2098 \\ 0.1265 & -0.1684 & -0.1066 \\ 0.2301 & 0.1586 & 0.0227 \end{bmatrix}$$

olarak elde edilir.

SAP2000 :Örnek 3-6'de verilen sistemin çözümü.

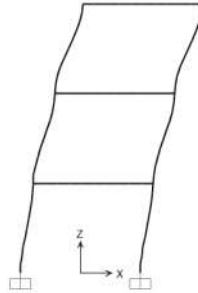
- SAP2000 programını çalıştırınız.
- Ekranın sağ alt köşesindeki birim bölümünden kN,m,C seçiniz.
- Menüde File-New Model → 3D Frames seçeneğini seçiniz.
 - 3D Frame Type açılır listesinden Open Frame Building seçeneğini seçiniz.
 - Number of Stories kutucuğuna 3 yazınız
 - Story Height kutucuğuna 3 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 çıkarın
 - Frames bölümünde Labels kutucuğunu seçili duruma getiriniz
 - Ekrandaki pencerenin alt bölümündeki Apply to All Windows kutucuğunu seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- Mesnet koşullarının uygulamak amacıyla 1,5,9,13 nolu düğüm noktalarını seçili duruma getirin.
- Menüde Assign-Joint-Restraints... seçeneğini seçiniz.
 - Ankastr mesnet tanımı için Translation ve Rotation kutucuklarının tamamını seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.

- 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 Options sekmesine tıklayınız.
 - View Type bölümünde Extrude 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 Apply düğmesine basınız.
- Klavyede F4 tuşuna basınız.
- 2,5,8,11 nolu kolonları seçiniz.
- Ekranada bulunan Assign Frame Properties penceresinden C30X40 seçeneğini seçiniz ve Apply düğmesine basınız.
- Klavyede F4 tuşuna basınız.
- 3,6,9,12 nolu kolonları seçiniz.
- Ekranada bulunan Assign Frame Properties penceresinden C25X30 seçeneğini seçiniz ve Apply düğmesine basınız.
- Klavyede F4 tuşuna basınız.
- Menüde Select-Select-Properties-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Ekranaya gelen pencerede FSEC1 kesitini seçiniz ve Select düğmesine basınız.
 - Tüm kirişlerin seçili duruma geldiğini kontrol ediniz ve Select by Frame Section Properties ileti kutusunda Close düğmesine basınız.
- Ekranada bulunan Assign 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.
 - Specify Joint Mass bölümünde As Mass seçeneğini seçiniz.
 - Mass Coordinate System açılır listesinden GLOBAL seçeneğini seçiniz.
 - Translation Global X kutucuğuna 4.485 (17.94/4) yazınız ve Apply düğmesine basınız.
- 4,8,12 ve 16 nolu düğüm noktalarını seçiniz.
- Ekranada bulunan Assign Joint Masses ileti kutusunda
 - Translation Global X 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.
- Ekranaya gelen pencerede Maximum Number of Modes kutucuğuna 3 yazınız ve 2 kez OK düğmesine basınız.



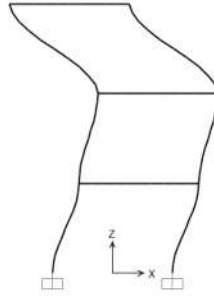
- Menüde Analyze-Run Analysis... seçeneğini seçiniz.
 - Run Now düğmesine basınız
 - Dosya adı istendiğinde uygun bir dosya adı veriniz
 - Çözümü yapınız.
- Sağ pencereye tıklayarak aktif duruma getiriniz.
- **xz** düğmesine basarsa düşey kesit görünümünü ekrana getiriniz.
- Menüde Display-Show Deformed Shape seçeneğini seçiniz.
- Case/Combo Name açılır listesinden MODAL'ı seçiniz
- Mode Number kutucuğuna 1 yazınız ve Apply düğmesine basınız. Ekrana gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 0.277s olarak gösterilmektedir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 0.27637; F = 3.61368



- Mode Number kutucuğuna 2 yazınız ve Apply düğmesine basınız. Ekrana gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 0.129s olarak gösterilmektedir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 2, T = 0.12923, F = 7.73936



- Mode Number kutucuğuna 3 yazınız ve Apply düğmesine basınız. Ekrana gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 0.0777s olarak gösterilmektedir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 3, T = 0.07768, F = 12.87354



- 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.
- Klavyede F4 tuşuna basarak şekildeğiştirmemiş sistem görünümünü ekrana getiriniz.
- 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.

Bu yöntemin kullanılmasında α ve β orantılık katsayılarının uygun seçilmesi gerekmektedir. Herhangi bir i 'inci mod için $K_i = \omega_i^2 M_i$ ve $C_i = 2\xi_i \omega_i M_i$ eşitlikleri kullanılarak

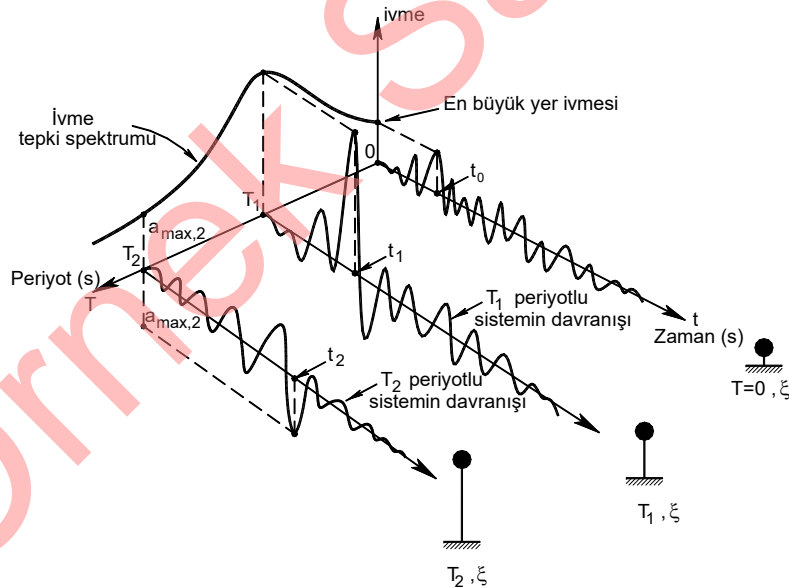
$$\frac{C_i}{M_i} = \alpha + \beta \omega_i^2 = 2\xi_i \omega_i ; \xi_i = \frac{\alpha}{2\omega_i} + \frac{\beta \omega_i}{2} \quad (3.95)$$

elde edilir. Denk.(3.95)'den sönüm matrisinin kütle matrisi ile orantılı seçilmesi durumunda, sönüm oranının titreşim frekansı ile ters orantılı olduğu, sönüm matrisinin rijitlik matrisi ile orantılı seçilmesi durumunda ise sönüm oranının titreşim frekansı ile doğru orantılı olduğu görülür, Şekil 3-22.

3.16. 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, dikey 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 3-23'de ivme tepki spektrumunun elde edilmesi grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 3-23 Tepki Spektrumunun grafiksel gösterimi

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.

olarak elde edilir. Denk. (3.97) ve Denk. (3.99) kütlelerin görelî yerdeğiştirme ve görelî hızını, Denk. (3.100) ise mutlak ivmesini veren bağıntılardır. Newton'un ikinci yasına göre atalet kuvvetleri mutlak ivme ile orantılı, Hooke yasına göre eleman iç kuvvetleri elemanın görelî yerdeğiştirmesi ile orantılı ve viskoz sönüme sahip sistemlerde sönüm kuvvetleri de görelî hız ile doğru orantılıdır.

Yapı sistemlerinde sönüm oranı ξ genellikle küçük değerlere sahiptir, bu nedenle $1 - \xi^2 \cong 1$, $\sqrt{1 - 2\xi^2} \cong 1$ ve $\omega_D \cong \omega$ olarak alınabilir. Bu durumda Denk.(3.99)'da ikinci terim, Denk. (3.100)'de birinci terim ξ ile doğrudan ilişkili olduğundan küçük değerler alacaktır ve ihmal edilebilirler. Sönümün küçük olması varsayımı ile sadeleştirme yapılırsa

$$\dot{x}(t) = -\int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \cos \omega_D(t-\tau) d\tau \quad (3.101)$$

$$\ddot{x}_t(t) = \omega \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau \quad (3.102)$$

elde edilir. Denk. (3.97) ve Denk. (3.102)'dan sönüm bulunmadığı durumda mutlak ivme $\ddot{x}_t(t) - \omega^2 x(t)$ değerine 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. Denk. (3.101), 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.

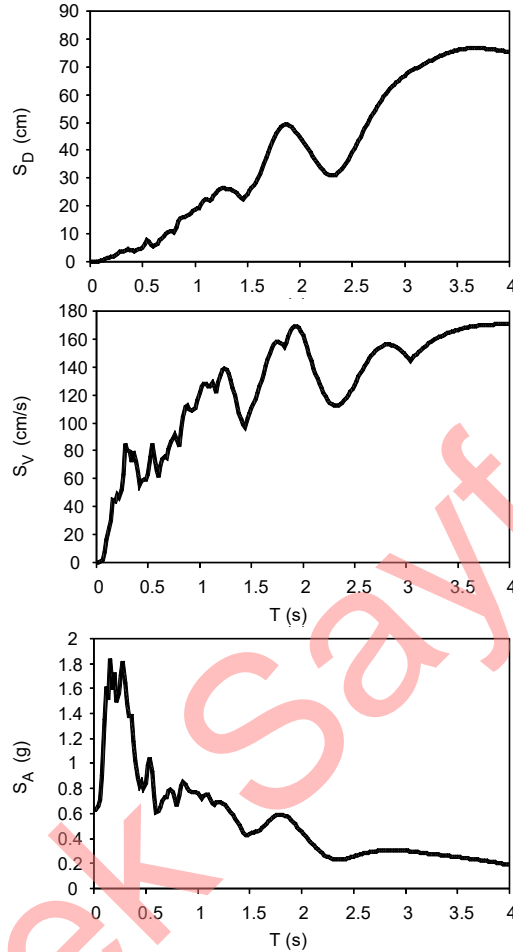
Tepkilerin en büyük değerleri spektral değerler olarak adlandırıldığından spektral yerdeğiştirme S_D , spektral hız S_V ve spektral ivme S_A aşağıdaki gibi tanımlanabilir. Tipik grafikleri Şekil 3-25'de gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} S_D(\xi, T) &= |x(t, \xi, T)|_{max} && \text{(en büyük görelî yerdeğiştirme)} \\ S_V(\xi, T) &= |\dot{x}(t, \xi, T)|_{max} && \text{(en büyük görelî hız)} \\ S_A(\xi, T) &= |\ddot{x}(t, \xi, T) + \ddot{x}_g(t)|_{max} && \text{(en büyük mutlak ivme)} \end{aligned} \quad (3.103)$$

Spektral sözde hız ve spektral sözde ivme de

$$S_v = \omega S_D = \frac{2\pi}{T} S_D \quad ; \quad S_a = \omega S_v = \omega^2 S_D = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 S_D \quad (3.104)$$

olarak elde edilir.

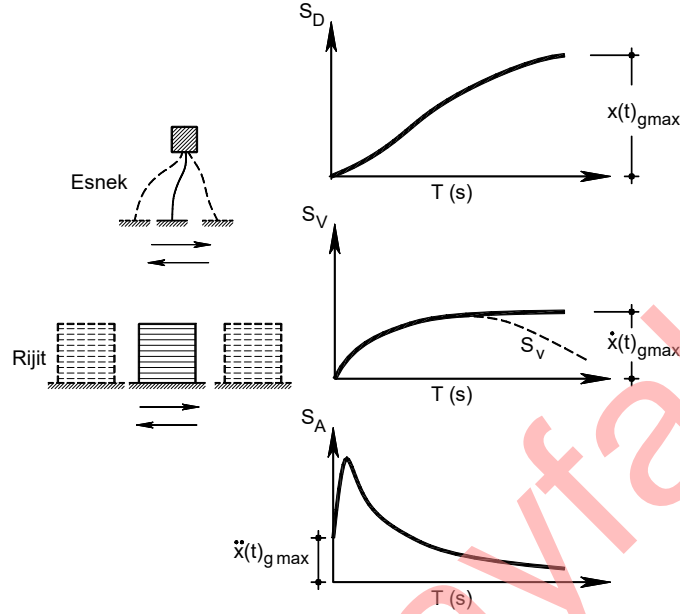


Şekil 3-25 Yerdeğiştirme, hız ve ivme spektrumlarını (Kocaeli Depremi 1999)

Büyükliklerin elde edilmişinden de anlaşılacağı üzere spektral sözde ivme S_a , spektral ivme S_A '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 3-26'de spektral hız ile spektral sözde hız grafiklerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.

Denk. (3.105)'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.

$$|S_D| = \left| \frac{S_V}{\omega} \right| = \left| \frac{S_A}{\omega^2} \right| \quad (3.105)$$



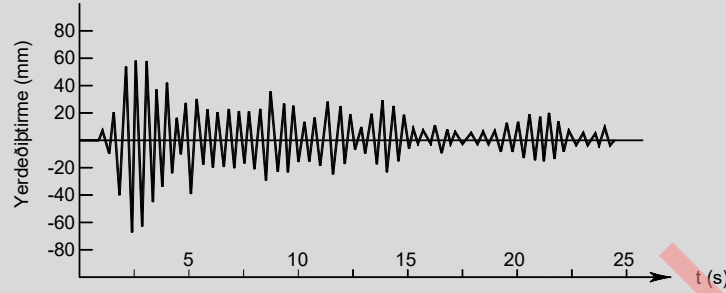
Şekil 3-27 Esnek ve rijit yapıların yer hareketi etkisinde davranışı

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 3-27’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 değeri de sıfıra yaklaşacaktır. Sözde ivme değeri de ω^2 ile orantılı T^2 ile ters orantılı olduğundan benzer biçimde sıfır değerine yaklaşacaktır.

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.

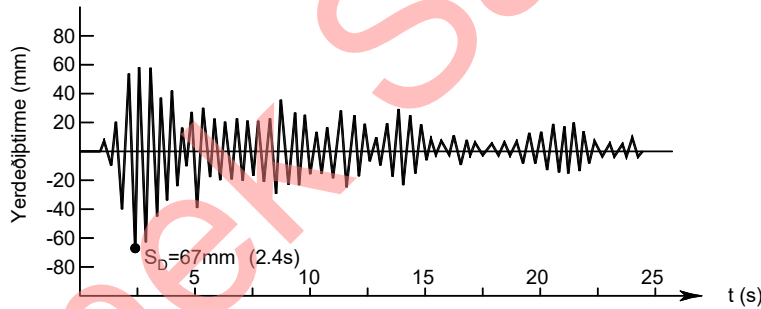
Örnek 3-7



Yukarıdaki şekil, tek serbestlik dereceli bir sistemin belirli bir deprem ivme kaydı etkisinde çözümünden elde edilen yerdeğiştirme-zaman grafiğini göstermektedir. Sistemin doğal titreşim periyodu 0.5s olarak belirlenmiştir.

- Deprem etkisinde sistemde oluşan en büyük yerdeğiştirme değerini ve oluşma zamanını belirleyiniz.
- Spektral yerdeğiştirme S_D , Spektral sözde ivme S_a değerlerini hesaplayınız.

Çözüm:



- Sistemde en büyük oluşan yerdeğiştirme mutlak değer olarak yerdeğiştirme-zaman grafiğinden 67mm olarak belirlenir. En büyük yerdeğiştirme 2.4s'de oluşmaktadır.
- Tanım gereği spektral yerdeğiştirme $S_D = 67mm$ olarak hesaplanır.

$$\text{Spektral sözde ivme } S_a = \omega^2 S_D = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 S_D = \left(\frac{2\pi}{0.5}\right)^2 0.067 = 10.58 \text{ m/s}^2$$

Deprem etkisinde tasarımda ivme değerleri genellikle yerçekimi ivmesi birim alınarak da gösterilmektedir.

Bu tür bir birim dönüşümü yapılırsa Spektral sözde ivme $S_a = \frac{10.58}{9.81} = 1.08g$ olarak elde edilir.

4. TASARIM İLKELERİ VE DEPREM ETKİLERİ

4.1. Giriş

Bir yapının deprem sırasındaki davranışı, oluşan depremin şiddetine ve yapının kalitesine bağlıdır. Yapı kalitesi; taşıyıcı sistem seçimi, elemanların uygun boyutlandırılması ve uygulamanın denetlenmesi gibi mühendisin kontrolünde olan aşamalara bağlı olduğundan, yeterli güvenlik daha çok bu değişkenler üzerinden sağlanmaya çalışılmaktadır. Oluşabilecek deprem şiddetinin belirlenmesi ise, yapının yapılacağı yerdeki arazi çalışmaları veya daha önce yakın bölgelerde oluşan depremlerin değerlendirilmesi ile öngörülmeğe 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. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde Tanımlanan Deprem Yer Hareketi Düzeyleri ve Bina Performans Düzeyleri

4.2.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

Deprem etkilerinin hesaplanmasındaki belirsizlikler nedeniyle yapının deprem etkilerine karşı belirli bir dayanıma sahip olarak tasarlanması gerekmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY) göre bina taşıyıcı sistemi, farklı büyüklüklerdeki olası deprem etkilerine (deprem yer hareketi düzeyleri) karşı, öngörülen belirli performans düzeylerini sağlamalıdır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde büyükten küçüğe doğru 4 adet deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır.

- *Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)*

DD-1 Deprem Yer Hareketi, gözönüne alınan en büyük deprem yer hareketi düzeyidir. DD-1, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini belirtmektedir. Bu deprem yer hareketi, gözönüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

- *Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)*

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini belirtmektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

- *Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)*

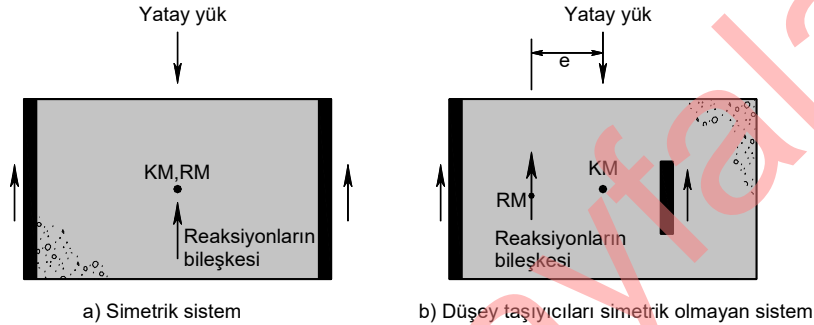
DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini belirtmektedir.

- *Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)*

DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini belirtmektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

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

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 (kata etkileyen burulma momenti) de oluşacaktır, Şekil 4-3.



Şekil 4-3 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 etkileyen burulma momenti sonucu dönme yerdeğiştirmesi de yaparlar. Bu ise kolon ve kirişlerde ek kesme kuvveti ve eğilme momentleri oluşmasına neden olmaktadır.

Deprem Yönetmeliğinde,

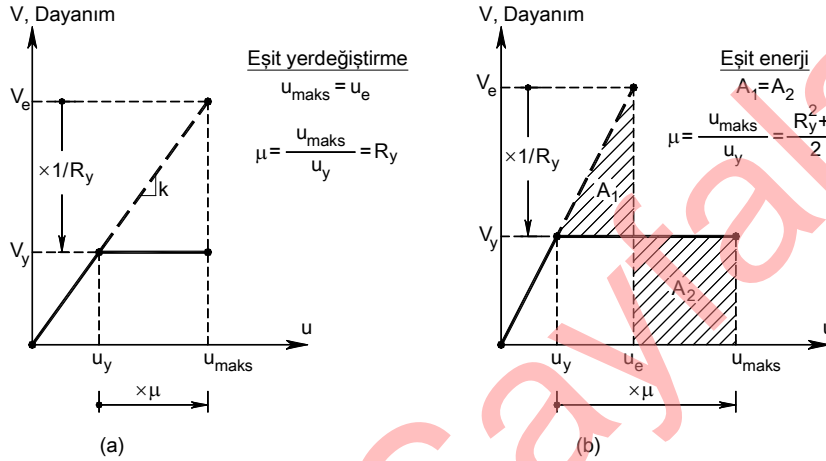
- Düzgün olmayan ve değişiklik gösterebilecek kütle dağılımları etkisini,
- Hesaplarda kullanılan eleman rijitliklerinin gerçek yapıdaki eleman rijitlik değerlerinden farklı olma olasılığını,
- Deprem sırasında farklı elemanlarda, farklı rijitlik kayıpları oluşmasından dolayı burulma etkileri oluşma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

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

4.4. 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,

Eşit enejji 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 bağlı bir katsayı ile çarpılması ile sağlanabilir.



Şekil 4-4 Eşit yerdeğiştirme ve eşit enerji kavramları

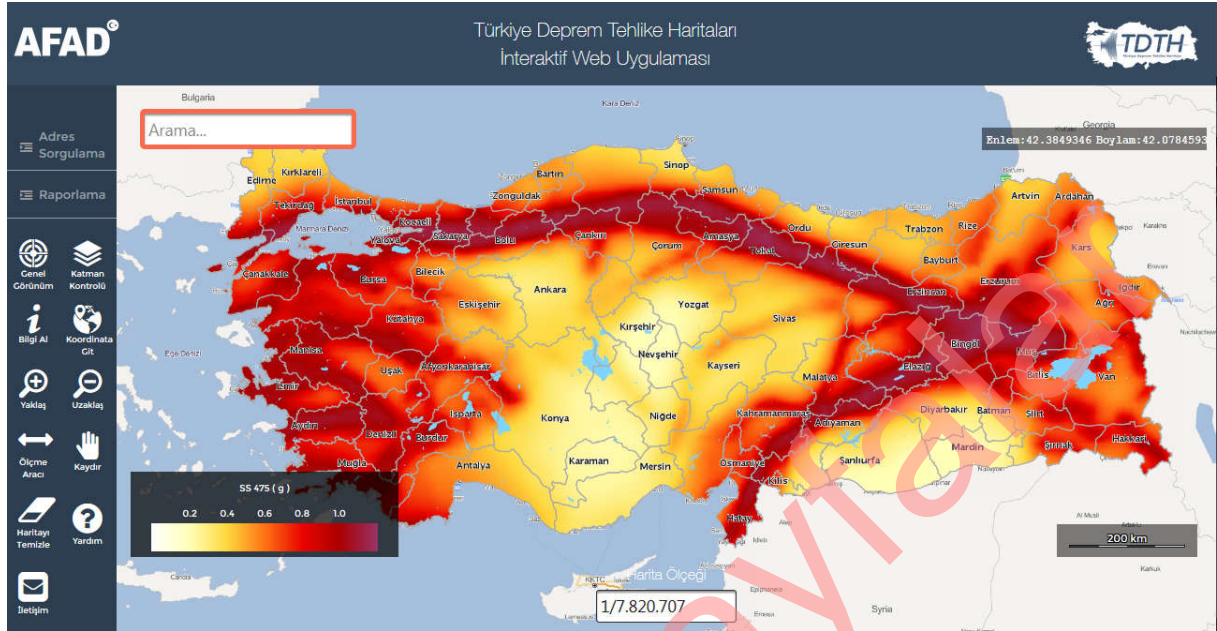
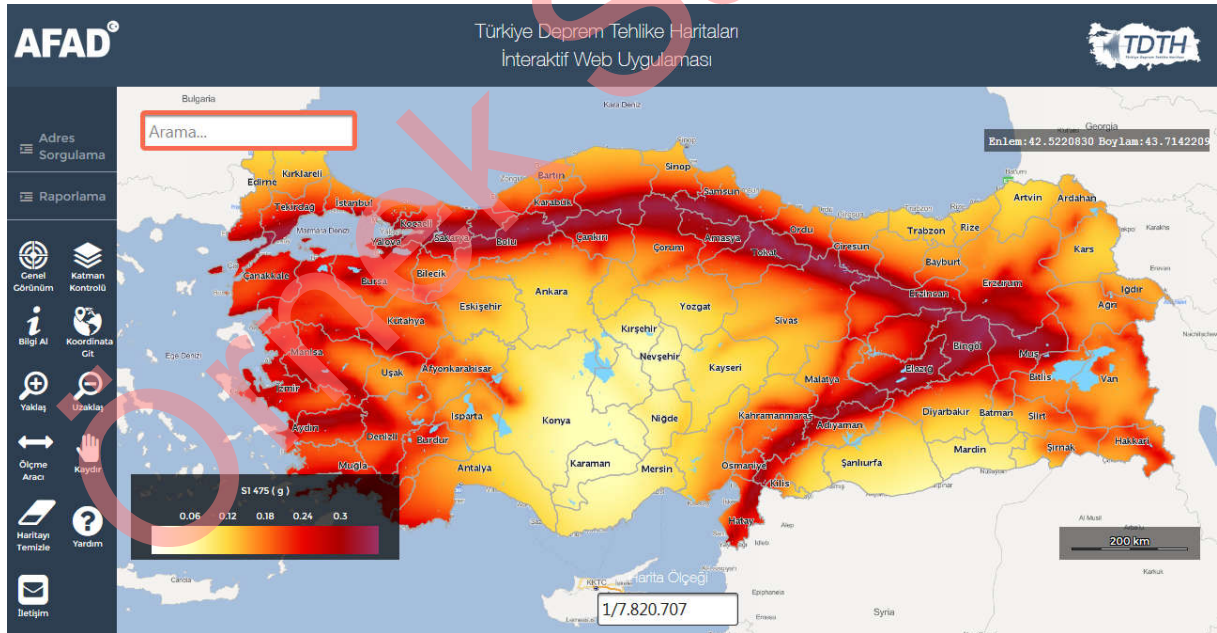
4.6. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları

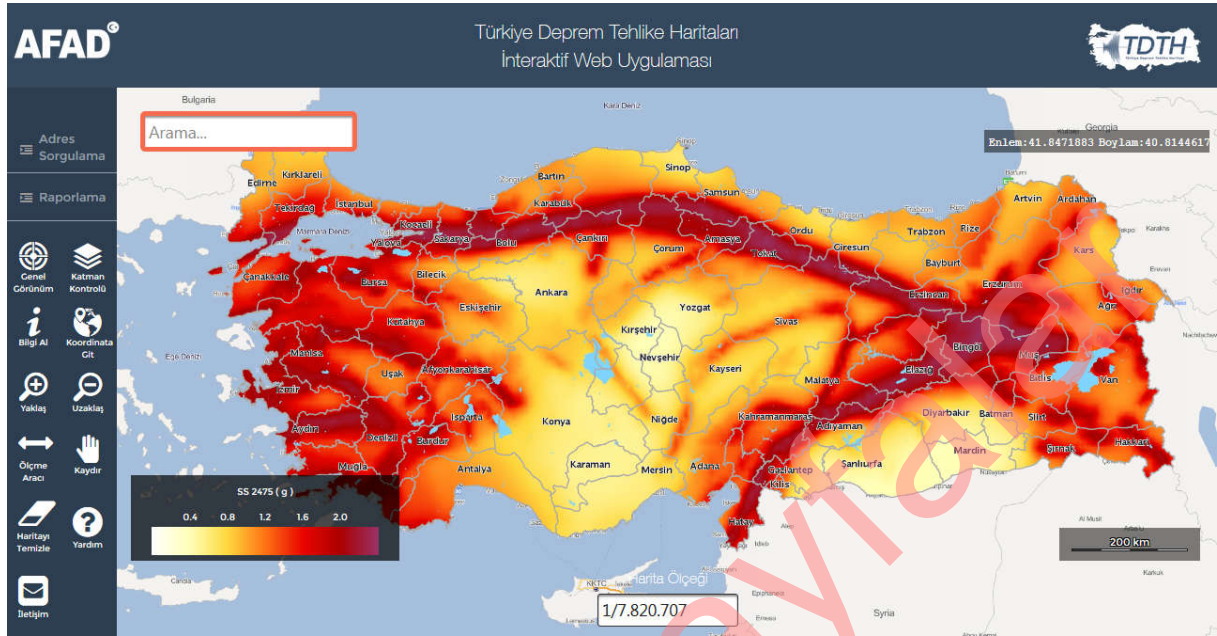
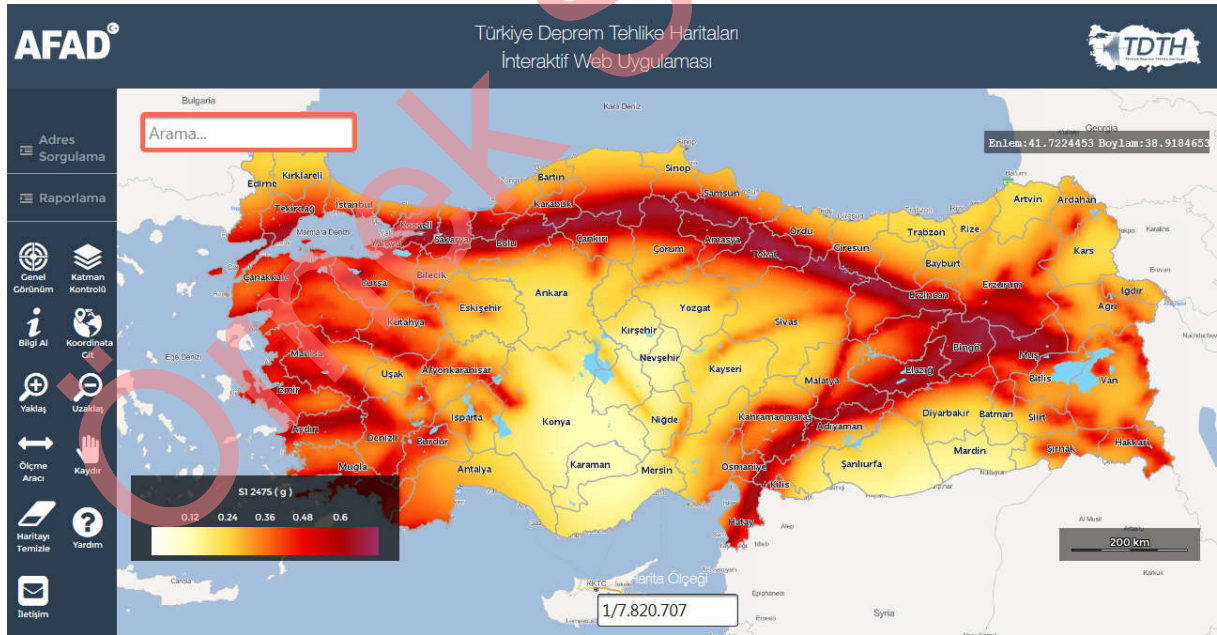
Binaların tasarımında esas alınan deprem yer hareketi düzeylerine karşı gelen deprem etkileri, *Türkiye Deprem Tehlike Haritaları* kullanılarak belirlenmektedir. Bu haritalara <https://tdth.afad.gov.tr> adlı internet adresinden ulaşılmaktadır. İlgili internet sayfasındaki interaktif web uygulaması kullanılarak, binanın bulunduğu enlem ve boylam bilgileri, zemin özelliği belirtilerek, tekrarlanma periyoduna bağlı olarak listelenen deprem yer hareketi düzeylerinde PGA , PGV , S_s , S_1 büyüklükleri belirlenebilmektedir. Haritalarda bu büyüklüklerin her biri farklı katman olarak gösterilmektedir. Aşağıda Şekil 4-5-Şekil 4-8 arasında iki farklı tekrarlanma periyodu için S_s ve S_1 ivme katsayıları haritaları gösterilmektedir.

4.7. Deprem Tepki Spektrumları

Bir yapının verilen bir deprem ivme kaydı kullanılarak çözümü yapılabilir. Ancak kullanılan deprem kaydının veya kayıtlarının daha sonraki zamanlarda 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 titreşim periyotları gözönüne alınmakta ve basitleştirme olarak sistem, tek serbestlik dereceli sisteme indirgenmektedir. Ayrıca deprem süresince oluşan kuvvetler ve yerdeğiştirmelerin zaman ile değişiminin belirlenmesi yerine bunların en büyük değerleri hesaplanmaktadır. En büyük etkilere karşı koyabilen yapının daha düşük etkileri de karşılayabileceği öngörülmüş olmaktadır.

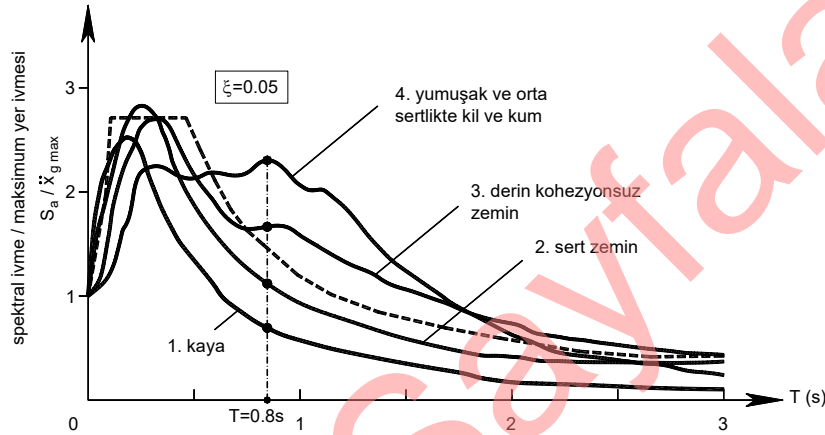
Bu amaçla Bölüm 3'de değinilen tepki spektrumu kavramı kullanılmaktadır.

Şekil 4-5 Türkiye Deprem Tehlike Haritası ($S_S - 475$)Şekil 4-6 Türkiye Deprem Tehlike Haritası ($S_1 - 475$)

Şekil 4-7 Türkiye Deprem Tehlike Haritası ($S_s - 2475$)Şekil 4-8 Türkiye Deprem Tehlike Haritası ($S_1 - 2475$)

değerleri için en büyük yer ivmesine oranlanarak çizilmiş tipik tasarım ivme spektrumu Şekil 4-10'da 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 4-11'de gösterilmiştir.



Şekil 4-11 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.

4.7.2. TBDY Deprem Yer Hareketi Spektrumları

Deprem yer hareketi spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulları esas alınarak %5 sönüm oranı için, harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak standart biçimde veya sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile özel olarak tanımlanırlar.

Deprem Tehlike Haritaları, iki spektral ivme değerini tanımlayacak şekilde, dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için Spektral İvme Haritaları olarak düzenlenmiştir.

Boyutsuz olarak tanımlanan harita spektral ivme katsayıları

- Kısa periyot bölgesi için harita spektral ivme katsayısı S_s
- 1.0s periyot için harita spektral ivme katsayısı S_1

olarak belirtilmiştir.

Harita spektral ivme katsayıları, birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu,

$(V_s)_{30} = 760m/s$, esas alınarak %5 sönüm oranı için Deprem Tehlike Haritalarında (<https://tdth.afad.gov.tr/>) verilen harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz katsayılar olarak tanımlanmıştır.

Tasarımda kullanılacak spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} , harita spektral ivme katsayılarına, yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$\begin{aligned} S_{DS} &= S_S F_S \\ S_{D1} &= S_1 F_1 \end{aligned} \quad (4.1)$$

Burada F_S ve F_1 yerel zemin etki katsayılarını göstermektedir.

Yerel zemin sınıflarına bağlı olarak yerel zemin etki katsayıları F_S ve F_1 , sırası ile, Tablo 4-1 ve Tablo 4-2'de verilmiştir. Tablolarda harita spektral ivme katsayılarının ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

ZF yerel zemin sınıfına giren zeminler için sahaya özel zemin davranış analizleri yapılmalıdır.

Tablo 4-1 Kısa Periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları

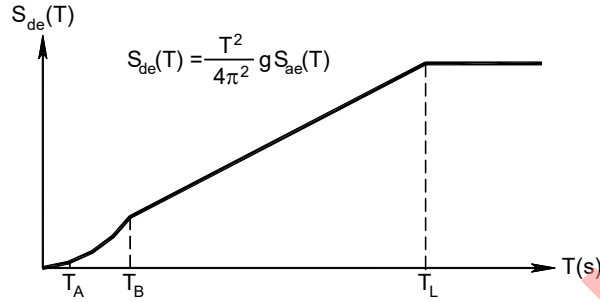
Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılmalıdır.					

Tablo 4-2 1.0 saniye Periyot için için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 sn periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılmalıdır.					

Yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} , S_{D1} kullanılarak tanımlanmaktadır.

Yatay Elastik Tasarım Yerdeğiştirme Spektrumunun tipik grafiği Şekil 4-13'de gösterilmektedir.



Şekil 4-13 Yatay Elastik Tasarım Yerdeğiştirme Spektrumu

4.7.2.2. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için düşey elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{aeD}(T)$, yatay deprem yer hareketi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivmesi katsayısına (S_{DS}) ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Denk.(4.5) ile tanımlanmaktadır.

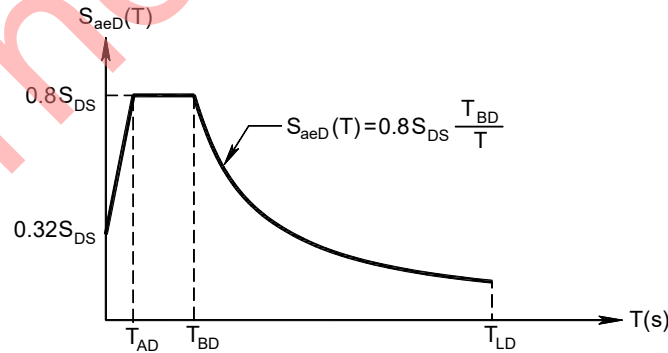
$$S_{aeD}(T) = \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}} \right) S_{DS} \quad (0 \leq T < T_{AD}) \quad (4.5a)$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8 S_{DS} \quad (T_{AD} \leq T \leq T_{BD}) \quad (4.5b)$$

$$S_{aeD}(T) = 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad (T_{BD} < T \leq T_{LD}) \quad (4.5c)$$

Tipik grafiği Şekil 4-14'de gösterilen düşey elastik spektrumun köşe periyotları T_{AD} ve T_{BD} ile T_{LD} periyodu Denk. (4.6)'de verilen bağıntılar ile hesaplanmaktadır.

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3}, \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3}, \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2} \quad (4.6)$$



Şekil 4-14 Düşey Elastik Tasarım İvme Spektrumu

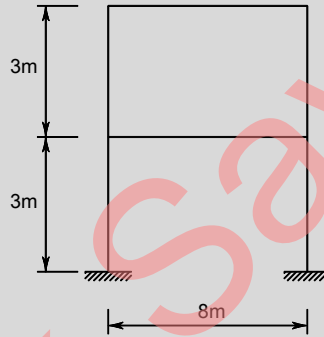
4.7.3. Sahaya Özel Deprem Yer Hareketi Spektrumu

Bazı özel durumlarda, sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile sahaya özel deprem yer hareketi spektrumlarının tanımlanması gerekli olabilir. TBDY’de bu spektrumların istenirse her durumda kullanılabilmesi belirtilmektedir. Sahaya özel yer hareketi spektrumlarının kullanılması durumunda kullanılacak spektrumun ordinatlarının tasarım spektrumu ordinatlarının %90’ından daha küçük olmaması gerekmektedir.

TBDY’de ayrıca ZF sınıfı olarak tanımlanan zeminlerde sahaya özel zemin davranış analizleri yapılması gerektiği, istenirse diğer zemin sınıflarındaki zeminlerde de sahaya özel zemin davranış analizlerinin yapılabileceği belirtilmektedir.

Örnek 4-1

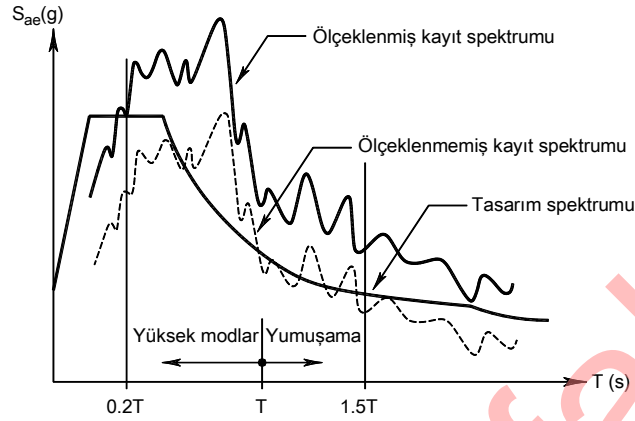
Şekilde gösterilen iki katlı bina ofis binası olarak kullanılacaktır. Zemin araştırması sonucu zemin cinsi orta sıkı kum ve üst 30m’deki ortalama kayma dalgası hızı $(V_s)_{30} = 450m/s$ olarak belirlenmiştir.



- Yerel zemin sınıfını belirleyiniz.
- Binanın İstanbul ili Kadıköy ilçesinde enlemi ve boylamı 40.98° Kuzey ve 29.05° Doğu olan yerde bulunduğunu varsayarak DD-2 için harita spektral ivme katsayıları S_S ve S_1 değerlerini belirleyiniz.
- Yerel zemin etki katsayılarını belirleyiniz.
- Tasarım spektral ivme katsayılarını belirleyiniz.

Çözüm:

- TBDY 2019 Tablo 16.1’e göre yerel zemin sınıfı ZC olarak belirlenir.
- <https://tdth.afad.gov.tr> adresinden spektral ivme katsayıları $S_S = 0.986$, $S_1 = 0.269$ olarak belirlenir.
- Yerel zemin sınıfı ZC ve spektral ivme katsayıları $S_S = 0.986$, $S_1 = 0.269$ olarak belirlenmiştir. TBDY 2019 Tablo 2.1 ve Tablo 2.2 kullanılarak yerel zemin etki katsayıları $F_S = 1.2$, $F_1 = 1.5$ olarak belirlenir.
- Tasarım spektral ivme katsayıları $S_{DS} = S_S F_S = 0.986 \cdot 1.2 = 1.183$ ve $S_{D1} = S_1 F_1 = 0.269 \cdot 1.5 = 0.404$ olarak hesaplanır.



Şekil 4-15 Deprem kaydı spektrumunun ölçeklenmesi

Mevcut deprem verileri ile bina özelliklerinin gerektirmesi ve sahaya özel deprem yer hareketi spektrumu belirlenmesi durumunda, binanın belirli sayıda titreşim periyodu ile ilişkilendirilen koşullandırılmış ortalama spektrumlarından [39] yararlanılarak, deprem kayıtlarının analiz sonuçlarında daha az saçılmayı sağlayacak şekilde seçilerek ölçeklendirilmesi yoluna gidilebilir.

4.8. TBDY’de Bina Kullanım, Deprem Tasarım ve Bina Yükseklik Sınıfları

TBDY’de tasarımda kullanılmak üzere temel bazı sınıflandırmalar yapılmıştır. Bunlar aşağıda verilen şekilde adlandırılmaktadır.

- Bina Kullanım Sınıfları
- Deprem Tasarım Sınıfları
- Bina Yükseklik Sınıfları

4.8.1. Bina Kullanım Sınıfları (BKS)

Bina Kullanım Sınıfları (BKS) binanın kullanım amacına bağlı olarak belirlenmektedir, Tablo 4-3. Bina Önem Katsayısı I ise, binanın kullanım amacına bağlı olarak tanımlanmaktadır. Depremden hemen sonra kullanımına gereksinim duyulan yapılarda ve insanların yoğun olarak bulunduğu binalarda bu katsayı göreceli olarak daha büyük değere sahiptir.

Örnek 4-2

Örnek 4-1’deki iki katlı ofis binasının Bina Kullanım Sınıfını (BKS) ve Bina Önem Katsayısını belirleyiniz.

Çözüm:

Bina işyeri binası olarak kullanılacağından TBDY Tablo 3.1 veya aşağıda verilen Tablo 4-3’den bina kullanımını sınıfı $BKS = 3$ ve Bina Önem Katsayısı $I = 1.0$ olarak belirlenir.

Tablo 4-3 Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	<p>Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</p> <p>a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)</p> <p>b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.</p> <p>c) Müzeler</p> <p>d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar</p>	1.5
BKS = 2	<p>İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</p> <p>Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.</p>	1.2
BKS = 3	<p>Diğer binalar</p> <p>Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)</p>	1.0

TBDY’de Bina Kullanım Sınıfları Deprem Tasarım Sınıfının (DTS) belirlenmesinde kullanılmaktadır.

4.8.2. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

Tasarımda esas alınacak Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) Bina Kullanım Sınıflarına (BKS) ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme katsayısına (S_{DS}) bağlı olarak belirlenmektedir, Tablo 4-4.

Tablo 4-4 Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

(DD-2) Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS=1	BKS=2,3
$S_{DS} < 0.33$	DTS=4a	DTS=4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS=3a	DTS=3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS=2a	DTS=2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS=1a	DTS=1

Örnek 4-3

Örnek 4-1'deki iki katlı ofis binasının Deprem Tasarım Sınıfını (DTS) belirleyiniz.

Çözüm:

$S_{DS} = 1.183 > 0.75$ ve $BKS = 3$ olduğundan TBDY Tablo 3.2 veya yukarıda verilen Tablo 4-4'den bina kullanımı sınıfı $DTS = 1$ olarak belirlenir.

4.8.3. Bina Yüksekliği ve Bina Yükseklik Sınıfları (BYS)

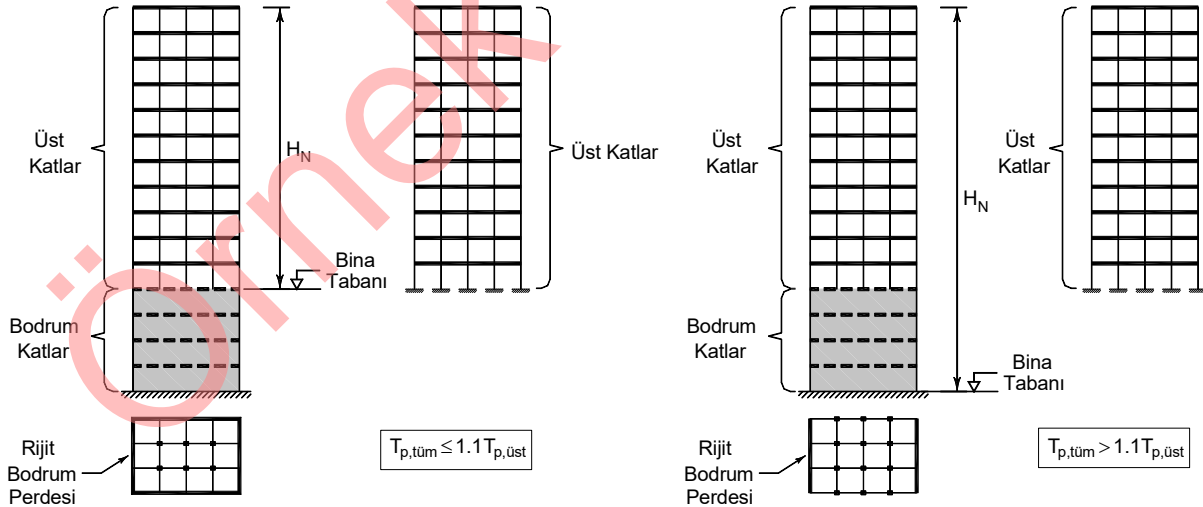
4.8.3.1. Bina Tabanı ve Bina Yüksekliği

Aşağıdaki koşulların her ikisini de sağlayan bodrumlu binalarda bina tabanı bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde tanımlanmaktadır.

- Rijit bodrum perdelerinin binayı her taraftan veya en az üç taraftan çevrelemesi,
- Birbirine dik bina eksenlerinin herbirinin doğrultusundaki hakim titreşim modunda, bodrum katlar dahil binanın tümü için hesaplanan doğal titreşim periyodunun, aynı taşıyıcı sistemde zemin kat döşemesi dahil tüm bodrum kütleleri hesaba katılmaksızın aynı doğrultuda hesaplanan doğal titreşim periyodu'na oranının 1.1'den küçük olması ($T_{p,tüm} \leq 1.1T_{p,üst}$).

Verilen koşullardan herhangi birini sağlamayan bodrumlu binalar ve bodrumsuz binalarda bina tabanı temel üst kotunda tanımlanmalıdır.

Deprem hesabı bakımından bina yüksekliği H_N , yukarıda tanımlanan bina tabanından itibaren ölçülen yükseklik olarak tanımlanır. Bu tanımda, çatı döşemesinin üzerinde yer alan asansör makina dairesi ve benzeri küçük kütleli uzantılar dikkate alınmayabilir.



Şekil 4-16 Bina Tabanı ve Bina Yüksekliği Tanımı

4.8.3.2. Bina Yükseklik Sınıfları (BYS)

TBDY’de deprem etkisi altında tasarımda, binalar yüksekliklerine ve Deprem Tasarım Sınıflarına (DTS) bağlı olarak sekiz adet Bina Yükseklik Sınıfına (BYS) ayrılmıştır. Bina Yükseklik Sınıfının belirlenmesi için ilgili bina yükseklik aralıkları ve Deprem Tasarım Sınıfları Tablo 4-5’de verilmektedir. BYS=1 olan binalar yüksek binalar olarak sınıflandırılmaktadır.

Tablo 4-5 Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS=1, 1a, 2, 2a	DTS=3, 3a	DTS=4, 4a
BYS=1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS=2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS=3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS=4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS=5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS=6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS=7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS=8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Örnek 4-4

Örnek 4-1’deki iki katlı ofis binasının Bina Yükseklik Sınıfını (BYS) belirleyiniz.

Çözüm:

Sözkonusu bina için $DTS = 1$ ve $H_N = 6m < 7m$ olduğundan TBDY Tablo 3.3 veya yukarıda verilen Tablo 4-5 kullanılarak bina yükseklik sınıfı $BYS = 8$ olarak belirlenir.

4.9. Depreme Dayanıklı Bina Tasarımında Kullanılan Yaklaşımlar

Depreme dayanıklı bina tasarımı için geliştirilen ve kullanılan yaklaşımlar aşağıda belirtilen iki grupta toplanabilir.

1. Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yöntemi, bina taşıyıcı sistemlerinin yeterli dayanım, rijitlik ve süneklik koşullarını sağlayacak şekilde tasarımını öngören yaklaşımdır. Bu yöntemde Can Güvenliği performans hedefini sağlamak üzere azaltılmış deprem yükleri etkisinde taşıyıcı sistemin doğrusal hesabı yapılmaktadır.
2. Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımı ise çeşitli performans hedefleri için taşıyıcı sistemin gerçek davranışının modellenmesine ve doğrusal olmayan hesabına dayanan yaklaşımdır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde de bu iki tasarım yaklaşımı esas alınmıştır.

olmaktadır. Ayrıca görelî yerdeğiştirmelerin büyük olması, ikinci mertbe etkilerin büyümesine ve sistemin kararlılığının (stabilitesinin) azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarımında yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması önemli tasarım koşullarından biridir.

4.11.4. 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.

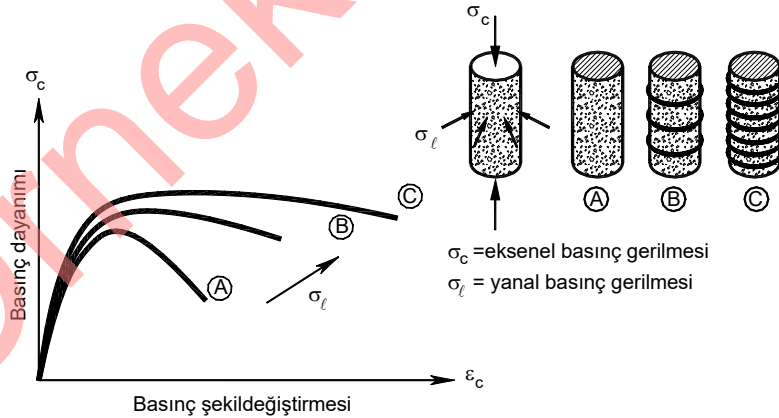
4.11.4.1. Süneklik Türleri

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 ve olumlu bir davranış özelliğidir.

Süneklik,

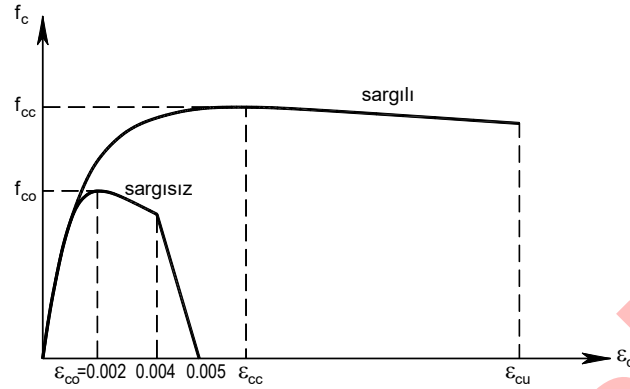
- Malzeme sünekliği
- Kesit sünekliği
- Eleman sünekliği
- Sistem sünekliği

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



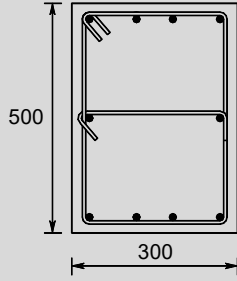
Şekil 4-18 Sargı etkisi ile betonun gerilme-şekildeğiştirme davranışının değişimi

Malzeme sünekliği ilgili malzemenin gerilme-şekildeğiştirme diyagramından belirlenebilir. 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 4-18.



Şekil 4-19 Sargılı ve Sargısız beton için gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi

Örnek 4-5



Verilen kesit için sargılı ve sargısız beton gerilme-şekil değiştirme ilişkisini elde ederek bir grafik üzerinde gösteriniz.

Malzeme C30/S420 Net beton örtüsü $d' = 30\text{mm}$.

Boyuna donatı : $\phi 20$

Etriye: $\phi 10/150\text{mm}$

Çözüm:

Sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin belirlenmesi:

$$E_c \cong 5000\sqrt{f_{co}} = 5000\sqrt{30} = 27386\text{MPa}$$

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\epsilon_{cc}} = \frac{30}{0.002} = 15000\text{MPa}$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} = \frac{27386}{27386 - 15000} = 2.21$$

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} = \frac{\epsilon_c}{0.002}$$

Sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme bağıntısı

$$f_c = \frac{f_{cc} x^r}{r - 1 + x^r} = \frac{30 \cdot \left(\frac{\epsilon_c}{0.002}\right) \cdot 2.21}{2.21 - 1 + \left(\frac{\epsilon_c}{0.002}\right)^{2.21}}$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} = \frac{27386}{27386 - 9464} = 1.528$$

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} = \frac{\varepsilon_c}{0.00371}$$

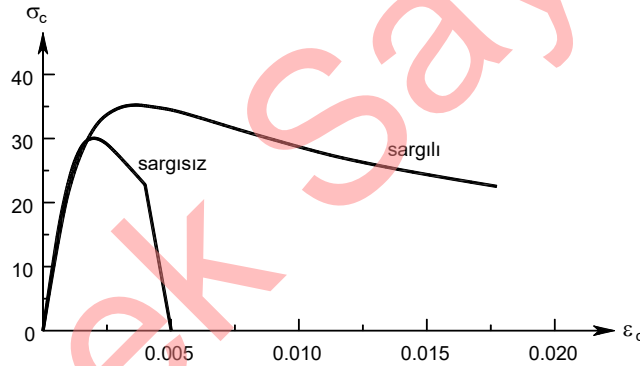
Sargılı beton için gerilme-şekil değiştirme bağıntısı

$$f_c = \frac{f_{cc} x^r}{r - 1 + x^r} = \frac{35.1 \cdot \left(\frac{\varepsilon_c}{0.00371} \right) \cdot 1.528}{1.528 - 1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{0.00371} \right)^{1.528}}$$

olarak elde edilir.

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} = 0.004 + \frac{1.4 \cdot 0.00821 \cdot 420 \cdot 0.1}{35.1} = 0.0177$$



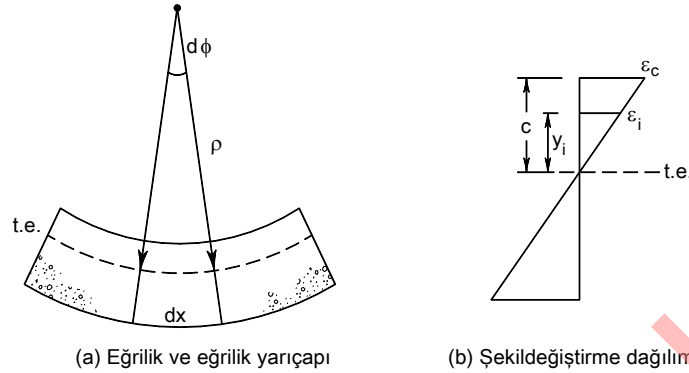
Sargı etkisi ile betonun dayanımının ve sünekliğinin arttığı görülmektedir.

4.11.4.2. Moment-Eğrilik İlişkisi ve Kesit Sünekliği

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 şekil değiştirmeyi 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.

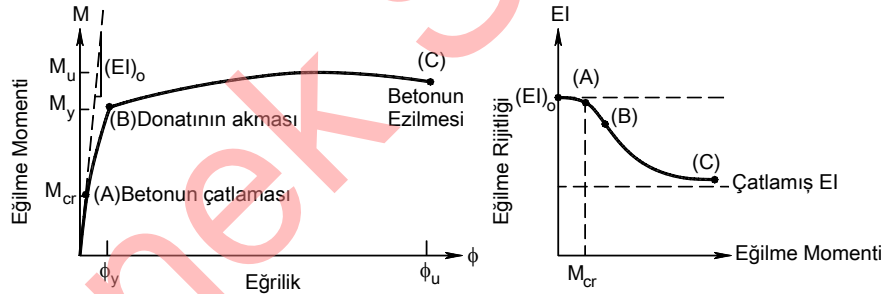


Şekil 4-20 Eğrilik

Şekil 4-20’da eğilme ve aksenal kuvvet etkisi altında şekildeğiştirmiş bir eleman parçası gösterilmektedir. Eğrilik tanımlanarak Denk. (4.14) elde edilir.

$$\kappa = \frac{d\phi}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_i}{y_i} = \frac{\varepsilon_c}{c} \quad (4.14)$$

Şekil 4-21’de ise basit eğilme etkisindeki 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.

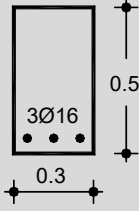


Şekil 4-21 Basit eğilmede moment-eğrilik ve eğilme rijitliği-eğilme momenti ilişkisi [21]

Eğilme etkisindeki bir betonarme kesitte süneklik, kesitin dayanımında önemli bir azalma oluşmadan oluşan en büyük eğrilik, çekme donatısında akmanın olduğu durumdaki eğrilığe oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$\mu = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (4.15)$$

Örnek 4-6



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

Çözüm:

$$\text{C25 için } E_c = 30000\text{MPa} \quad f_{ck} = 25\text{MPa} \quad f_{ctk} = 1.8\text{MPa}$$

$$\text{S420 için } E_s = 200000\text{MPa} \quad f_{yk} = 420\text{MPa}$$

$$\text{Çekme donatı alanı } A_s = 603\text{mm}^2$$

Çatlama Momenti

Eğilmde çekme dayanımı eksenle çekme dayanımının iki katı kabul edilirse

$$\sigma_c = 2f_{ctk} = 2 \cdot 1.8 = 3.6\text{MPa} \text{ olarak hesaplanır..}$$

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

$$n - 1 = 5.67$$

$$A = 300 \cdot 500 + 5.67 \cdot 603 = 153419\text{mm}^2$$

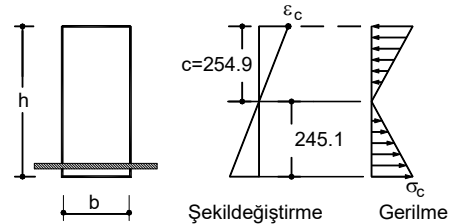
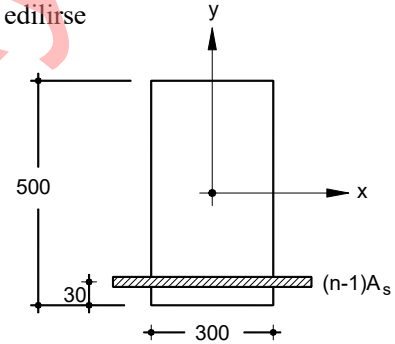
$$y_{alt} = 245.1\text{mm} \quad y_{üst} = 254.9\text{mm}$$

$$y_{donatı} = 215.1\text{mm}$$

$$I = 300 \cdot \frac{500^3}{12} + 300 \cdot 500 \cdot (254.9 - 250)^2 + 3419 \cdot 215.1^2 = 3286.8 \cdot 10^6\text{mm}^4$$

$$M_{cr} = \sigma_c \frac{I}{y_{alt}} = 3.6 \frac{3286.8 \cdot 10^6}{245.1} \rightarrow M_{cr} = 48.28\text{kNm}$$

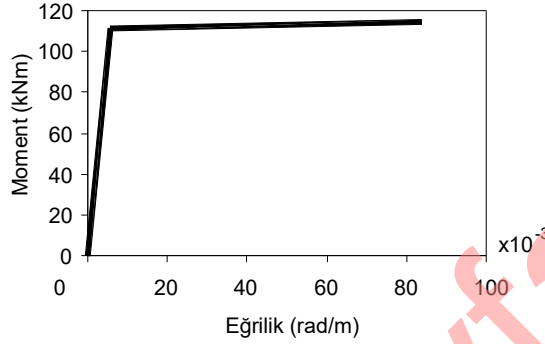
$$\phi_{cr} = \frac{\sigma_c / E_c}{c} = \frac{3.6 / 30000}{245.1} = 0.49 \cdot 10^{-6}\text{rad} / \text{mm}$$



$$F'_s = 59.04 kN$$

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

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



Dönme sünekliği

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

İki sayısal örnek karşılaştırıldığında çekme donatısı miktarı değiştirilmeden basınç bölgesine donatı eklenmesinin, kesit sünekliğinin artmasını sağladığı gözlemlenebilir. Çekme donatısı alanı değişmediğinden eğilme momenti taşıma kapasitesinde aynı oranda artış olmamaktadır.

SAP2000 Örnek 4-7'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.
 - Ekranaya gelen ileti kutusunda Show Advanced Properties (Gelişmiş özellikleri göster) kutucuğunu seçili duruma getiriniz.
 - Add New Material... düğmesine basınız.
 - Ekranaya gelen Add Material Property penceresinde Region bölümünde User ve Material Type bölümünde Concrete seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
 - Ekranaya gelen Material Property Options penceresinde Material Name kutucuğuna C25 yazınız.
 - Modify/Show Material Properties düğmesine basınız.
 - Weight per Unit Volume ve Mass per Unit Volume kutucuklarına 0 yazınız.
 - Modulus of Elasticity, E kutucuğuna 30000000 yazınız
 - Poissons'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.
 - 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.

Nonlinear Material Data

Edit

Material Name: C25 Material Type: Concrete

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

Stress-Strain Curve Definition Options: Parametric User Defined

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

	Strain	Stress	Point ID
1	-3.000E-03	-21250.	
2	-2.000E-03	-21250.	
3	-1.750E-03	-20917.97	
4	-1.500E-03	-19921.88	
5	-1.250E-03	-18261.72	
6	-1.000E-03	-15937.5	
7	-7.500E-04	-12949.22	
8	-5.000E-04	-9296.88	
9	-2.500E-04	-4980.47	
10	0	0.	A
11	1.000E-06	1.	

OK Cancel

Material Property Data

Material Name: S420 Material Type: Rebar Symmetry Type: Isotropic

Modulus of Elasticity: E: 2.000E+08 Weight and Mass: Weight per Unit Volume: 0. Mass per Unit Volume: 0. Units: KN, m, C

Poisson: U: 0.3 Other Properties for Rebar Materials: Minimum Yield Stress, Fy: 420000. Minimum Tensile Stress, Fu: 420000. Expected Yield Stress, Fye: 420000. Expected Tensile Stress, Fue: 420000.

Coeff of Thermal Expansion: A: 1.200E-05 Shear Modulus: G: 76923077.

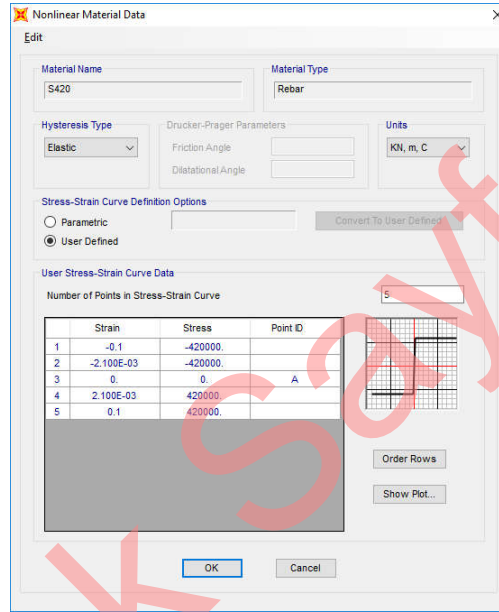
Advanced Material Property Data: Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties... Thermal Properties...



OK Cancel

- 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.

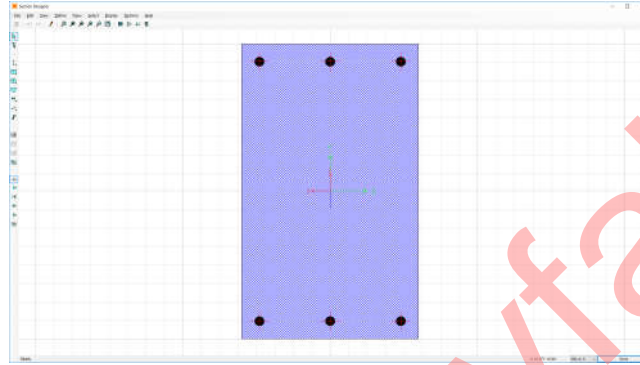
Strain	Stress
-0.1	-420000
-2.10E-03	-420000
0	0
2.10E-03	420000
0.1	420000


- Dört kez OK düğmesine basınız

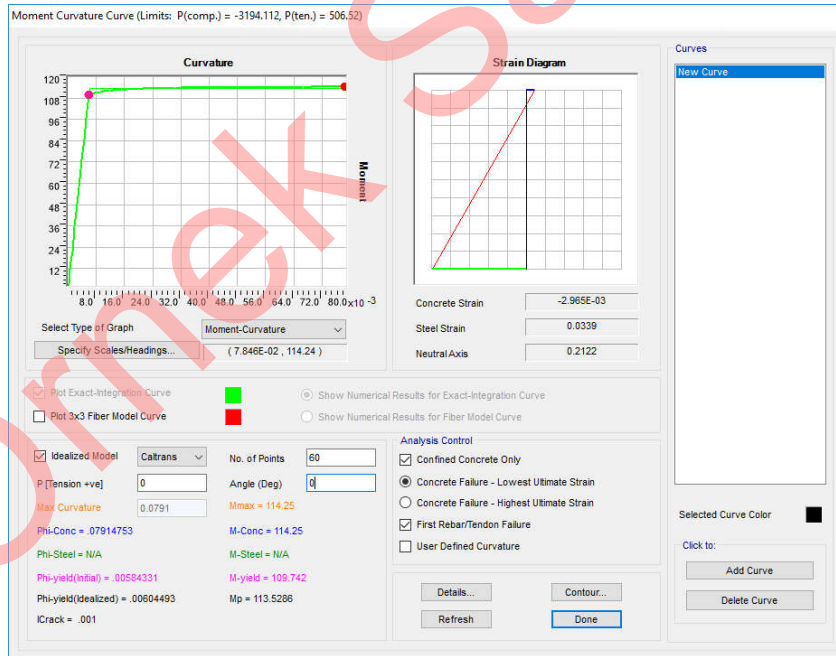


- Menüde Define-Section Properties-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Add New Property düğmesine basınız.
 - Frame Section Property Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz.
 - Section Designer düğmesine basınız.
 - Section Name kutucuğuna C50X30 yazınız
 - Base Material açılır listesinden C25'i 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

- 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.
 - Ekrana gelen ileti kutusunda No. of Points kutucuğuna 60 yazınız.
 - Caltrans Idealized Model kutucuğunu seçili duruma getirin.



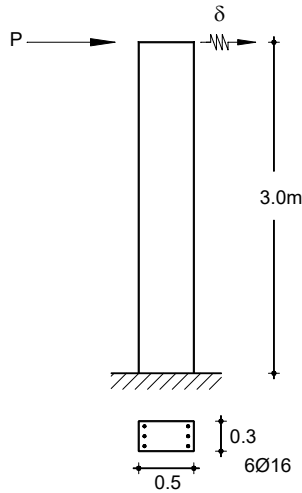
- Details düğmesine basarak sonuçların ayrıntılarını inceleyiniz.
- Akma durumunda moment $M_y = 109.7 \text{ kNm}$, karşı gelen eğrilik $5.84 \text{ E-}3 \text{ rad/m}$ olarak belirlenmiştir.
- Güç tükenmesi durumunda moment $M_u = 114.25 \text{ kNm}$ karşı gelen eğrilik 0.0791 rad/m olarak belirlenmiştir.

	M_y (kNm)	ϕ_y ($\times 10^{-6}$ rad/mm)	M_u (kNm)	ϕ_u ($\times 10^{-6}$ rad/mm)
Teorik	111.3	5.56	114.3	83.68
Section Designer	109.4	5.84	114.25	79.1

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 4-8:



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

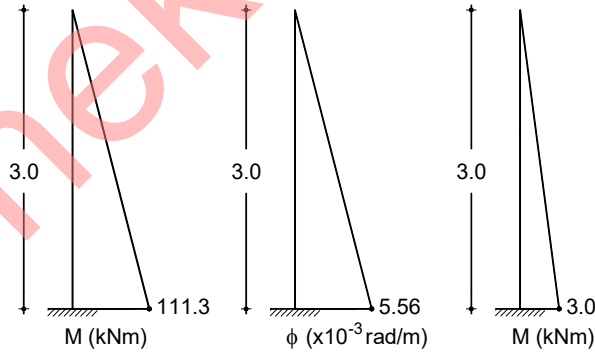
Malzeme: C25/S420 $d'=30$ mm

Çözüm:

Kesit ve malzeme özellikleri Örnek 4-7'de verilen kesit ile aynı olduğundan akma ve güç tükenmesi durumunu karşı gelen eğilme momenti ve eğrilik değerleri Örnek 4-7'den alınarak çözüme devam edilmektedir.

$$M_y = 111.3 \text{ kNm} \quad \phi_y = 5.56 \cdot 10^{-6} \text{ rad / mm}$$

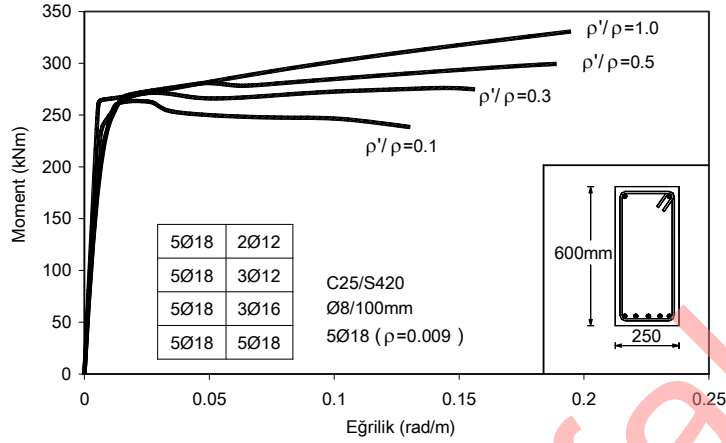
$$M_u = 114.3 \text{ kNm} \quad \phi_u = 83.68 \cdot 10^{-6} \text{ rad / mm}$$



Akma durumunda yerdeğiştirmenin belirlenmesi farklı yöntemler kullanılarak yapılabilir.

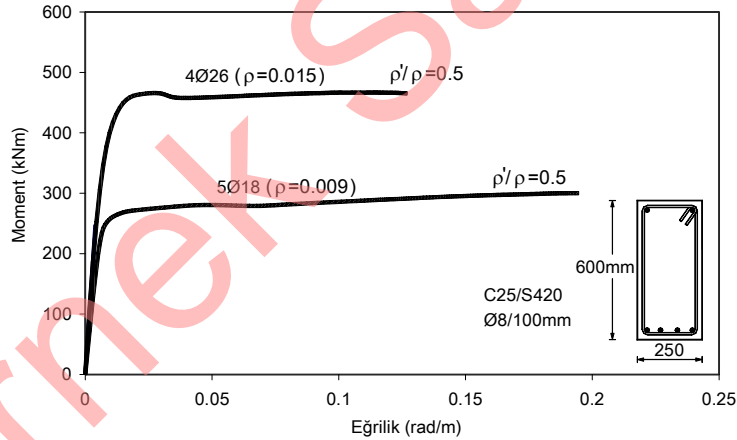
Mohr Yöntemi ile

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



Şekil 4-22 Basit eğilme durumunda basınç donatısı oranının süneklığe etkisi

Deprem yönetmeliğinde verilen (Madde 7.4.2.4) “süneklilik 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 süneklilik kazandırma amaçlıdır.



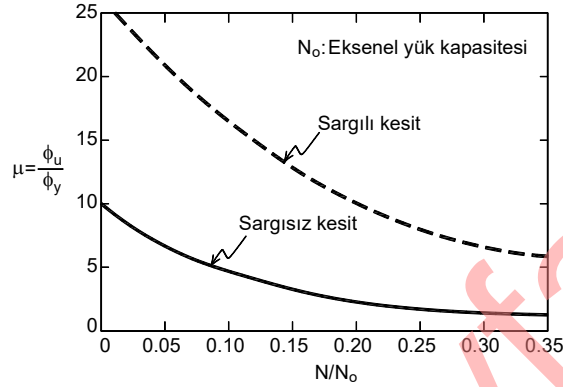
Şekil 4-23 Basit eğilme durumunda çekme donatısı oranının süneklığe etkisi

Şekil 4-24’de çekme donatı oranı ve basınç donatısı/çekme donatısı oranının süneklığe etkisi birlikte gösterilmektedir. Burada aşağıdaki gözlemler yapılabilmektedir.

- Çekme donatısı oranı arttıkça süneklilik azalmaktadır.
- Aynı çekme donatısı oranı için basınç donatısının çekme donatısına oranı arttıkça (A'_s / A_s) süneklilik artmaktadır.

Şekil 4-28'de eksenel yük düzeyi ve sargı etkisinin süneklığe etkisi birlikte gösterilmektedir. Buradan aşağıdaki gözlemler yapılabilmektedir.

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



Şekil 4-28 Eksenel yük düzeyi ve sargı etkisi ile sünekliliğin değişimi

4.11.4.6. Sistem Sünekliliği

Sistem sünekliliği, taşıyıcı sistemin önceden belirlenen bazı kesitlerinin yeterli düzeyde plastik şekildeğiştirme yapabilme yeteneğine sahip olması ve deprem sırasında sisteme aktarılan enerjinin bu kesitlerde oluşacak plastik şekildeğiştirmeler ile söndürülmesiyle sağlanmaktadır.

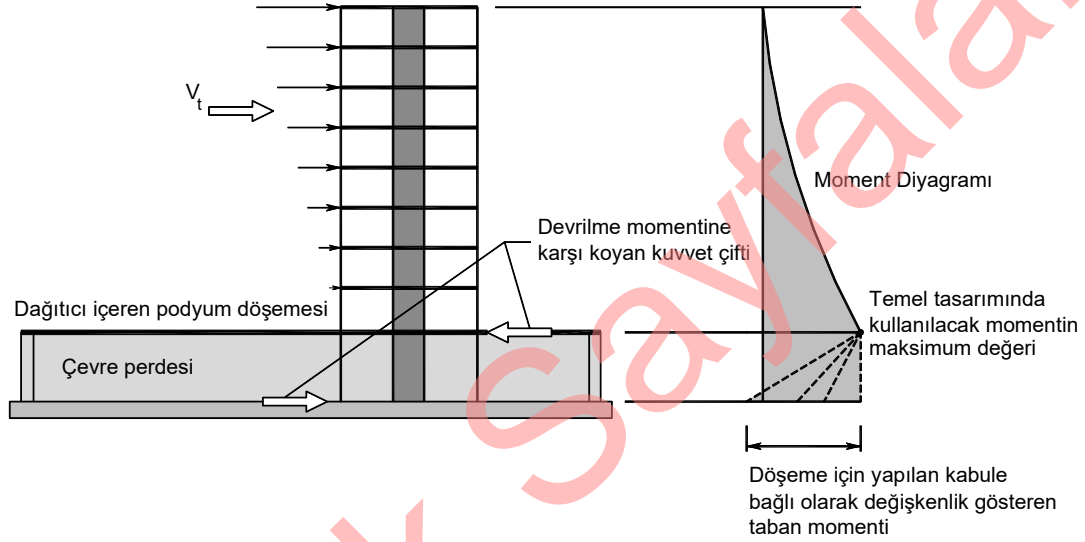
Sistem sünekliliğinin sağlanması için

- Taşıyıcı sistem için plastikleşmenin oluşacağı kesit dağılımının (mekanizma durumunun) uygun şekilde seçilmesi,
- Plastikleşmenin oluşacağı kesitlerde yeterli düzeyde plastik şekildeğiştirme kapasitesinin bulunmasının sağlanması,
- Kapasite tasarımı ilkelerine uygun şekilde gevrek geçmeyi oluşturabilecek etkilere karşı gerekli kapasitelerin yüksek tutulması ve gevrek geçmenin önlenmesi

gerekmektedir.

Döşemelerde büyük boşluklardan olabildiğince kaçınılmalıdır. Tersi durumda, eylemsizlik kuvvetlerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına aktarılmasını sağlamak üzere boşluk kenarlarında yeterli rijitlik ve dayanıma sahip yatay elemanlar düzenlenmelidir.

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 üstteki katlarda oluşan deprem kuvvetlerinin büyük kısmını bodrum katlardaki çevre perdelerine aktaran geçiş döşemelerinde düzlem içi etkiler oluşturmaktadır. Bu etkiler karşısında döşemenin düzlem içi rijitliğinin ve dayanımının yeterli olması gerekmektedir, Şekil 4-29.



Şekil 4-29 Devrilme momentinin döşeme düzlemi içinde oluşturduğu etkiler

4.11.6. Taşıyıcı Sistemin Düzenli ve Simetrik Olarak Düzenlenmesi

Taşıyıcı sistemin planda düzenli ve simetrik olarak düzenlenmesi, döşemelerdeki yayılı kütlelerden kaynaklanan eylemsizlik kuvvetlerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına en uygun biçimde aktarılmasını sağlar. Simetrik taşıyıcı sistem düzenlemesi ile kütle, rijitlik ve dayanım bakımlarından oluşabilecek dışmerkezliliklerin de önüne geçilebilmekte ve öngörülebilir bir deprem davranışı gerçekleştirilebilmektedir.

Taşıyıcı sistem düşey doğrultuda da düzenli biçimde oluşturulmalıdır. Böylece kat rijitliğinde ve dayanımında ani değişimler nedeni ile oluşabilecek yumuşak kat ve zayıf kat düzensizliklerinin ortaya çıkma olasılığı azaltılmış olacaktır.

4.11.7. Düzensizlikler

TBDY’de binalarda bulunabilecek düzensizlikler,

- Planda düzensizlik durumları (A türü düzensizlik durumları)
- Düşeyde düzensizlik durumları (B türü düzensizlik durumları)

olarak iki sınıfa ayrılmıştır.

4.11.7.1. Planda Düzensizlik Durumları

A1- Burulma düzensizliği

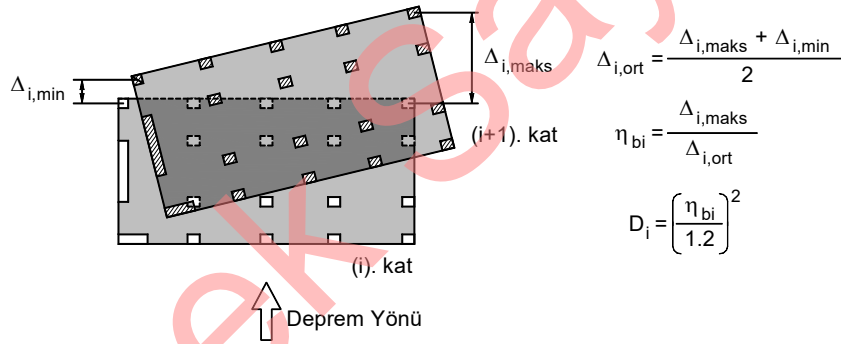
Bu düzensizliğin bulunduğu taşıyıcı sistemlerde deprem etkileri altında ötelemelere ek olarak düşey eksen etrafında burulmalar ortaya çıkar ve bunun sonucu olarak taşıyıcı sistem elemanlarında düzenli olmayan ek yerdeğiştirmeler ve iç kuvvetler oluşur.

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.

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{max}}{(\Delta_i)_{ort}} > 1.2 \quad (4.16)$$

Burulma düzensizliği katsayısının hesaplanmasında kullanılan görel kat ötelemelerinin hesabı $\pm\%5$ ek dışmerkezlik 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 4-30.



Şekil 4-30 Burulma düzensizliği (A1)

A1 türü burulma düzensizliğinin bulunması durumunda, Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde, $1.2 < \eta_{bi} \leq 2.0$ olmak koşulu ile ilgili katta bulunan %5 ek dış merkezlik, her iki deprem doğrultusu için ek dışmerkezlik büyütme katsayısı D_{bi} katsayısı ile çarpılarak büyütülmelidir.

$$D_{bi} = \left(\frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2 \quad (4.17)$$

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 yapılabilse de, bu düzensizliği azaltacak yönde taşıyıcı sistemin yeniden düzenlenmesi daha uygun bir çözüm yolu olacaktır.

Herhangi bir katta gözönüne alınan deprem doğrultusundaki etkili kesme alanı, kolon enkesiti etkin gövde alanları (depreme dik doğrultudaki kolon çıkıntılarının alanı hariç), 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.

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k \quad (4.19)$$

Dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olması durumunda $A_k = 0$ alınmalıdır.

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

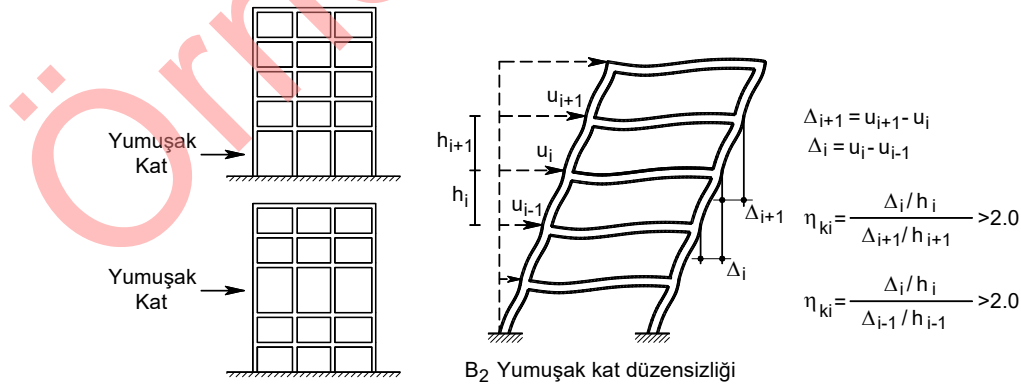
- Dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise, η_{ci} 'nin hesabında dolgu duvarları gözönüne alınmamalıdır.
- η_{ci} 'nin en küçük olduğu kat dikkate alınarak $0.60 \leq \eta_{ci, \min} < 0.80$ aralığında taşıyıcı sistem davranış katsayısı R , $1.25\eta_{ci, \min}$ değeri ile çarpılarak 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)

Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği, 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, bodrum katlar dışında, herhangi bir i 'inci kattaki %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak hesaplanan ortalama görel kat ötelemesinin bir üst veya bir alt kattaki ortalama görel kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan *Rijitlik Düzensizliği Katsayısı* η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması durumunda yumuşak kat düzensizliğinin bulunduğu kabul edilmelidir.

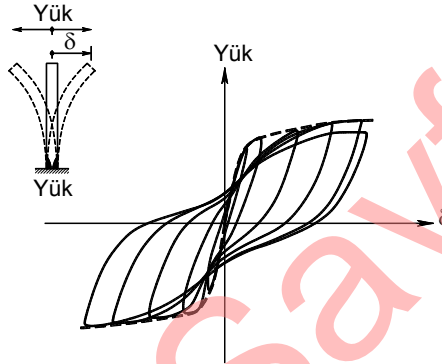
$$\eta_{ki} = \frac{(\Delta_i / h_i)_{ort}}{(\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort}} > 2.0 \quad \text{veya} \quad \eta_{ki} = \frac{(\Delta_i / h_i)_{ort}}{(\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort}} > 2.0 \quad (4.20)$$



Şekil 4-34 Yumuşak kat düzensizliği (B2)

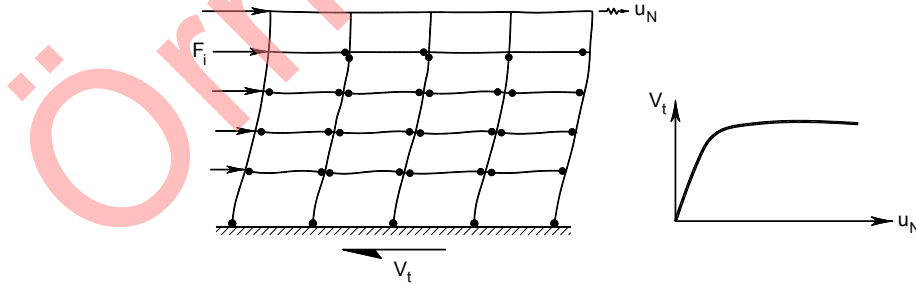
yeni yapılacak binalarda, kullanacak kişilerin can güvenliğini sağlamak koşulu ile şiddetli depremlerde taşıyıcı sistemde belirli düzeyde hasara tasarımda “kontrollü” biçimde izin verilmektedir. Burada tasarımda hasara izin verilmesi, taşıyıcı sistemin bazı elemanlarının doğrusal olmayan davranış gösterebilecek şekilde tasarlanması anlamına gelmektedir, [32].

Şekil 4-37’de konsol bir kolonun taban kesitindeki belirli bir bölgede oluşan plastik şekildeğıştirmelere (hasara) bağlı olarak çevrimsel yükleme altında dayanım-yerdeğıştirme 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 arttırılarak etkimesi durumunda elde edilecek eğri ile benzer olacağı deneysel çalışmalarda gözlemlenen bir sonuçtur.



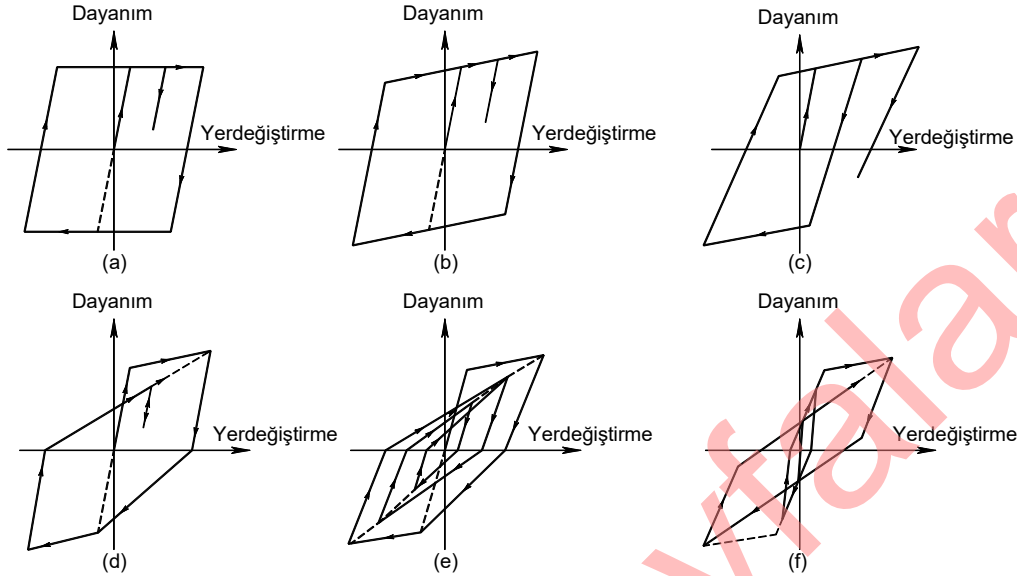
Şekil 4-37 Betonarme Konsol Elemanda Dayanım-Yerdeğıştirme İlişkisi

Etkiyen statik çevrimsel yükleme yerine aynı sistemin tabanına deprem yer hareketi etkimesi durumunda Şekil 4-37’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 değeriine 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 4-38 Çerçeve sistemde oluşan plastik mafsallar ve dayanım-yerdeğıştirme ilişkisi

Bina türü sistemler çok serbestlik dereceli sistemler olduğundan deprem etkisi altında oluşacak plastikleşme (hasar) iç kuvvetlerin en büyük olduğu kesitlerde oluşacaktır. Şekil 4-38’de kolon ve kirişlerden oluşan çerçeve sistemin plastikleşen kesitleri (plastik mafsal) ve tipik dayanım-tepe



Şekil 4-40 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

4.13.2. Akma Dayanımı, Tasarım Dayanımı ve Deprem Yüğü Katsayıları

Tek serbestlik dereceli bir sistem deprem etkisi altında elastik davranışı aşmış doğrusal olmayan bir davranış gösterirse sistemde (hasar) plastik deformasyonlar oluşacaktır. Böyle bir sistemin yük-yerdeğiştirme ilişkisi de doğrusal olmayacaktır. Şekil 4-41'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 f_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 kapasitesinin idealleştirilmesi ile elde edilen akma dayanımı ise deprem etkisinden bağımsız olarak f_y olacaktır. TBDY'de doğrusal elastik sisteme ait dayanım istemi ile doğrusal olmayan sistemin akma dayanımı arasındaki oran *akma dayanımı azaltma katsayısı* olarak adlandırılmaktadır.

$$R_y(\mu, T) = \frac{f_e(T)}{f_y(\mu, T)} \quad (4.21)$$

- 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 değişkene bağlı olarak 2.0 ile 3.0 arasında değişen değerler alabilmektedir.

TBDY'de Dayanıma Göre Tasarımda (DGT) kullanılan Dayanım Fazlalığı Katsayısı D , öngörülen süneklik kapasitesine ve periyoda bağlı olarak belirlenen akma dayanımının, taşıma gücü yaklaşımı ile kesit tasarımı için, taşıyıcı sistemin sahip olması gereken tasarım dayanımına oranı olarak Denk. (4.25)'dekine benzer şekilde tanımlanmıştır.

4.13.3.1. Dayanım Fazlalığı Katsayılarının Uygulanması

TBDY'de Dayanım Fazlalığı Katsayısının uygulanacağı durumlar belirtilmektedir. Buna göre;

- Taşıyıcı sistem elemanlarının yüksek veya sınırlı düzeyde sünek davranışına karşı gelen (eğilme momenti, çekme kuvveti ve benzeri) azaltılmış iç kuvvetlerin hesabında Dayanım Fazlalığı Katsayısı kullanılmaz ($D = 1$).
- Taşıyıcı sistem elemanlarının sünek olmayan davranışına karşı gelen (betonarme elemanlarda kesme kuvveti, çelik elemanlarda birleşimlere etkiyen kuvvetler vb.) azaltılmış iç kuvvetler için Dayanım Fazlalığı Katsayısı çarpan olarak kullanılacaktır ($D > 1$). Ancak, süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemlerde D katsayıları ile büyütülen iç kuvvetler, kapasite tasarımı ilkesinin gereği olarak tanımlanmış (izin verilen) kesitlerdeki akma durumu ile uyumlu iç kuvvetlerden daha büyük alınmamalıdır..
- Bina döşemelerinde düzlem içinde etkiyen azaltılmış iç kuvvetlere, ilgili taşıyıcı sistem için tanımlanan dayanım fazlalığı katsayısı uygulanmalıdır.

4.13.4. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

Dayanım azaltma katsayısını ve dayanım fazlalığını içeren yeni bir katsayı tanımlanır ve $R_a(T)$ deprem yükü azaltma katsayısı olarak adlandırılırsa, doğrusal elastik sisteme ait dayanım istemi (talebi) f_e 'nin tasarım dayanımı f_d 'ye oranı

$$R_a = \frac{f_e(T)}{f_d(\mu, T)} \quad (4.26)$$

şeklinde yazılabilir.

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

$$R_a = DR_y \quad (4.27)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Eşit Yerdeğiştirme ilkesi çerçevesinde

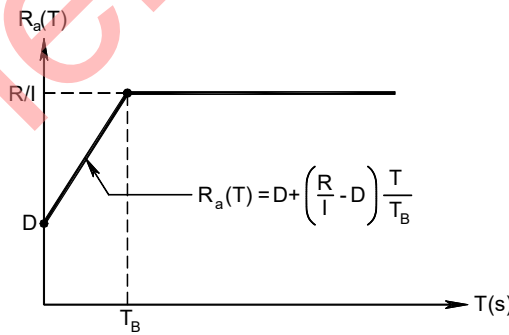
- Başlangıç rijitliği çok büyük olmayan, diğer deyişle doğal titreşim periyodu sınır periyodundan daha uzun olan ($T > T_B$) görelî esnek sistemlerde $R_y = \mu$ olduğundan, $R_a = D\mu$ yazılabilir. Bu bağıntının sağ tarafı, Deprem Yönetmeliğinde tanımlanan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R 'nin Bina Önem Katsayısına bölümüne eşittir, $R/I = D\mu$. Diğer deyişle, Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R , Süneklik Katsayısı, Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve Bina Önem Katsayısının çarpımına eşittir. Dolayısı ile, Dayanım Göre Tasarımda $T > T_B$ için $R_a = R/I$ olarak alınabilir.
- Başlangıç rijitliği çok büyük olan, diğer deyişle doğal titreşim periyodu sınır periyot değerinden daha kısa olan ($T \leq T_B$) görelî rijit sistemlerde ise, $R_a = DR_y$ bağıntısı ile birlikte $R/I = D\mu$ tanımından ve $R_y = 1 + (\mu - 1)T/T_B$ bağıntısından yararlanılarak $R_a = D + (R/I - D)T/T_B$ bağıntısı yazılabilir.

TBDY'de Dayanım Göre Tasarımda (DGT) kullanılan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı $R_a(T)$ yukarıda açıklananlara benzer şekilde

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (4.28)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B$$

olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4-42 $R_a - T$ Grafiği

Burada R ve D Tablo 4-7'de tanımlanan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ile Dayanım Fazlalığı Katsayısını, I Bina Önem Katsayısını, T sistemin doğal titreşim periyodunu ve T_B , Denk.(4.3) ile tanımlanan spektrum köşe periyodunu göstermektedir.

Tablo 4-8 (Devam)

A3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler			
A31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	4	2.5	$BYS \geq 7$
A32. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi sınırlı boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 6$
A33. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi sınırlı boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 6$

Tablo 4-7’de A21, A22 ile simgelenen süneklik karma taşıyıcı sistemlerin yüksek binalarda kullanımına, yalnızca $DTS = 4$ olmak koşuluyla izin verilmektedir.

Örnek 4-10

Örnek 4-1’deki iki katlı ofis binasının bina taşıyıcı sistemi moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevedir. Söz konusu bina için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısını ve Dayanım Fazlalığı Katsayısını belirleyiniz. Bina Yükseklik Sınıfının izin verilen bina yükseklik sınıfı koşulunu sağlayıp sağlamadığını kontrol ediniz.

Çözüm:

Söz konusu bina için TBDY Tablo 4.1 veya yukarıda verilen Tablo 4-7 kullanılarak Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı $R=8$ ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı $D=3$ olarak belirlenir. İlgili binada Bina yükseklik sınıfı $BYS = 8 > 3$ olduğundan izin verilen bina yükseklik sınıfı koşulu sağlanmaktadır.

4.14. Betonarme Sistemlerin süneklik düzeyine bağlı olarak sınıflandırılması

Deprem Yönetmeliğinde betonarme binaların taşıyıcı sistemleri, süneklik düzeyi yüksek, süneklik düzeyi sınırlı ve süneklik düzeyi karma olarak üç sınıfa ayrılmıştır. Süneklik düzeyi karma taşıyıcı sistemler, belirli durumlarda süneklik düzeyi sınırlı çerçeve taşıyıcı sistemlerinin süneklik düzeyi yüksek betonarme perdeler veya çelik çaprazlı çerçevelerle birlikte kullanılması ile oluşturulan sistemlerdir.

TBDY’ye göre $DTS=1a$, $DTS=2a$, $DTS=3a$ ve $DTS=4a$ olarak sınıflandırılan binalarda süneklik düzeyi sınırlı taşıyıcı sistemlerin, $BYS \leq 6$ olan ve $DTS=1a$, $DTS=2a$ olarak sınıflandırılan binalarda ise süneklik düzeyi karma taşıyıcı sistemlerin kullanılmasına izin verilmemektedir.

Birbirine dik doğrultularda taşıyıcı sistemlerin süneklik düzeylerinin aynı olması zorunludur. Ancak birbirine dik doğrultularda farklı R katsayıları ve bunlara karşı gelen D katsayıları kullanılabilir. İzin verilen en üst Bina Yükseklik Sınıfı, iki doğrultuya göre verilenlerin elverişsiz olarak belirlenmelidir.

Deprem etkilerinin tamamı moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı betonarme çerçevelerle karşılanan taşıyıcı sistemler, sadece $DTS=3$ ve $DTS=4$ olan binalarda kullanılabilir. Dolgulu (asmolen) veya dolgunsuz tek doğrultulu dişli döşemeli betonarme çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistemler de, perde içermedikleri durumda, süneklik düzeyi sınırlı taşıyıcı sistemler olarak sınıflandırılacak ve sadece $DTS=3$ ve $DTS=4$ olan binalarda kullanılacaktır. Bu tür taşıyıcı sistemler, süneklik düzeyi yüksek betonarme bağ kirişli (boşluklu) ve/veya boşluksuz perdeler veya süneklik düzeyi yüksek çelik dışmerkez ve/veya merkezi çaprazlı çerçeveler ile birlikte düzenlenerek süneklik düzeyi karma sistemler (A2) olarak yapılabilir.

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

Bir doğrultudaki deprem etkisi ile buna dik diğer doğrultudaki etkinin 0.3 katının birleşimlerde gözönüne alınması, yük birleşiminin depremin öngörülenden farklı bir doğrultuda etkimesi durumunda oluşabilecek etkilerin yaklaşık olarak gözönüne alınabilmesini amaçlamaktadır.

4.15.5. Doğrusal Hesap İçin Taşıyıcı Sistemin Modellenmesine İlişkin Kurallar

Dayanımına Göre Tasarım kapsamında yapılacak doğrusal hesapta kullanılmak üzere, taşıyıcı sistemlerin modellenmesi ile ilgili kurallar bu kısımda verilmiştir.

4.15.5.1. Genel Modelleme Kuralları

Yapı sistemlerinin analizinde hesap modelinin oluşturulması ve yapılan varsayımlar, elde edilecek sonuçların gerçek davranışı olabildiğince yansıtmasını sağlayacak şekilde olmalıdır. Bu amaçla Deprem Yönetmeliğinde modelleme ile ilgili çeşitli koşullar verilmektedir. Genel modelleme kuralları olarak aşağıdaki koşullara uyulmalıdır.

- Bina taşıyıcı sistemleri daima üç boyutlu olarak modellenmelidir.
- Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkisi daima gözönüne alınmalıdır. Düşey deprem etkisi de hesaba katılmalıdır.
- Sönüm oranı, aksi belirtilmedikçe, %5 olarak alınır.

4.15.5.2. Kiriş ve Kolonların Modellenmesi

Kiriş ve kolonlar, çubuk elemanlar olarak modellenir. Kolon ve kirişlerin birleştiği düğüm noktalarında 6 serbestlik derecesinin tümü gözönüne alınmalı, döşemelerin rijit diyafram olarak modellenmesi durumunda bu serbestlik derecelerinin rijit harekete karşı gelenleri kaldırılmalıdır.

Betonarme kolon ve kirişler için etkin kesit rijitlikleri kullanılmalıdır.

4.15.5.3. Betonarme Boşluksuz Perdelerin Modellenmesi

Betonarme boşluksuz perdeler, genellikle konsol olarak çalışan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Dikdörtgen betonarme perdeler, kesitteki boyunun kalınlığına oranı en az 6 olarak tanımlanan taşıyıcı sistem elemanlarıdır.

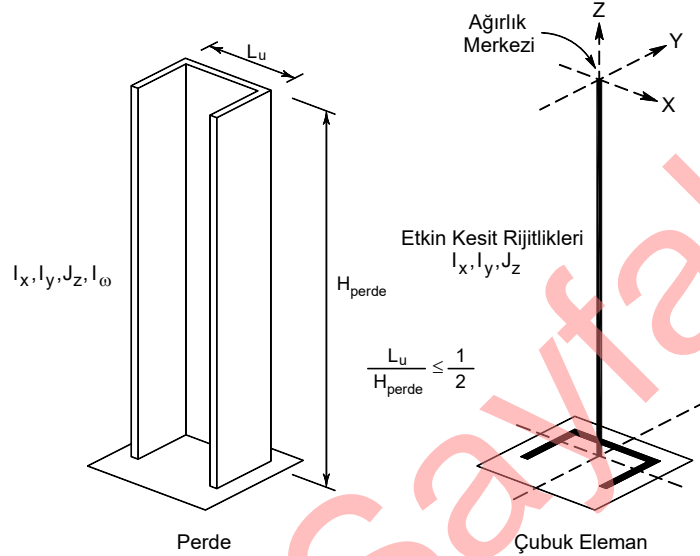
$$l_w \geq 6b_w \quad (4.40)$$

Enkesit şekli I, T, L, U veya C olan betonarme perdelerde, çalışan doğrultuda en az bir perde kolu Denk.(4.40)'de verilen koşulu sağlamalıdır. Aksi durumda, taşıyıcı sistem elemanı o doğrultuda perde olarak sayılmaz. Ancak I, T, L, U veya C kesitli perdelerde çalışan doğrultudaki perde kolunun (veya kollarının) bir bağ kirişli perde'nin perde parçası (veya parçaları) olması durumunda, Denk.(4.40)'de verilen koşul uygulanmayabilir.

Perde kesitinin betonarme tasarımı için tanımlanan perde uç bölgeleri'nin birer kolon gibi, aralarındaki gövde bölgesinin ise çok rijit bir kiriş gibi modellendiği kayma çerçevesi modelleri perdeler için kullanılmamalıdır.

Enkesit şekli T, L, U veya C olan perdelerde perde kollarının ayrı ayrı modellenip hesaplandığı modelleme teknikleri perdeler için kullanılmamalıdır.

Betonarme perdeler, aşağıda verilen yöntemlerden biri ile modellenmelidir.



Şekil 4-44 C veya U Perdelerin Çubuk Eleman Olarak Modellenmesi

Enkesit şekli dikdörtgen, I, T, L, U veya C olan betonarme perdeler hem düzlem içi, hem de düzlem dışı yerdeğiştirmelere ilişkin serbestlik derecelerini içeren kabuk sonlu elemanlarla modellenir.

- Kabuk sonlu elemanların birleştiği düğüm noktalarında 6 serbestlik derecesinin tümü gözönüne alınır.
- Sonlu eleman boyutları, iç kuvvet dağılımının yeterli doğrulukta hesaplanmasını sağlayacak şekilde seçilir.
- Düzlem içi ve düzlem dışı davranışa ilişkin etkin kesit rijitlikleri kullanılmalıdır.
- Enkesit şekli dikdörtgen, I, T, L, U veya C olan perdelerde, sonlu eleman düğüm noktası kuvvetlerinin bileşkeleri, betonarme kesit hesabında esas alınmak üzere enkesit ağırlık merkezinde eşdeğer çubuk kesit tesirleri (eğilme/burulma momentleri, kesme kuvvetleri, eksenel kuvvet) olarak elde edilir. Perde tabanında bu şekilde elde edilen eğilme momenti, perde taban devrilme momenti M_{DEV} olarak kullanılır.

Enkesit şekli dikdörtgen, I, T, L, U veya C olan perdeler, plandaki en büyük perde kolu uzunluğunun toplam perde yüksekliğine oranının 1/2'yi aşmadığı durumlarda, eksenini enkesit ağırlık merkezinden geçen eşdeğer çubuk sonlu eleman olarak modellenilebilirler. Bu durumda;

- Kat seviyelerinde perde parçalarının planda giriş ve/veya döşeme sonlu elemanları ile birleştiği düğüm noktalarındaki bağımlı serbestlik dereceleri, üç boyutlu rijit cisim hareketi koşulunu sağlayacak şekilde kesit ağırlık merkezinde tanımlanacak olan ana düğüm noktası'ndaki 6 bağımsız serbestlik derecesine kinematik olarak bağlanmalıdır.
- Eşdeğer çubuk olarak modellenen perdelerde etkin kesit rijitlikleri kullanılmalıdır.

N_v , ise deprem etkisinde bağ kirişlerinde oluşan kesme kuvvetlerinin tüm perde yüksekliği boyunca toplamı olarak, perde parçalarının tabanında oluşan birbirine eşit çekme ve basınç eksenel kuvvetlerine karşı gelmektedir. c , perde parçalarının enkesit ağırlık merkezleri arasındaki uzaklığı göstermektedir (Şekil 4-45).

Bağ kirişli (boşluklu) perdelerin tanımlanmasında esas alınan bağ derecesi katsayısı Ω , Denk.(4.42)'da verilmiştir.

$$\Omega = \frac{cN_v}{M_{DEV}} = \frac{cN_v}{M_1 + M_2 + cN_v} \quad (4.42)$$

Bağ kirişli (boşluklu) perde, bağ derecesi katsayısı'nın Denk.(4.43)'de tanımlanan koşulu sağladığı taşıyıcı sistem elemanı olarak tanımlanır:

$$\Omega \geq \frac{1}{3} \quad (4.43)$$

Yukarıdaki koşulun sağlanamaması durumunda perde parçalarının her biri boşluksuz perde sayılır. Bu koşula ek olarak, perde parçalarında aşırı eksenel kuvvetlerin oluşmasını önlemek bakımından $\Omega \leq 2/3$ koşulunun da sağlanmasına çalışılmalıdır.

Betonarme bağ kirişli perdeyi oluşturan perde parçaları boşluksuz perdelerin modellendiği koşullara göre modellenir.

Betonarme bağ kirişlerinin yüksek kesme dayanımına sahip olmalarını sağlamak üzere çapraz donatılarla düzenlenebilmesi için net açıklık / yükseklik oranının 2'yi geçmemesi önerilir.

Bağ kirişleri, çubuk eleman olarak modellenilebilir. Bağ kirişlerinin modellenmesinde etkin kesit rijitlikleri esas alınır.

4.15.5.5. Bodrum Perdelerinin Modellenmesi

Bodrumlu binalarda çepeçevre düzenlenen bodrum perdeleri, üstteki katlarda oluşan eylemsizlik kuvvetlerinin tümünü veya büyük bir bölümünü geçiş döşemeleri ile üzerine alıp temele aktaran, aynı zamanda depremde zemin itkilerini karşılayan taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Bodrum perdeleri kabuk sonlu elemanlarla modellenmelidir. Bodrumlu binalarda araç rampaları bulunması durumunda, rampanın hemen yanında bulunan bodrum perdeleri için ayrıntılı sonlu eleman modellemesi yapılması önerilir.

4.15.5.6. Döşemelerin Modellenmesi

Kat döşemeleri, deprem ivmelerinin etkisi ile katlardaki kütlelerin oluşturduğu eylemsizlik kuvvetlerini, varsa kirişlerle birlikte, yüksek düzlem içi rijitlikleri sayesinde düşey taşıyıcı sistem elemanlarına aktaran, aynı zamanda binaya etkiyen deprem yüklerinin rijitliklerine göre düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında dağıtılmasını sağlayan, yatay taşıyıcı sistem elemanlarıdır.

Çeşitli boyutta boşlukları da içerebilen döşemelerin kendi düzlemleri içindeki yük aktarımının doğru olarak belirlenebilmesi için uygun biçimde modellenmeleri gerekir.

A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunduğu ve/veya döşemelerin rijit diyafram olarak çalışmasının öngörülmediği binalarda ve betonarme kirişsiz döşemeli sistemlerde döşemeler, düzlem içi yerdeğiştirmelere ilişkin serbestlik derecelerini içermek üzere iki boyutlu levha (membran) sonlu elemanlar ile modellenmelidir. İstenirse aynı zamanda düzlem dışı yerdeğiştirmelere ilişkin serbestlik derecelerini de

içermek üzere, her düğüm noktasında altı serbestlik derecesinin dikkate alındığı kabuk sonlu elemanlar da kullanılabilir.

Yukarıda belirtilen şekilde tanımlanan modelleme ile yapılan hesap sonucunda döşemelerde ve kirişlerde meydana gelen ve onların kanalı ile düşey taşıyıcı sistem elemanlarına aktarılan iç kuvvetlerin yörüngeleri ve değerleri doğrudan elde edilebilmektedir.

A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunmadığı ve düzlem içi önemli şekildeğişirmelerin oluşmayacağını beklendiği planda düzenli binalarda, betonarme döşemeler rijit diyafram olarak modellenebilir. Bu durumda her katın kütle merkezindeki ana düğüm noktası'nda yatayda iki dik doğrultuda öteleme ve düşey eksen etrafında dönme olmak üzere üç serbestlik derecesi tanımlanmalıdır. Rijit diyafram modeli, ek dışmerkezlik etkisinin gözönüne alınması için yapılacak hesapta da kullanılmalıdır.

Rijit diyafram modeline göre yapılan hesap sonucunda herhangi bir doğrultuda döşemeden herhangi bir düşey taşıyıcı sistem elemanına (kolon veya perde) aktarılan kuvvet, döşemenin altındaki ve üstündeki katlarda o eleman için ilgili doğrultuda elde edilen kesme kuvvetlerinin farkı olarak hesaplanır.

Deprem hesabından elde edilen düzlem içi kuvvetlerin döşemelerden düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenli biçimde aktarıldığı hesapla gösterilmelidir. Gerekli durumlarda betonarme döşemelerde ek bağlantı donatıları ve aktarma elemanları kullanılır.

4.15.5.7. Geçiş Katlarında Döşemelerin Modellenmesi

Normal katlardan, çok rijit bodrum katlarına geçişte yer alan ve üstteki katlarda oluşan eylemsizlik kuvvetlerinin tümünü veya büyük bir bölümünü ani olarak bodrum katlardaki çevre perdelerine aktarmak durumunda kalan geçiş katları döşemelerinde yeterli düzlem içi rijitlik ve dayanımın sağlanması gerekir. Bu koşul, başka nedenlerle ani rijitlik değişimlerinin yapıldığı diğer geçiş katları için de geçerlidir.

Geçiş katları döşemeleri, A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunup bulunmadığına bakılmaksızın, yeterli döşeme kalınlıkları alınarak, düzlem içi etkileri gözönüne alabilen levha veya kabuk elemanlar kullanılarak modellenmelidir.

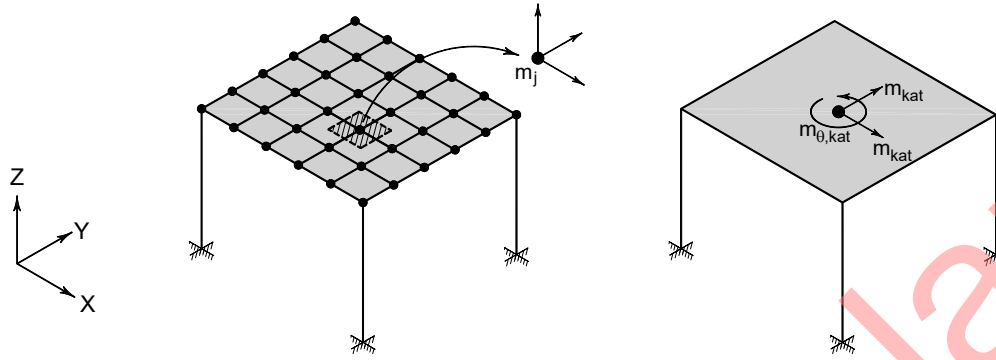
Özellikle otopark olarak kullanılan bodrumların bulunduğu binalarda, bodrum perdelerinin hemen yanında bina içinde onlara paralel olarak düzenlenen araç rampalarının bodrum ve geçiş döşemelerinde meydana getirebileceği rijitlik ve dayanım kayıplarını gözönüne almak üzere benzer şekilde levha veya kabuk elemanlar kullanılarak ayrıntılı sonlu eleman modellemesi önerilir.

Deprem hesabı sonucunda bodrum katlardaki rijit çevre perdelerine aktarılan kuvvetler hesaplanmalı ve geçiş döşemelerinin bu aktarım için yeterli dayanıma sahip olduğu gösterilmelidir. Gerekli olması durumunda döşemelerde aktarma elemanları ve perdeler yük aktarımı için ek bağlantı donatıları düzenlenmelidir.

4.15.5.8. Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitlikleri

TBDY'de Dayanıma Göre Tasarım (DGT) kapsamında betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesit özelliklerinin modellenmesinde Tablo 4-9'da verilen etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılması gerektiği belirtilmektedir.

Tablo 4-9'da verilen her iki çarpan da hesap modelinde gözönüne alınmalıdır. Etkin kesit rijitlikleri çarpanları, sadece deprem etkili yük birleşimleri içinde yer alan ve bu birleşimlere giren yükler altındaki hesaplarda uygulanır.



Şekil 4-47 Tekil düğüm noktası kütleleri ve kütlelerin ana düğüm noktasında toplanması

Kat döşemelerinin, kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak modellenmeleri durumunda kat kütleleri, kat kütle merkezindeki ana düğüm noktasında düzlem içi üç bağımsız rijit hareket serbestlik derecesine karşı gelecek şekilde tanımlanırlar.

Bağımsız serbestlik dereceleri, genellikle iki yatay öteleme serbestlik derecesi ile ana düğüm noktasından geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi olarak seçilirler. Kat kütlelerinin değeri, tekil düğüm noktası kütlelerinin toplamı olarak hesaplanabilir. Döşemedeki düşey serbestlik derecelerine karşı gelen kütleler tekil düğüm noktası kütlelerine benzer şekilde tanımlanır.

4.15.5.10. Ek Dışmerkezlik Etkisinin Modellenmesi

Deprem yer hareketinin binaya etkisinde ve taşıyıcı sistemin rijitlik ve kütle dağılımındaki olası belirsizlikleri gözönüne almak üzere ek dışmerkezlik etkisi tanımlanmıştır.

Kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak modellenmeleri durumunda,

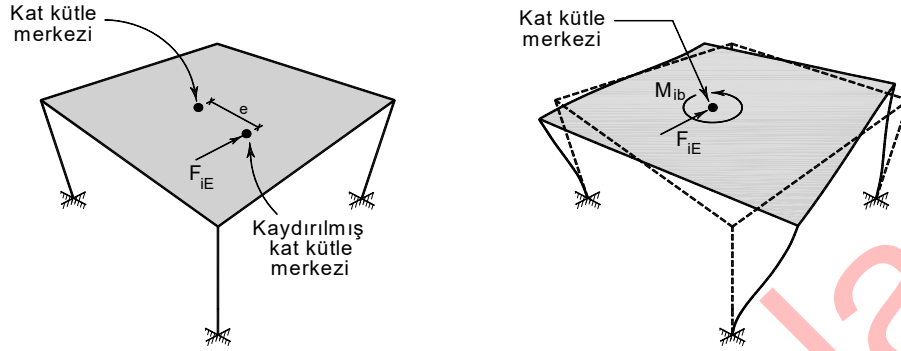
- Kat kütle merkezinde (ana düğüm noktası) tanımlanan kat kütlesi esas alınarak her bir deprem doğrultusunda deprem hesabı yapılır.
- Kat kütle merkezine (ana düğüm noktası) etkiyen yatay deprem yükleri, gözönüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılır ve bu durumlar için de ayrıca deprem hesabı yapılır.
- Deprem hesabının eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılması durumunda modelleme kolaylığı bakımından deprem yükünün kaydırılması yerine, kat kütle merkezinde (ana düğüm noktası) etkiyen eşdeğer deprem yükü F_{iE} ile birlikte Denk.(4.45) ile verilen ek kat burulma momenti'nin gözönüne alınması uygundur.

$$M_{ib} = F_{iE}e \quad (4.45)$$

Burada e , %5'lik ek dışmerkezliği göstermektedir.

- Deprem hesabının modal yöntemlerle yapılması durumunda modelleme kolaylığı bakımından deprem yükünün kaydırılması yerine, kat kütle merkezinde (ana düğüm noktası) tanımlanan kat kütlesi m_i ile birlikte, kat kütle eylemsizlik momenti $m_{i\theta}$ 'ya Denk.(4.46) ile verilen $\Delta m_{i\theta}$ artırımının eklenmesi uygundur.

$$\Delta m_{i\theta} = m_i e^2 \quad (4.46)$$



Şekil 4-48 Tekil düğüm noktası kütleleri ve kütlelerin ana düğüm noktasında toplanması

Deprem hesabının eşdeğer deprem yükü yöntemine veya mod birleştirme yöntemine göre tek doğrultulu deprem etkisi altında yapılması durumunda her bir doğrultu için ek dışmerkezlilik gözönüne alınır. Hesabın zaman tanım alanında mod toplama yöntemine göre aynı anda etkiyen iki doğrultulu deprem etkisi altında yapılması durumunda da, her iki doğrultu için dışmerkezlilikler ayrı ayrı uygulanır.

Kat döşemelerinin kendi düzlemleri içindeki yerdeğiştirmelere ilişkin serbestlik derecelerini içermek üzere iki boyutlu levha (membran) sonlu elemanlar ile modellenmesi durumunda,

- Oluşturulan bu modelle, dışmerkezlilik etkisi olmaksızın, deprem hesabı yapılır, döşemelerde ve döşemeler dışındaki taşıyıcı sistem elemanlarında iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler elde edilir. Döşemeler için elde edilen büyüklükler döşeme tasarımında gözönüne alınır.
- Dış merkezlilik etkisinin gözönüne alınabilmesi için düzlem içi sonlu eleman serbestlik dereceleri için rijit diyafram varsayımı yapılır ve kat kütle merkezleri kaydırılır. Ek dışmerkezliğin döşemeler ve kirişler dışındaki taşıyıcı sistem elemanlarına etkisinin belirlenmesi için rijit diyafram modellemesini esas alan ikinci bir deprem hesabı yapılır.
- Döşemeler dışındaki taşıyıcı sistem elemanları için tasarıma esas iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler (a) ve (b)'de elde edilenlerin zarfı (elverişsiz olanları) olarak belirlenir.

4.15.6. Doğrusal Hesap Yönteminin Seçilmesi

Dayanımına Göre Tasarım kapsamında kullanılacak doğrusal hesap yöntemleri Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Modal Hesap Yöntemleridir.

Modal Hesap Yöntemlerinden herhangi biri (Mod Birleştirme Yöntemi veya Mod Toplama Yöntemi, Dayanımına Göre Tasarım yöntemiyle tasarımına izin verilen tüm binalarda kullanılabilir. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ise ancak belirli koşulları sağlayan (görel olarak düzensizlik etkilerini az olduğu, bina yüksekliğinin fazla olmadığı) binalarda kullanılabilir. Bu yöntemin uygulanabileceği binaların sağlaması gerekli koşullar Tablo 4-10'da verilmektedir.

Bir binanın birçok titreşim modu vardır. Bu titreşim modları içerisinde, ilgili doğrultudaki toplam deprem etkisine en büyük katkıyı yapan ilgili doğrultudaki hakim titreşim periyodu T_p 'ye karşı gelen titreşim modudur.

Binanın deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak toplam kütlesi, m_t Denk. (4.48) ile hesaplanır.

$$m_t = \sum_{i=1}^N m_i \quad (4.48)$$

Burada m_i i'inci katın toplam kütlesi olmak üzere

$$m_i = \frac{G_i + nQ_i}{g} \quad (4.49)$$

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 4-11.

Tablo 4-11 Hareketli yük kütle katılım katsayısı (n)

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, 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 arttığı gözönüne alınması ile deprem kuvvetlerinin de benzer değişim göstereceği kabul edilebilir. Doğrusal bir artış esas alınrsa, yapının kat düzeylerine uygulanacak $F_{iE}^{(X)}$ yatay kuvvetleri

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{iE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (4.50)$$

denklemlerle 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 $\Delta F_{NE}^{(X)}$ ek eşdeğer deprem yükü etkiltilir.

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 N V_{iE}^{(X)} \quad (4.51)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün $\Delta F_{NE}^{(X)}$ dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına Denk. (4.50) ile dağıtılmalıdır.

Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak modellenmesi durumunda Denk.(4.50) ile hesaplanan $F_{iE}^{(X)}$ eşdeğer deprem yükü, i'inci kattaki ana düğüm noktası'na gözönüne alınan deprem doğrultusunda etki ettirilir.

Kat döşemelerinin levha (membran) sonlu elemanlar ile modellenmesi durumunda, i'nci katta j'inci düğüm noktasına etkiyen eşdeğer deprem yükü Denk.(4.52) ile hesaplanır.

$$f_{jE}^{(S)} = \frac{F_{iE}^{(X)}}{m_i} m_j^{(S)} \quad (4.52)$$

Burada $m_j^{(S)}$, j'inci düğüm noktasının tekil kütesidir.

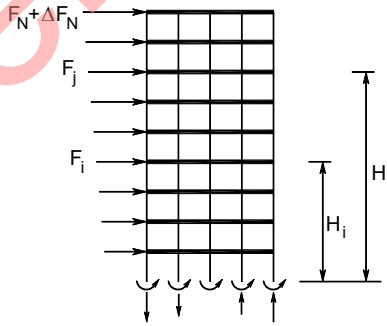
Deprem etkisinde her kat düzeyinde oluşan eylemsizlik kuvvetleri, binanın düşey taşıyıcılarında oluşan kesme kuvvetleri ile yatay dengededir. Benzer şekilde eylemsizlik kuvvetlerinin oluşturduğu devrilme momenti de, her kat düzeyinde, düşey taşıyıcılarda oluşan momentler ve eksenel kuvvetlerin oluşturduğu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

Herhangi bir j. kattaki devrilme momenti

$$\sum_{j=i+1}^n F_j^{(X)} (H_j - H_i) \quad (4.53)$$

olarak hesaplanabilir. Deprem yüklerinden binanın tabanında oluşan toplam devrilme momenti Denk.(4.54) ile hesaplanır

$$M_o^{(X)} = \sum_{i=1}^N F_{iE}^{(X)} H_i \quad (4.54)$$



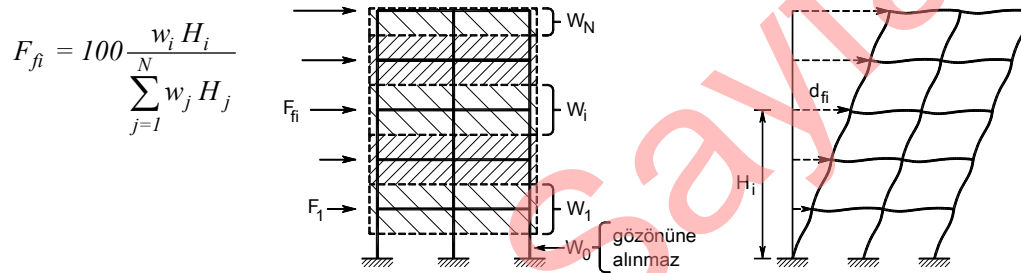
Şekil 4-50 Devrilme Momenti

4.15.6.2. Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanması durumunda, binanın gözönüne alınan deprem doğrultusundaki (örneğin X doğrultusu) hakim doğal periyodu $T_p^{(X)}$, daha kesin bir hesap yapılmadıkça Denk.(4.55) ile hesaplanabilir.

$$T_p^{(X)} = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (4.55)$$

Katlara etkileyen fiktif yükler $F_{fi}^{(X)}$ Denk.(4.50)'de $(V_{iE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)})$ yerine herhangi bir değer (örneğin 100) alınması ile elde edilebilmektedir.



Şekil 4-51 Kat ağırlıklarının belirlenmesi ve katlara etkileyen fiktif deprem yükleri

Binanın hakim doğal titreşim periyodu $T_p^{(X)}$ 'in deprem hesabında gözönüne alınacak en büyük değeri T_{pA} periyodunun 1.4 katından daha fazla olmamalıdır. Burada T_{pA} ampirik hakim doğal titreşim periyodudur.

DTS = 1, 1a, 2, 2a ve BYS ≥ 6 olan binalarda ve DTS = 3, 3a, 4, 4a olan tüm binalarda hakim doğal titreşim periyodu, Denk.(4.55)'den hesaplanmaksızın, doğrudan T_{pA} ampirik periyodu olarak alınabilir ($T_p^{(X)} = T_{pA}$).

Ampirik hakim doğal titreşim periyodu T_{pA} Denk.(4.56) ile hesaplanır.

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad (4.56)$$

- Taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden oluşan binalarda $C_t = 0.1$, çelik çerçevelerden veya çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan binalarda $C_t = 0.08$, diğer tüm binalarda $C_t = 0.07$ alınır.
- Deprem etkilerinin tamamının betonarme perdeler tarafından karşılandığı binalarda C_t katsayısı Denk. (4.57) ile hesaplanacaktır:

$$C_t = \frac{0.1}{\sqrt{A_t}} \leq 0.07 \quad (4.57)$$

Bu bağıntıdaki A_t eşdeğer alanı Denk.(4.58) ile hesaplanacaktır:

$$A_t = \sum_j A_{wj} \left[0.2 + \left(\frac{\ell_{wj}}{H_N} \right)^2 \right] \leq \sum_j A_{wj} \quad (4.58)$$

Burada A_{wj} j'inci perdenin göde enkesit alanı, ℓ_{wj} j'inci perdenin planda uzunluğu ve H_N binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam yüksekliğidir.

Örnek 4-11

Örnek 4-1'deki iki katlı ofis binasının ampirik doğal titreşim periyodunu hesaplayınız.

Çözüm:

Söz konusu binanın taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden oluştuğundan $C_t = 0.1$ olarak belirlenir.

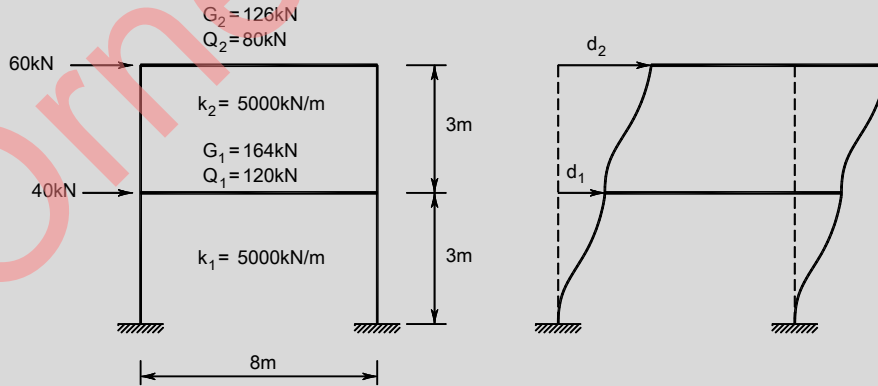
Binanın toplam yüksekliği $H_N = 6m$ 'dir.

Ampirik olarak hesaplanan doğal titreşim periyodu $T_{pA} = C_t H_N^{3/4} = 0.1 \cdot 6^{3/4} = 0.383s$ olarak belirlenir.

Örnek 4-12

Aşağıda gösterilen kullanım amacı işyeri olan çelik binanın

- Deprem hesabında kullanılacak kat kütlelerini hesaplayınız.
- Denk. (4.55)'de verilen Rayleigh yöntemi ile hakim doğal titreşim periyodunu hesaplayınız.
- Deprem hesabında kullanılacak hakim doğal titreşim periyodunu belirleyiniz.
- Tasarım spektral ivme katsayıları DD2 için $S_{DS} = 0.875$, $S_{D1} = 0.314$, taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 8$, dayanım fazlalığı katsayısı $D = 3$, bina önem katsayısı $I = 1$ olarak belirlenmiştir. Toplam eşdeğer deprem yükünü ve katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerini hesaplayınız.
- Deprem yüklerinden binanın tabanında oluşan topla devrilme momentine karşı güvenliği belirleyiniz.

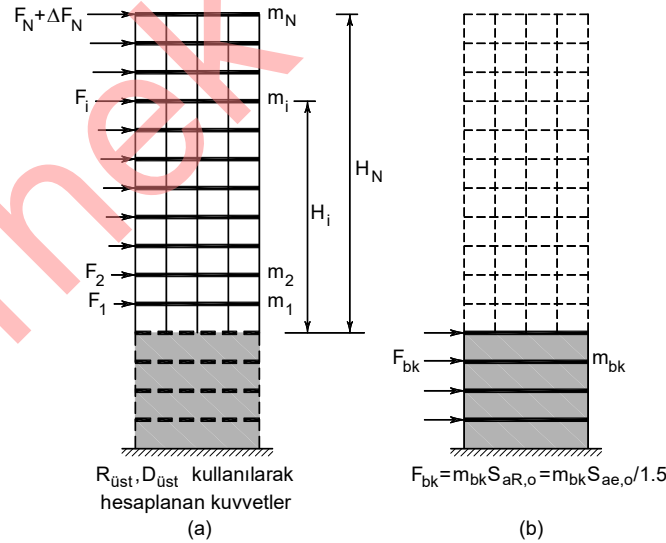


Çözüm:

- Binanın kullanım amacı işyeri olduğu için hareketli yük kütle katılım katsayısı $n = 0.30$ olarak belirlenir.

Bu tür binaların deprem hesabında aşağıda belirtilen iki yöntemden biri kullanılabilir:

- a) Bölüm 4.14.1 açıklanan hesap yöntemi
- b) İki yükleme durumlu bir hesap yaklaşımı. Bodrumlu binalarda, yatay rijitlik bakımından üst bölüm ile göreceli olarak çok rijit olan alt bölüm (bodrum katları), dinamik davranış ve dayanım açılarından çok farklı özelliklere sahiptir. Bu tür binaların modal hesap yöntemleri ile doğrusal deprem hesabı için uygulanabilen yaklaşık iki yükleme durumlu hesap yaklaşımında, binanın üst bölümü ve bodrumlu alt bölümü birarada tek bir taşıyıcı sistem olarak modellenir, ancak üst bölüm ile alt bölümün birbirlerine çok uzak modlarda titreşmeleri nedeni ile deprem hesabı iki yükleme durumu olarak ayrı ayrı yapılır:
 - i. İki yükleme durumlu hesabın ilk yükleme durumunda ortak tek taşıyıcı sistem modeli için hesaplanan eşdeğer deprem yükleri sadece üst bölüme etki ettirilir. Hesapta üst bölüm için seçilen $R_{üst}$ ve $D_{üst}$ katsayıları ve deprem doğrultusundaki $T_p^{(X)}$ hakim titreşim periyoduna göre hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısı $(R_a)_{üst}$ kullanılır. Birinci yükleme durumu için yapılan hesap sonucunda, hem üst bölümde, hem de alt bölümde azaltılmış iç kuvvetler elde edilir.
 - ii. İkinci yükleme durumunda, yine ortak tek taşıyıcı sistem modelinde sadece alt bölüm'deki bodrum katlarının kütleleri, $T=0$ varsayılarak elde edilen azaltılmış spektral ivme $S_{aR}(0)$ ile çarpılarak bu katlara etkiyen yaklaşık eşdeğer deprem yükleri hesaplanır. Hesapta alt bölüm (bodrum) için hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısı $(R_a)_{alt} = D_{alt} = 1.5$ kullanılır. İkinci yükleme durumu için yapılan hesap sonucunda, alt bölümdeki azaltılmış iç kuvvetler elde edilir. 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.



Şekil 4-52 Rijit bodrum kat bulunan yapılarda katlara etkiyen yükler

4.15.6.5. Modal Hesap Yöntemleri ile Doğrusal Deprem Hesabı

Deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin modal davranışını esas alan Modal Hesap Yöntemleri deprem spektrumunu ile hesaba dayalı Mod Birleştirme Yöntemi ve zaman tanım alanında hesaba dayalı Mod Toplama Yöntemidir.

4.15.6.6. Modal Hesap Parametreleri

Modal hesap parametreleri taşıyıcı, deprem verisinden bağımsız olarak, yalnızca gözönüne alınan deprem doğrultusu için taşıyıcı sistemin serbest titreşim hesabından elde edilen bilgiler kullanılarak belirlenen ve hem mod birleştirme yönteminde hem de mod toplama yönteminde kullanılan büyüklüklere dir. Aşağıda sadece (X) yatay deprem doğrultusu için bağıntıları verilen modal hesap parametreleri (X)'e dik (Y) doğrultusu için de benzer şekilde tanımlanır.

Modal hesap parametrelerinin tanımında taşıyıcı sistemin serbestlik dereceleri olarak:

- Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak modellenmesi durumunda, herhangi bir i 'inci kat döşemesinin kütle merkezinde x ve y yatay doğrultularında tanımlanan yerdeğiştirmeler ile kat kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme dikkate alınmış ve bu serbestlik derecelerine karşı gelen kat kütlesi m_i ile kat kütle eylemsizlik momenti $m_{i\theta}$ tanımlanmıştır.
- Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak alınmaması ve kendi düzlemleri içindeki yerdeğiştirmelere ilişkin serbestlik derecelerini içermek üzere iki boyutlu levha (membran) sonlu elemanlar ile modellenmesi durumunda, m_i kat kütleleri yerine sonlu eleman düğüm noktalarındaki $m_j^{(S)}$ kütleleri gözönüne alınır.

Modal Katkı Çarpanı

(X) deprem doğrultusu için, n 'inci titreşim moduna ait modal katkı çarpanı $\Gamma_n^{(X)}$ Denk.(4.60) ile tanımlanır.

$$\Gamma_n^{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i(X)n}}{\sum_{i=1}^N (m_i \phi_{ixn}^2 + m_i \phi_{iyn}^2 + m_i \phi_{i\theta n}^2)} = \frac{L_{xn}}{M_n} \quad (4.60)$$

Taban Kesme Kuvveti Modal Etkin Kütleli

Binanın ilgili doğrultudaki taban kesme kuvveti modal etkin kütleli M_{txn} Denk. (4.61) ile

$$m_{txn} = \frac{L_{xn}^2}{M_n} = \Gamma_n^{(X)} \sum_{i=1}^N m_i \phi_{xin} \quad (4.61)$$

ile belirlenir.

Kat Modal Etkin Kütleleri

Verilen bir deprem doğrultusu için (örneğin X doğrultusu) için tipik bir n 'inci titreşim modunda kat modal etkin kütleleri Denk. (4.62) ile

$$m_{xin}^X = m_i \phi_{xin} \Gamma_n^{(X)} ; m_{yin}^X = m_i \phi_{yin} \Gamma_n^{(X)} ; m_{\theta in}^X = m_{i\theta} \phi_{\theta in} \Gamma_n^{(X)} \quad (4.62)$$

elde edilir.

Birim Modal Davranış Büyüklüğü

Verilen bir deprem doğrultusu için tipik n'inci titreşim modunda yerdeğiştirme, iç kuvvet gibi herhangi bir davranış büyüklüğüne karşı gelen tipik birim modal davranış büyüklüğü \bar{r}_n , kat modal etkin kütlelerinin kendi doğrultularında yük olarak ettirildiği bir statik hesap elde edilir.

Örnek 4-13:

Yandaki şekilde verilen sistemin serbest titreşim periyotlarını ve mod şekillerini hesaplayınız.

$E = 30000 \text{ MPa}$

Kat		b	h	$I_x (\times 10^{-3})$	$I_y (\times 10^{-3})$	$k_{x,i}$	$k_{y,i}$	x_i	y_i
3	S301	0.5	0.5	3.646	3.646	48611.1	48611.1	-3	-2.5
3	S302	0.6	0.3	0.945	3.780	12600.0	50400.0	3	-2.5
3	S303	0.4	0.5	2.917	1.867	38888.9	24888.9	-3	2.5
3	S304	0.4	0.6	5.040	2.240	67200.0	29866.7	3	2.5
2	S201	0.5	0.5	3.646	3.646	48611.1	48611.1	-3	-2.5
2	S202	0.6	0.3	0.945	3.780	12600.0	50400.0	3	-2.5
2	S203	0.4	0.5	2.917	1.867	38888.9	24888.9	-3	2.5
2	S204	0.4	0.6	5.040	2.240	67200.0	29866.7	3	2.5
1	S101	0.5	0.5	3.646	3.646	20507.8	20507.8	-3	-2.5
1	S102	0.6	0.3	0.945	3.780	5315.6	21262.5	3	-2.5
1	S103	0.4	0.5	2.917	1.867	16406.3	10500.0	-3	2.5
1	S104	0.4	0.6	5.040	2.240	28350.0	12600.0	3	2.5

Çözüm:

$$K_j^x = \sum_{i=1}^{n_{kolon}} k_{ji}^x \quad K_1^x = 70579.7 \text{ kN} / \text{m} \quad K_2^x = K_3^x = 167300 \text{ kN} / \text{m}$$

$$K_j^y = \sum_{i=1}^{n_{kolon}} k_{ji}^y \quad K_1^y = 64870.3 \text{ kN} / \text{m} \quad K_2^y = K_3^y = 153766.7 \text{ kN} / \text{m}$$

$$\{\phi\} = \begin{bmatrix} 0.01753 & -0.08108 & -0.01295 & 0.02921 & -0.13515 & -0.01849 & 0.08556 & -0.02159 & -0.01366 \\ 0.02297 & -0.10625 & -0.01697 & 0.00566 & -0.02620 & 0.03071 & -0.14207 & -0.00418 & 0.02269 \\ 0.02585 & -0.11957 & -0.01910 & -0.02484 & 0.11492 & -0.01475 & 0.06823 & 0.01835 & -0.01090 \\ -0.08196 & -0.01807 & 0.00225 & -0.13661 & -0.03013 & 0.08648 & 0.01907 & 0.00375 & 0.00237 \\ -0.10740 & -0.02369 & 0.00295 & -0.02649 & -0.00584 & -0.14361 & -0.03167 & 0.00073 & -0.00394 \\ -0.12087 & -0.02666 & 0.00331 & 0.11617 & 0.02562 & 0.06896 & 0.01521 & -0.00319 & 0.00189 \\ 0.00496 & -0.01217 & 0.08292 & 0.00827 & -0.02029 & -0.00523 & 0.01284 & 0.13822 & 0.08750 \\ 0.00650 & -0.01595 & 0.10866 & 0.00160 & -0.00393 & 0.00869 & -0.02133 & 0.02680 & -0.14530 \\ 0.00731 & -0.01795 & 0.12229 & -0.00703 & 0.01725 & -0.00417 & 0.01024 & -0.11753 & 0.06978 \end{bmatrix}$$

olarak elde edilir.

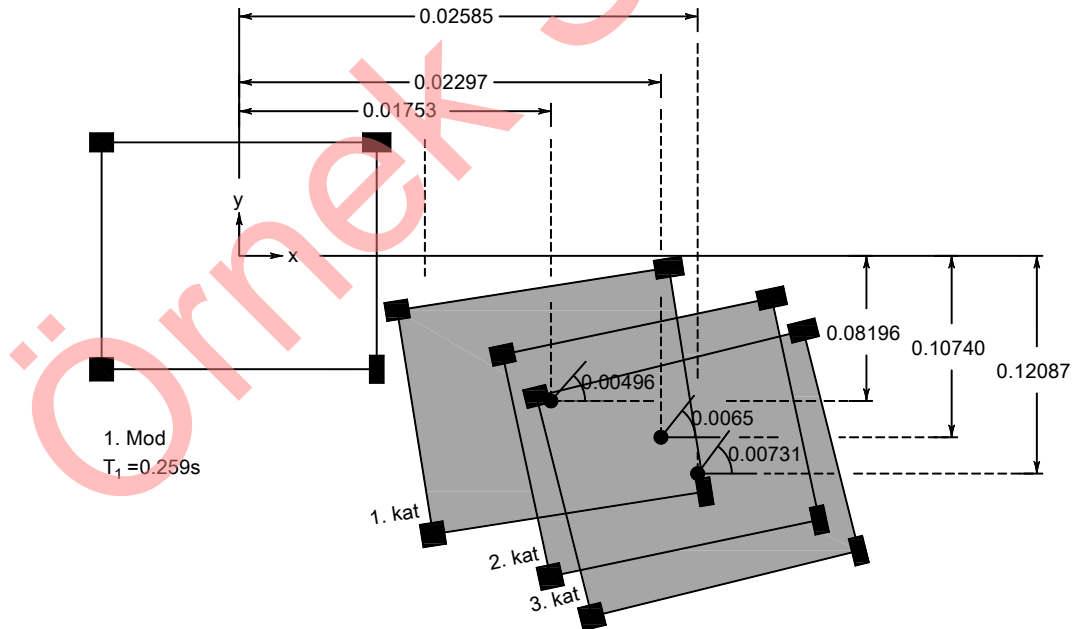
Sistemin titreşim periyotları

$$\{T\} = \{0.2589 \quad 0.2535 \quad 0.1454 \quad 0.0780 \quad 0.0764 \quad 0.0492 \quad 0.0482 \quad 0.0438 \quad 0.0276\}$$

olarak hesaplanmaktadır.

1. periyot $T=0.259s$ olarak hesaplanmakta ve karşı gelen mod şekli genlikleri aşağıda verilmektedir. $\{\phi\}$ matrisinin ilk kolonu 1. Moda karşı gelen mod şekli genliklerini göstermektedir.

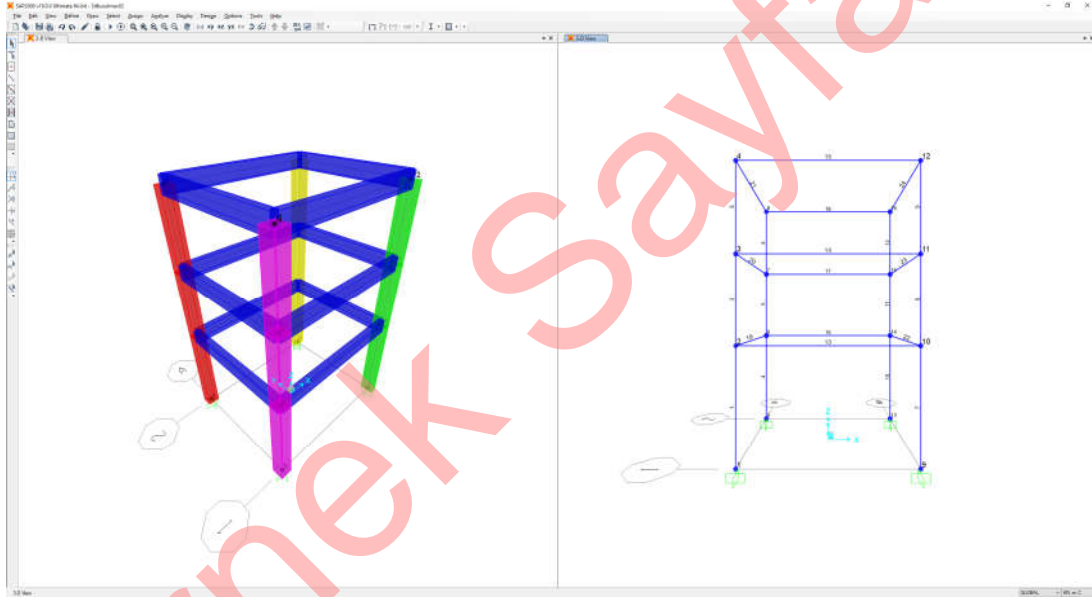
$$\{\phi_1\}^T = \{0.01753 \quad 0.02297 \quad 0.02585 \quad -0.08196 \quad -0.10740 \quad -0.12087 \quad 0.00496 \quad 0.00650 \quad 0.00731\}$$



SAP2000 :Örnek 4-13' de verilen sistemin çözümü.

- SAP2000 programını çalıştırınız.
- Birim bölümünden kN,m,C seçiniz.
- Menüde File-New Model → 3D Frame seçeneğini seçiniz.
 - 3D Frame Type 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 6 yazınız
 - Number of Bays,Y kutucuğuna 1 yazınız
 - Bay Width,X kutucuğuna 5 yazınız
 - Use Custom Grid Spacing and Locate Origin kutucuğunu seçili duruma getiriniz ve Edit Grid... düğmesine basınız.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda Display Grid as bölümünde Spacing seçeneğini seçiniz.
 - İlk kat yüksekliği 4m olduğu için Z Grid Data bölümünde Z1 için Spacing değerini 4 olarak değiştiriniz.
 - Yeniden Ordinates seçeneğini seçiniz ve kat yükekliklerinin 4m, 3m ve 3m olduğunu kontrol ediniz.
 - ve 2 kez OK düğmesine basınız.
- Menüde View-Set Display Options seçeneğini seçiniz.
 - Joints bölümünde Labels kutucuğunu seçili duruma getiriniz
 - Joints bölümünde Invisible kutucuğunu seçili durumdan çıkarın
 - Frames bölümünde Labels kutucuğunu seçili duruma getiriniz
 - Ekrandaki pencerenin 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.
 - Ankastré 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.
 - Region açılır listesinden User seçeneğini seçiniz.
 - Material Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
 - Material Name kutucuğuna C30 yazınız.
 - Weight per Unit Volume kutucuğuna 0 yazınız.
 - Units açılır listesinden N,mm,C 'yi seçiniz
 - Modulus of Elasticity, E kutucuğuna 30000 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 Concrete seçeneğini seçiniz.
 - Rectangular düğmesine basınız.
 - Section Name kutucuğuna C50X50 yazınız.
 - Depth (t3) kutucuğuna 0.50 yazınız.
 - Width (t2) kutucuğuna 0.50 yazınız.
 - Property Modifiers bölümünde Set Modifiers kutucuğuna basınız.
 - Cross-section (axial) area kutucuğuna 1E6 yazınız

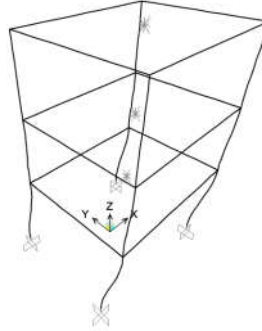
- 4,5,6 nolu kolonları seçiniz.
- Ekranda açılı bulunan Assign Frame Sections ileti kutusunda C50X40 seçeneğini seçiniz ve Apply düğmesine basınız.
- Klavyede F4 tuşuna basınız.
- 10,11,12 nolu kolonları seçiniz.
- Ekranda açılı bulunan Assign Frame Sections ileti kutusunda C60X40 seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Klavyede F4 tuşuna basınız.
- Menüde Select-Select-Properties-Frame Sections seçeneğini seçiniz.
 - Ekranı gelen pencerede FSEC1 kesitini seçiniz ve Select düğmesine basarak kirişleri seçili duruma getiriniz.
 - Close düğmesine basınız.
- Menüde Assign-Frame-Frame Sections... seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen Frame Properties penceresinden B seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Klavyede F4 tuşuna basınız.



- 2 Nolu düğüm noktasını seçiniz.
- Menüde Edit-Replicate seçeneğini seçiniz.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda dx kutucuğuna 3, dy kutucuğuna 2.5 yazınız ve OK düğmesine basınız. Bu işlem ile kat kütle merkezini temsil eden 17 nolu düğüm noktası oluşturulacaktır.
- 17 Nolu düğüm noktasını seçiniz.
- Menüde Edit-Replicate seçeneğini seçiniz.
 - Ekranı gelen ileti kutusunda dx ve dy kutucuğundaki değerleri 0 olarak değiştiriniz, dz kutucuğuna 3 yazınız.
 - Increment Data bölümünde Number kutucuğuna 2 yazınız ve OK düğmesine basınız. Bu işlem ile 2. Ve 3. Katın kat kütle merkezini temsil eden 18 ve 19 nolu düğüm noktaları oluşturulacaktır.
- 17, 18 ve 19 nolu düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Restraints... seçeneğini seçiniz.
 - Translation 1, Translation 2 ve Rotation about 3 kutucuklarını seçili durumdan çıkarınız.

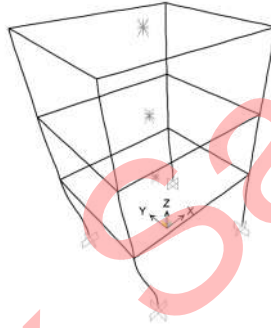
- Translation 3, Rotation about 1 ve Rotation about 2 kutucuklarının seçili duruma getiriniz ve OK düğmesine basınız.
- 17, 18 ve 19 nolu düğüm noktalarını yeniden seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Masses... seçeneğini seçiniz.
 - Specify Joint Mass bölümünde As Mass seçeneğini seçiniz.
 - Mass Coordinate Systeme açılır listesinden GLOBAL seçeneğini seçiniz.
 - Translation Global X ve Translation Global Y kutucuklarına 29 yazınız.
 - Rotation about Global Z kutucuğuna 147.417 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- Menüde Define-Joint Constraints... seçeneğini seçiniz.
 - Choose Constraint Type To Add açılır listesinden Diaphragm seçeneğini seçiniz.
 - Add New Constraint... düğmesine basınız.
 - Ekranaya gelen pencerede Constraint Name Kutusuna D1 yazınız ve OK düğmesine basınız.
 - Yeniden Add New Constraint... düğmesine basınız.
 - Ekranaya gelen pencerede Constraint Name Kutusuna D2 yazınız ve OK düğmesine basınız.
 - Yeniden Add New Constraint... düğmesine basınız.
 - Ekranaya gelen pencerede Constraint Name Kutusuna D3 yazınız ve 2 kez OK düğmesine basınız.
- 2, 6, 10, 14 ve 17 nolu düğüm noktalarını seçiniz.
- Menüde Assign-Joint-Constraints... seçeneğini seçiniz.
 - Ekranaya gelen Assign Joint Constrains penceresinde D1'i seçiniz ve Apply düğmesine basınız.
 - 3, 7, 11, 15 ve 18 nolu düğüm noktalarını seçiniz.
 - Ekranada bulunan Assign Joint Constrains penceresinde D2'yi seçiniz ve Apply düğmesine basınız.
 - 4, 8, 12,16 ve 19 nolu düğüm noktalarını seçiniz.
 - Ekranada bulunan Assign Joint Constrains penceresinde D3'ü seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- 3-d simgesine basarak 3 boyutlu görünümü açısını düzenleyiniz.
- Menüde Define Load Cases seçeneğini seçiniz.
- Load Case Name bölümünden MODAL seçeneğini seçiniz.
- Modify/Show Load Case... düğmesine basınız.
- Ekranaya gelen pencerede Maximum Number of Modes kutucuğuna 9 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'ı seçiniz
- Mode Number kutucuğuna 1 yazınız ve OK düğmesine basınız. Ekranaya gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 0.258s olarak gösterilmektedir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 1, T = 0.2158, F = 1.0113



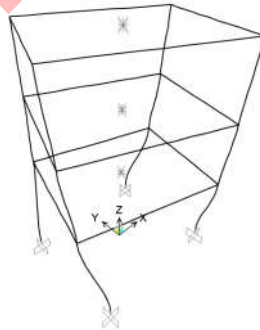
- Klavyede F6 tuşuna basınız, Mode Number kutucuğuna 2 yazınız ve OK düğmesine basınız. Ekranı gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 0.253s olarak gösterilmektedir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 2, T = 0.253, F = 1.9532



- Klavyede F6 tuşuna basınız, Mode Number kutucuğuna 3 yazınız ve OK düğmesine basınız. Ekranı gelen pencerenin başlığında hesaplanan periyot değeri 0.140s olarak gösterilmektedir.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 3, T = 0.14038, F = 7.10318



- Bu değerler ile el ile yapılan çözüm sonuçlarının yakın olduğu görülebilir.
- Klavyede F6 tuşuna basınız
- Mode Number kutucuğuna 1 yazınız ve OK düğmesine basınız.
- 3. kattaki kütle merkezini belirten düğüm noktasına sağ mouse tuşuyla tıklayınız. Trans 1 (X doğrultusundaki modal yerdeğiştirme) değeri 0.2158, Trans 2 (Y doğrultusundaki modal yerdeğiştirme) değeri -0.12177, Rotation 3 (Z eksenini etrafındaki dönme) değeri 0.0027 olarak hesaplanmıştır.
- Benzer işlemleri diğer katlarda ve diğer modlarda tekrarlayarak ilgili değerler belirlenebilir.

$$m_{101}^{(Y)} = m_{10}\phi_{101}\Gamma_1^{(Y)} = 147.4167 \cdot 0.00181 \cdot (-9.0636) = -2.417tm$$

$$m_{201}^{(Y)} = m_{20}\phi_{201}\Gamma_1^{(Y)} = 147.4167 \cdot 0.00239 \cdot (-9.0636) = -3.193tm$$

$$m_{301}^{(Y)} = m_{30}\phi_{301}\Gamma_1^{(Y)} = 147.4167 \cdot 0.0027 \cdot (-9.0636) = -3.604tm$$

olarak hesaplanır. Benzer şekilde Y deprem doğrultusu için 1. Titreşim modunda herhangi bir davranış büyüklüğüne (yerdeğiştirme, iç kuvvet bileşeni vb.) karşı gelen tipik birim modal davranış büyüklüğü $\bar{\Gamma}_1^{(Y)}$, hesaplanan kat modal etkin kütlelerinin kendi doğrultularında yük olarak etki ettirildiği bir statik hesaplama elde edilebilir.

4.15.6.7. Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemde, verilen bir deprem doğrultusunda deprem tasarım spektrumu kullanılarak, gözönüne alınan her bir titreşim modunda davranış büyüklüklerinin (iç kuvvetler, yerdeğiştirme vb.) en büyük değerleri modal hesap yöntemi ile hesaplanır. Binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan ancak eşzamanlı olmayan en büyük modal davranış büyüklükleri istatistiksel olarak birleştirilerek en büyük davranış büyüklüklerinin yaklaşık değerleri elde edilir.

Bölüm 3.15.2'de belirtildiği gibi yapının deprem davranışını belirleyen hareket denklemi, çok serbestlik dereceli sistemler için bilinmeyenler açısından girişimli bir denklem takımı olarak ortaya çıkarmaktadır. Mod birleştirme yönteminde bu denklem takımı ayrıştırılarak 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) denkleminde 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

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

olarak şekilde normalize edilmektedir. Yapıya ait yerdeğiştirmeler, titreşim modlarına bağlı olarak

$$\{x\} = \{\phi_1\} Y_1 + \{\phi_2\} Y_2 + \dots + \{\phi_N\} Y_N \quad (4.63)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

$[\phi] = [\{\phi_1\} \{\phi_2\} \dots \{\phi_N\}]$ modal matris, $[Y]^T = [Y_1, Y_2, \dots, Y_N]$ modal yerdeğiştirme olarak tanımlanırsa (4.63) denklemi

$$\{x\} = [\phi] \{Y\} \quad (4.64)$$

olarak yazılabilir.

Denk. (4.64), hareket denkleminde yerine yazılır ve $[\phi]^T$ ile soldan çarpılırsa

$$Y_{i,maks} = \Gamma_i \frac{S_{pa}(T_i, \xi)}{\omega_i^2} \quad (4.67)$$

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

$$\{x\}_{i,maks} = \{\phi_i\} Y_{i,maks} \quad (4.68)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Daha genel olarak verilen (X) deprem doğrultusu için tipik bir n 'inci titreşim modunda, herhangi bir davranış büyüklüğüne (yerdeğiştirme, görel kat ötelemesi, iç kuvvet bileşeni) karşı gelen tipik enbüyük modal davranış büyüklüğü $r_{n,max}^{(X)}$, Denk.(4.69) ile hesaplanır:

$$r_{n,max}^{(X)} = \bar{r}_n^{(X)} S_{aR}(T_n) \quad (4.69)$$

Burada $\bar{r}_n^{(X)}$ tipik birim modal davranış büyüklüğü'nü, $S_{aR}(T_n)$ ise tipik n 'inci doğal titreşim periyodu T_n için elde edilen azaltılmış tasarım spektral ivmesini göstermektedir.

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

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (4.70)$$

bağıntısı ile belirlenmektedir.

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

Verilen (X) deprem doğrultusu için tipik bir n 'inci titreşim modunda, taşıyıcı sistemin x eksenini doğrultusunda enbüyük modal taban kesme kuvveti $V_{ixn,max}^{(X)}$ ve buna karşı gelen enbüyük taban devrilme momenti $M_{oxn,max}^{(X)}$ Denk.(4.71) ile hesaplanır:

$$V_{ixn,max}^{(X)} = \sum_{i=1}^N f_{ixn,max}^{(X)} = m_{ixn}^{(X)} S_{aR}(T_n) \quad ; \quad M_{oxn,max}^{(X)} = \sum_{i=1}^N f_{ixn,max}^{(X)} H_i \quad (4.71)$$

Yeterli sayıda titreşim modu gözönüne alınarak hesaplanan ancak eş zamanlı olmayan en büyük modal davranış büyüklüklerinin üst üste eklenmesi uygun olmamaktadır. Söz konusu davranış büyüklüklerinin istatistiksel olarak birleştirilmesi ile en büyük davranış büyüklüklerinin yaklaşık değerleri belirlenmiş olur. İstatistiksel olarak birleştirme için en yaygın olarak tam karesel birleştirme (CQC) veya karelerinin toplamının karekökü (SRSS) yöntemleri kullanılmaktadır.

TBDY'de iç kuvvet bileşenleri, yerdeğiştirme ve görel kat ötelemesi gibi davranış büyüklüklerinin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere, her bir titreşim modu için hesaplanan ve eşzamanlı olmayan enbüyük modal katkıların, istatistiksel olarak birleştirilmesi için Tam karesel birleştirme (TKB) yöntemi en genel birleştirme kuralı olarak verilmiştir. Özel bazı koşulların sağlanması durumunda ise Karelerin Toplamının Karekökü (SRSS) Kuralının kullanılabileceği belirtilmiştir.

Tam karesel birleştirme (CQC) yönteminde enbüyük modal katılar Denk.(4.72) ile birleştirilir.

davranış büyüklükleri daha sonra zaman tanım alanında doğrudan toplanarak davranış büyüklüklerinin zamana göre değişimi ve tasarımda esas alınmak üzere en büyük değerleri elde edilir.

Mod Toplama Yönteminde:

- Mod katkıları doğrudan zaman tanım alanında toplandığından istatistiksel mod birleştirme kurallarının uygulanmasına gerek kalmamaktadır.
- Aynı anda birbirine dik yatay yer hareketi bileşenlerinin gözönüne alınabilmesi nedeni ile yaklaşık doğrultu birleştirmesi kurallarının uygulanmasına da gerek kalmamaktadır.

4.15.6.10. Azaltılmış İç Kuvvetlerin ve Yerdeğiştirmelerin Eşdeğer Taban Kesme Kuvvetine Göre Büyütülmesi

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, örneğin X doğrultusu için $V_{tx}^{(X)} < \gamma_E V_{tE}^{(X)}$ olması durumunda modal hesap yöntemi ile elde edilen tüm azaltılmış iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri eşdeğer taban kesme kuvveti büyütmeye katsayısı $\beta_{tE}^{(X)}$ ile çarpılarak büyütülmelidir.

$$\beta_{tE}^{(X)} = \frac{\gamma_E V_{tE}^{(X)}}{V_{tx}^{(X)}} \geq 1 \quad (4.77)$$

Burada $V_{tE}^{(X)}$ eşdeğer Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükünü (taban kesme kuvveti), $V_{tx}^{(X)}$ doğrultusunda mod birleştirme veya mod toplama yöntemi ile elde edilen toplam deprem yükünü göstermektedir.

γ_E çarpanı A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden en az birinin binada bulunması durumunda 0.90, bu düzensizliklerden hiçbirinin bulunmaması durumunda ise 0.80 olarak alınmaktadır.

Dıştan rijit perdelerle çevrelenen bodrumların bulunduğu binalarda eşdeğer taban kesme kuvveti büyütmeye katsayısı, sadece binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölüm için hesaplanır.

4.15.6.11. Modal Hesap Yöntemleri ile Bodrumlu Binaların Hesabı

Deprem Yönetmeliğinde, dıştan rijit perdelerle çevrelenen bodrumların bulunduğu binaların modal hesap yöntemleri ile hesabında, binanın üst bölümü ve bodrumlu alt bölümü birarada ortak tek bir taşıyıcı sistem olarak modellenir.

Bu tür binaların deprem hesabında aşağıda belirtilen iki yöntemden biri kullanılabilir:

- Bölüm 4.14.1 açıklanan hesap yöntemi
- İki adımlı bir hesap yaklaşımı. bodrumlu binaların modal hesap yöntemleri ile doğrusal deprem hesabı için uygulanabilen yaklaşık iki yükleme durumlu hesap yaklaşımı'nda, binanın üst bölümü ve bodrumlu alt bölümü birarada tek bir taşıyıcı sistem olarak modellenir, ancak üst bölüm ile alt bölüm'ün birbirlerine çok uzak modlarda titreşmeleri nedeni ile deprem hesabı iki yükleme durumu olarak ayrı ayrı yapılır:
 - Hesabın ilk yükleme durumunda, ortak tek taşıyıcı sistem modelinde sadece üst bölüm'ün kütleleri gözönüne alınarak modal hesap yapılır. Bu durumda yeterli titreşim modu sayısı, sadece üst bölüm'ün toplam kütlesi esas alınarak hesaplanan etkin kütle katılım oranları'na göre belirlenecektir. Hesapta üst bölüm için seçilen $R_{üst}$ ve $D_{üst}$ katsayılarına göre her bir m'inci titreşim modu için hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısı $(R_a)_{m,üst}$ kullanılacaktır. Birinci yükleme durumunda, hem üst bölüm'de, hem de alt bölüm'de azaltılmış iç kuvvetler elde edilir.

- ii. Hesabın ikinci yükleme durumunda, ortak tek taşıyıcı sistem modelinde sadece alt bölümün kütleleri gözönüne alınarak analiz yapılır. Bu durumda yeterli titreşim modu sayısı, sadece alt bölüm'ün toplam kütlesi esas alınarak hesaplanan etkin kütle katılım oranları'na göre belirlenecektir. Hesapta alt bölüm (bodrum) için $R_{alt} / I = 2.5$ ve $D_{alt} = 1.5$ alınarak her bir n'inci titreşim modu için hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısı $(R_a)_{n,alt}$ kullanılacaktır.

4.15.6.12. Bodrumlu Binalarda Tasarıma Esas İç Kuvvetler

Dıştan rijit perdelerle çevrelenen bodrumların bulunduğu binalarda, bodrum katlarının üstündeki üst bölümde ve bodrum katlarının bulunduğu alt bölümde tasarıma esas iç kuvvetler aşağıdaki şekilde belirlenecektir:

Üst bölümdeki taşıyıcı sistem elemanlarının sünek davranışına karşı gelen tasarıma esas iç kuvvetler;

- Bölüm 4.14.1 açıklanan yöntemle hesap yapılması durumunda, Bölüm 4.14.1 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi veya Modal Hesap Yöntemleri için tanımlanan iç kuvvetlerdir.
- İki yükleme durumlu hesap yöntemi ile hesap yapılması durumunda birinci yükleme durumunda üst bölümde elde edilen iç kuvvetlerdir.

Üst bölümdeki taşıyıcı sistem elemanlarının sünek olmayan davranışına karşı gelen tasarıma esas iç kuvvetler:

- Bölüm 4.14.1 açıklanan yöntemle hesap yapılması durumunda, Bölüm 4.14.1 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi veya Modal Hesap Yöntemleri için sünek olmayan davranış için tanımlanan iç kuvvetlerdir.
- İki yükleme durumlu hesap yöntemi ile hesap yapılması durumunda birinci yükleme durumunda üst bölüm'de elde edilen iç kuvvetlerin $D_{üst}$ ile çarpımından elde edilir.

Üst bölüm'deki taşıyıcı sistem elemanlarının sünek veya sünek olmayan davranışına karşı gelen tasarıma esas iç kuvvetler, gereği durumunda ikinci mertbe büyütme katsayısı ($\beta_{II}^{(X)} \geq 1$) ve Modal Hesap Yöntemlerinin kullanılması durumunda ayrıca eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı ($\beta_{IE}^{(X)} \geq 1$) ile çarpılarak büyütülmelidir.

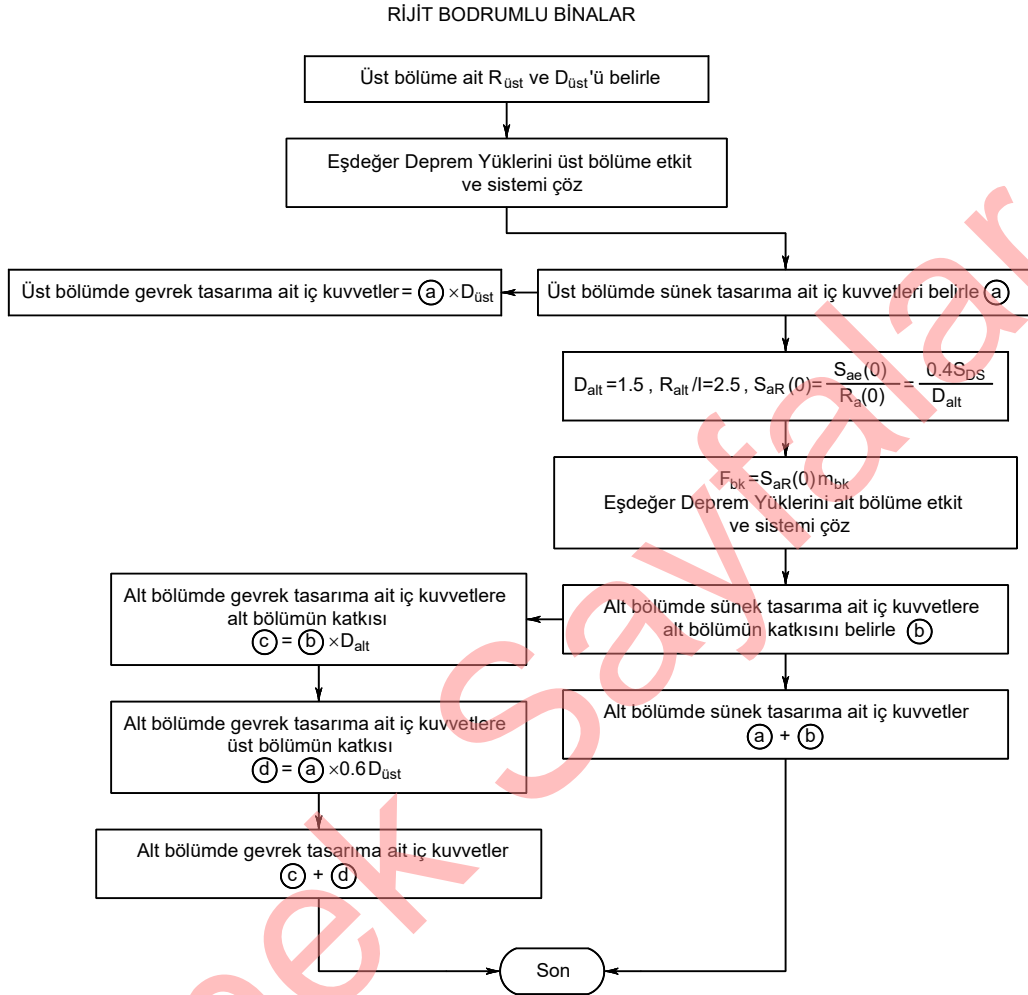
Alt bölümdeki taşıyıcı sistem elemanlarının sünek davranışına karşı gelen tasarıma esas iç kuvvetler:

- Bölüm 4.14.1 açıklanan yöntemle hesap yapılması durumunda, Bölüm 4.14.1 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi veya Modal Hesap Yöntemleri için tanımlanan iç kuvvetlerdir.
- İki yükleme durumlu hesap yöntemi ile hesap yapılması durumunda ikinci yükleme durumundan elde edilen iç kuvvetler ile birinci yükleme durumunda alt bölümde elde edilen iç kuvvetlerin toplamıdır.

Alt bölüm'deki taşıyıcı sistem elemanlarının sünek olmayan davranışına karşı gelen tasarıma esas iç kuvvetler;

- Bölüm 4.14.1 açıklanan yöntemle hesap yapılması durumunda, Bölüm 4.14.1 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi veya Modal Hesap Yöntemleri için sünek olmayan davranış için tanımlanan iç kuvvetlerdir.

İki yükleme durumlu hesap yöntemi ile hesap yapılması durumunda ikinci yükleme durumundan elde edilen iç kuvvetlerin D_{alt} ile çarpımına, birinci yükleme durumunda alt bölümde elde edilen iç kuvvetlerin $0.6D_{üst}$ ile çarpımının eklenmesi ile elde edilecektir.



Şekil 4-53 Bodrumlu Binaların Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İki Yükleme Durumlu Hesabı

Örnek 4-14:

Örnek 3-6'de verilen süneklik düzeyi yüksek sistemin İstanbul ili Kadıköy ilçesinde enlemi ve boyları 40.98° Kuzey ve 29.05° Doğu olan yerde bulunduğunu varsayınız. Binaların yerel zemin sınıfının ZC ve kullanım amacının konut olacağını 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 3-6'den)

$$[k] = \begin{bmatrix} 100296 & -33600 & 0 \\ -33600 & 48184 & -14584 \\ 0 & -14584 & 14584 \end{bmatrix} \quad [m] = \begin{bmatrix} 17.94 & 0 & 0 \\ 0 & 17.94 & 0 \\ 0 & 0 & 12.72 \end{bmatrix}$$

$$\sum_{i=1}^3 (m_i \phi_{ix3}^2 + m_i \phi_{iy3}^2 + m_{i0} \phi_{i03}^2) = \sum_{i=1}^3 m_i \phi_{i3}^2 = \{\phi_3\}^T [m] \{\phi_3\} = \begin{Bmatrix} 0.2098 \\ -0.1066 \\ 0.0227 \end{Bmatrix}^T \begin{bmatrix} 17.94 & 0 & 0 \\ 0 & 17.94 & 0 \\ 0 & 0 & 12.72 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0.2098 \\ -0.1066 \\ 0.0227 \end{Bmatrix} = 1.0t$$

3. Mod modal katkı çarpanı $\Gamma_3 = 2.138$

3. Titreşim modunda taban kesme kuvveti modal etkin kütle

$$m_{ix3}^{(X)} = \Gamma_3^{(X)} \sum_{i=1}^3 m_i \phi_{i(X)3} = 2.138 \cdot 2.138 = 4.573t$$

Tüm titreşim modları gözönüne alındığında etkin kütlelerin toplamı toplam yapı kütlelerine eşit olmalıdır.

$$\sum m_{ii} = 36.422 + 7.605 + 4.573 = 48.6t \quad ; \quad \sum m_i = 17.94 + 17.94 + 12.72 = 48.6t$$

$$\eta_1 = \frac{m_{i1}}{\sum m_i} = \frac{36.422}{48.6} = 0.749 \quad \eta_2 = \frac{m_{i2}}{\sum m_i} = \frac{7.605}{48.6} = 0.156 \quad \eta_3 = \frac{m_{i3}}{\sum m_i} = \frac{4.573}{48.6} = 0.094$$

İlgili yer için harita spektral ivme katsayıları

Kısa periyot bölgesi için harita spektral ivme katsayısı $S_S = 0.986$

1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı $S_1 = 0.269$ olarak belirlenmektedir.

Binanın yapılacağı yerde yerel zemin sınıfı ZC olarak tanımlanmıştır. $S_S = 0.986$, $S_1 = 0.269$ değerleri kullanılarak Tablo 4-1 ve Tablo 4-2'den Yerel zemin etki katsayıları (F_S, F_1)

$$F_S = 1.2 \quad F_1 = 1.5 \quad \text{olarak belirlenmektedir.}$$

Tasarım spektral ivme katsayıları

$$S_{DS} = S_S F_S = 0.986 \cdot 1.2 = 1.183$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.269 \cdot 1.5 = 0.404$$

Bina konut olarak kullanılacağından bina kullanım sınıfı Tablo 4-3'den BKS=3 ve Bina Önem Katsayısı $I=1.0$ olarak belirlenmektedir.

$S_{DS} = 1.183 > 0.75$ ve BKS=3 değerleri kullanılarak Tablo 4-4'den Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1 olarak belirlenmektedir.

$H = 9m$ ve DTS=1 değerleri kullanılarak Tablo 4-5'den Bina Yükseklik Sınıfı BYS=7 olarak belirlenmektedir.

Söz konusu bina yeni yapılacak yerinde dökme betonarme bir bina olacağından, BYS=7 ≥ 2 , DTS=1 sınıf değerleri kullanılarak Tablo 4-6'dan Deprem Yer Hareketi Düzeyi DD-2 için normal performans hedefinin Kontrollü Hasar (KH) ve kullanılacak tasarım yaklaşımının DGT olduğu belirlenir.

T_A : yatay elastik tasarım ivme spektrumunda sabit ivme bölgesine geçiş köşe periyodu

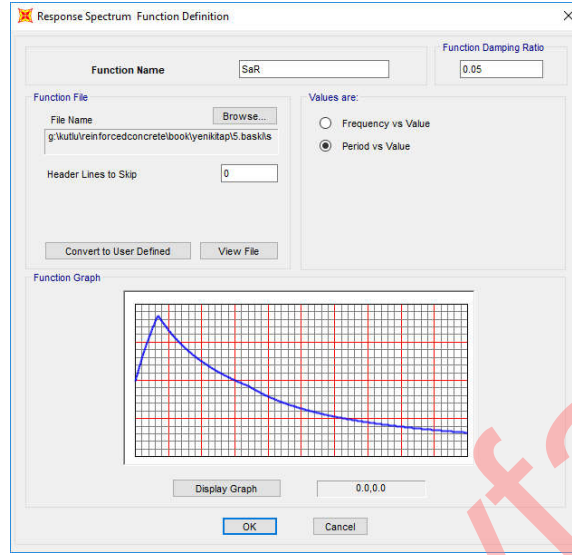
$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \frac{0.404}{1.183} = 0.068s$$

T_B : yatay elastik tasarım ivme spektrumunda sabit hız bölgesine geçiş köşe periyodu

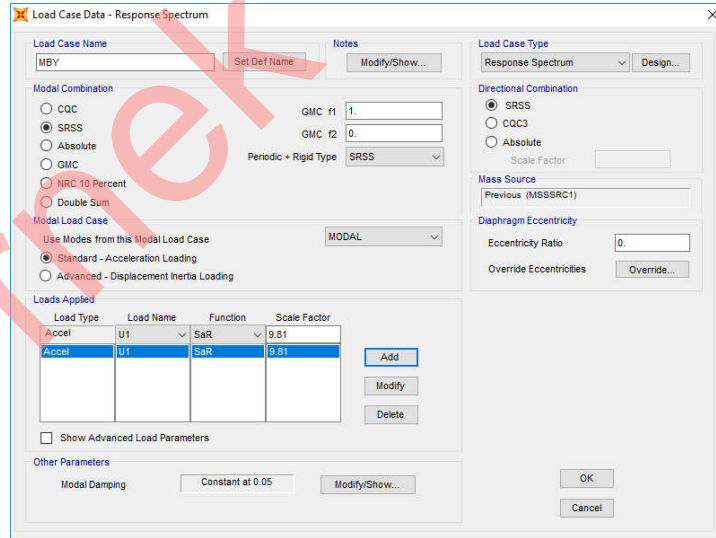
$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.404}{1.183} = 0.341s$$

Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmeleri:

$$S_{ae}(T_1) = S_{DS} = 1.183 \quad (T_A \leq T_1 = 0.277s \leq T_B)$$



- 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 SaR fonksiyonunu seçiniz
 - Scale Factor kutucuğuna 9.81 yazınız, sırasıyla Add ve 2 kez OK düğmelerine 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 2 kez OK düğmesine basınız.

OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
MBY	LinRespSpec	Max	63.879	0	2.68E-14	2.539E-14	423.4083	4.87E-13

- Taban kesme kuvveti 63.879kN olarak hesaplanmıştır. Done düğmesine basarak pencereyi kapatınız. (Taban Kesme Kuvveti klasik çözümde 63.83kN hesaplanmıştır)
- Menüde **Display**→**Show Tables** seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda **ANALYSYS RESULTS** bölümünde **Structure Output**→**Modal Information** kutucuğunu seçiniz.
- **Load Cases (Results)** bölümünde **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	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless
MODAL	Mode	1	0.278573	0.74943	0	0	0.74943	0	0
MODAL	Mode	2	0.129226	0.15649	0	0	0.90591	0	0
MODAL	Mode	3	0.077679	0.09408999...	0	0	1	0	0

Klasik çözümden elde edilen kütle katılım oranlarının program ile bulunanlar ile aynı olduğu görülmektedir.

$$\eta_1 = 0.749, \eta_2 = 0.156, \eta_3 = 0.094$$

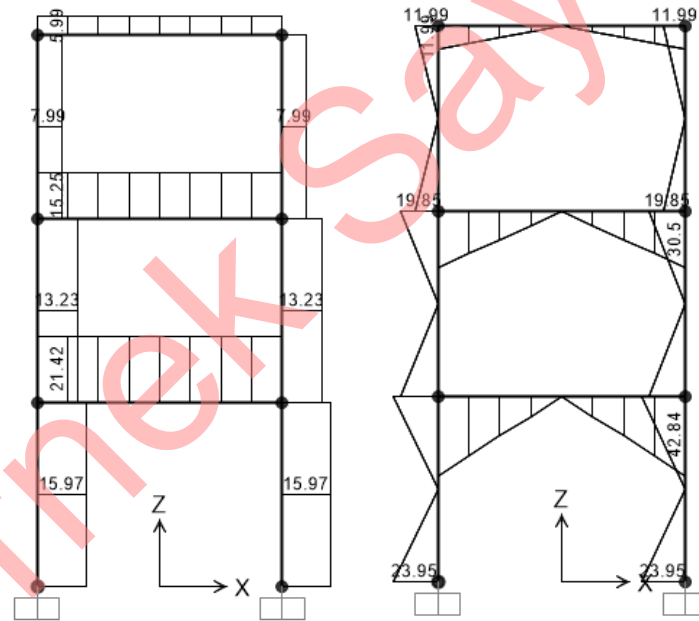
- **Modal Participation Factors** (Modal katılım faktörleri) seçeneğini seçiniz ve **Done** düğmesine basınız.

OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX KN-m	UY KN-m	UZ KN-m	RX KN-m	RY KN-m	RZ KN-m	ModalMass KN-m-s ²	ModalStiff KN-m
MODAL	Mode	1	0.276573	-6.03507	0	0	0	-8.212858	-1.632E-14	1	516.10728
MODAL	Mode	2	0.129226	-2.757765	0	0	0	10.423352	-2.165E-14	1	2364.0579
MODAL	Mode	3	0.077679	2.138378	0	0	0	-9.736359	1.887E-14	1	6542.6752

Klasik çözümden elde edilen modal katkı çarpanlarının program ile bulunanlar ile aynı olduğu görülmektedir.

$$\Gamma_1 = 6.035t, \Gamma_2 = -2.758t, \Gamma_3 = 2.138t$$

- Menüde **Display**→**Show Forces/Stresses**→**Frames/Cables/Tendons...** seçeneğini seçiniz.
- Ekranı gelen ileti kutusunda **Case/Combo Name** açılır listesinden **MBY** seçeneğini seçiniz.
- **Component** bölümünde **Shear 2-2**, **Options for Diagram** bölümünde **Show Values** radyo düğmesini seçiniz ve **OK** düğmesine basınız.



- En alt kat kolon kesme kuvveti 15.97kN olarak hesaplanmıştır. (Klasik çözüm 15.96kN)
- En alt kat kolon momenti 23.95kNm olarak hesaplanmıştır. (Klasik çözüm 23.94kNm)

$$\bar{x}_3 = \frac{1}{80.89} \int_0^t 2.138 \cdot 5 \sin(\pi\tau) \sin(80.89(t-\tau)) d\tau = \frac{106900 \left(8089 \sin(\pi t) - 100\pi \sin\left(\frac{8089t}{100}\right) \right)}{8089(10000\pi^2 - 65431921)}$$

Gerçek yerdeşistirmeler

$$x_i = \phi_{i1}\bar{x}_1 + \phi_{i2}\bar{x}_2 + \phi_{i3}\bar{x}_3$$

bağıntısıyla elde edilir.

Örnek olmak üzere 3. Kat yerdeğistirmesinin zamana bağlı değişimi

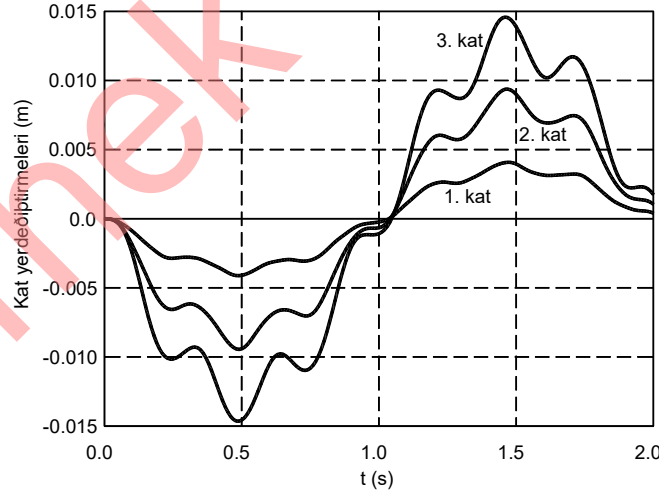
$$x_3 = 0.2301\bar{x}_1 + 0.1586\bar{x}_2 + 0.0227\bar{x}_3$$

$$x_3 = \frac{488.96 \left(568 \sin(\pi t) - 25\pi \sin\left(\frac{568t}{25}\right) \right)}{64(625\pi^2 - 322624)} + \frac{5467.7 \left(2431 \sin(\pi t) - 50\pi \sin\left(\frac{2431t}{50}\right) \right)}{2431(2500\pi^2 - 5909761)} + \dots$$

$$\frac{2426.6 \left(8089 \sin(\pi t) - 100\pi \sin\left(\frac{8089t}{100}\right) \right)}{8089(10000\pi^2 - 65431921)}$$

olarak belirlenir.

0-2sn arasındaki 1., 2. ve 3. kat yerdeğistirmelerinin zamana bağlı değişim grafiği aşağıda gösterilmektedir.

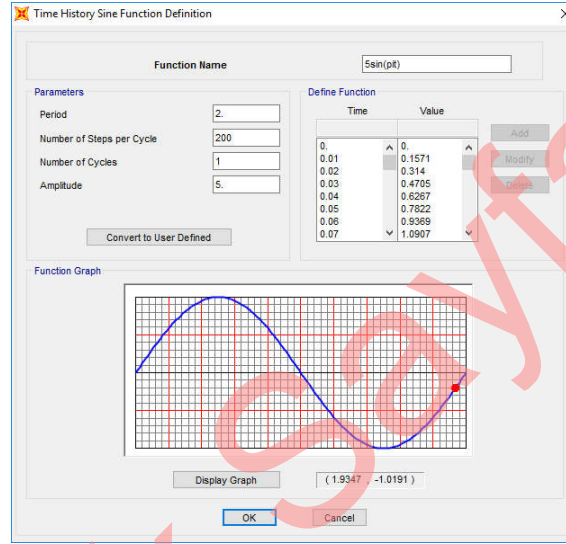


3. Kat yerdeğistirmesinin en büyük değeri 0.49s'de 0.01463m olarak hesaplanmaktadır.

SAP2000

: Örnek 3-5'deki sistemin zaman tanım alanında modal analiz ile hesabı.

- Menüde Define-Functions-Time History... seçeneğini seçiniz.
 - Choose Function Type to Add açılır listesinden Sine seçeneğini seçiniz.
 - Add New Function düğmesine basınız.
 - Function Name kutucuğuna 5sin(pi*t) yazınız.
 - Parameters bölümünde Period kutucuğuna 2 yazınız.
 - Number of Steps per Cycle kutucuğuna 200 yazınız.
 - Number of Cycles kutucuğuna 1 yazınız.
 - Amplitude kutucuğuna 5 yazınız ve 2 kez OK düğmesine basınız.



- Menüde Define-Load Cases seçeneğini seçiniz.
 - Add New Load Case... düğmesine basınız
 - Load Case Name kutucuğuna MODAL_ZTH yazınız.
 - Load Case Type açılır listesinden Time History seçeneğini seçiniz.
 - Solution Type bölümünde Modal seçeneğini seçiniz.
 - History Type bölümünden Transient seçeneğini seçiniz.
 - Loads Applied bölümünde Load Type açılır listesinden Accel seçeneğini seçiniz.
 - Load Name açılır listesinden U1 seçeneğini seçiniz.
 - Function bölümünden 5sin(pi*t) seçeneğini seçiniz ve Add düğmesine basınız.
 - Number of Output Time Steps kutucuğuna 200 yazınız.
 - Output Time Step Size kutucuğuna 0.01 yazınız.
 - Modal Damping bölümünde Modify/Show düğmesine basınız.
 - Constant damping for all Modes seçeneğini seçiniz
 - Sistem sönümsüz sistem olduğu için Constant damping for all Modes kutucuğuna 0 yazınız.
 - 2 kez OK düğmesine basınız.

4.16. Etkin Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması,

Deprem etkileri altında güvenliğin sağlanmasında oluşan iç kuvvetlerin karşılanması ek olarak hem ikinci mertebeye etkilerinin artmamasını sağlamak, hem de cephe elemanları, bölme duvarlar gibi taşıyıcı olmayan elemanlar ve mekanik donanımlardaki deprem hasarının en alt düzeyde tutulması amacıyla görelî kat yerdeğiştirmeleri (ardışık katlar arasındaki yerdeğiştirme farkları) sınırlandırılmaktadır. Taşıyıcı olmayan elemanlarda büyük hasarların oluşması, örneğin bölme duvarlarının devrilerek kaçış yollarının kapanmasına neden olması, cephe elemanlarının kırılarak veya devrilerek insanlara zarar vermesi, yangın söndürme için kullanılan mekanik donanımın zarar görmesi güvenliğı olumsuz etkileyeceğinden, yapıda aşırı yerdeğiştirmelere izin vermeyecek yeterlikte rijitliğin bulunması gerekmektedir.

Bu amaçla TBDY’de ve koşullara göre her bir deprem doğrultusu için (örneğin X doğrultusu), binanın herhangi bir i’inci katındaki kolon veya perdelerde, hesaplanan $\delta_i^{(X)}$ etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $\delta_{i,max}^{(X)}$,

- a) Gevrek malzemeden yapılmış boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarlarının ve cephe elemanlarının çerçeve elemanlarına, aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı olmaksızın, tamamen bitişik olduğu durumda Denk.(4.78)’de verilen koşulu

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008\kappa \quad (4.78)$$

- b) Gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarları ile çerçeve elemanlarının aralarında esnek derzler yapılması, cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılarla bağlanması veya dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olduğu durumda Denk.(4.79)’de verilen koşulu

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.016\kappa \quad (4.79)$$

sağlamalıdır. Denk.(4.78) ve (4.79)’te yer alan λ katsayısı, binanın gözönüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için DD-3 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesi’nin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine oranıdır. κ katsayısı ise betonarme binalarda 1.0 olarak alınır.

Etkin görelî kat ötelemeleri, Denk. (4.80) 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 R/I olarak verilmektedir.

$$\delta_i^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(X)} \quad (4.80)$$

Burada, $\Delta_i^{(X)}$, azaltılmış görelî kat ötelemesi herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade etmektedir ve Denk. (4.81) ile elde edilmektedir.

$$\Delta_i^{(X)} = u_i^{(X)} - u_{i-1}^{(X)} \quad (4.81)$$

Burada $u_i^{(X)}$ ve $u_{i-1}^{(X)}$, tipik (X) deprem doğrultusu için binanın i 'inci ve $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yerdeğiştirmeleri göstermektedir. Ancak bu değerlerin hesaplanmasında binanın hakim doğal titreşim periyodu $T_p^{(X)}$ 'in deprem hesabında gözönüne alınacak en büyük değeri T_{pA} periyodunun 1.4 katından daha fazla olmaması koşulu ve Denk.(4.47)'de verilen minimum eşdeğer deprem yükü koşulu gözönüne alınmaz.

Etkin görel kat ötelemelerinin verilen sınır değerleri binanın herhangi bir katında aşması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

Örnek 4-16

Örnek 4-12 verilen binanın, İstanbul ilinde enlemi ve boylamı 41.1° Kuzey ve 29.02° Doğu olan yerde bulunduğunu ve yerel zemin sınıfının ZC olduğunu varsayarak etkin görel kat öteleme değerlerini kontrol ediniz

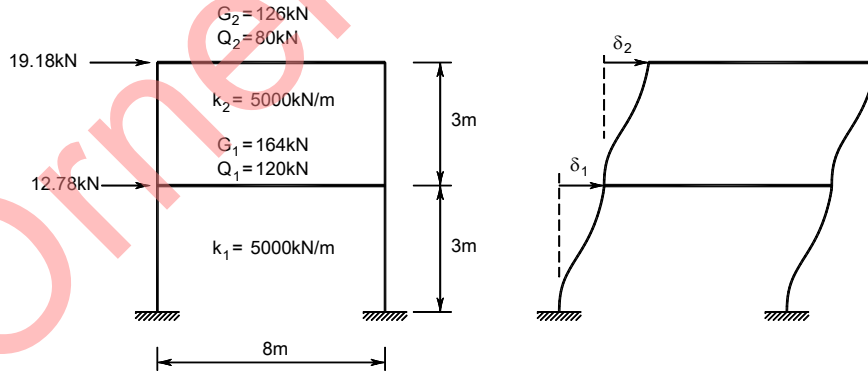
Çözüm:

Kolonların uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan azaltılmış görel kat ötelemeleri (Δ_i) ve etkin görel kat ötelemelerinin (δ_i) hesabı:

$$\delta_i = \frac{R}{I} \Delta_i \quad R = 8 \quad I = 1$$

Kat	F_i	V_i	k_i	$\Delta_i = V_i / k_i$	δ_i
2	19.18	19.18	5000	0.0038	0.0304
1	12.78	31.96	5000	0.0064	0.0512
Toplam	31.96				

$\delta_{i,maks} = 0.0512m$ olarak hesaplanır.



Gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarları ile çerçeve elemanlarının aralarında esnek derzler yapıldığı, cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılarla bağlandığı veya dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olduğu varsayılacaktır.

DD-2 için $S_{DS} = 0.875$, $S_{D1} = 0.314$

$$\theta_{II,2} = M_{II,2} / M_{I,2} = 0.57 / 57.54 = 0.0099$$

Birinci katta birinci merteye moment değeri

$$M_{II,1} = (F_1 + F_2) h_1 = V_1 h_1 = 31.96 \cdot 3 = 95.88 kNm$$

Birinci katta ikinci merteye moment değeri

$$M_{II,2} = \Delta_{1,ort} (w_1 + w_2) = 0.0064 \cdot (200 + 150) = 2.24 kNm$$

Birinci kat için ikinci merteye gösterge değeri

$$\theta_{II,1} = M_{II,1} / M_{I,1} = 2.24 / 95.88 = 0.0233$$

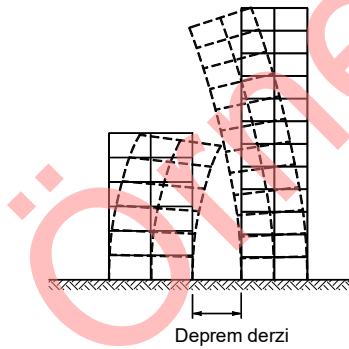
Tüm katlar için hesaplanan θ_{II} 'lerin maksimum değeri $\theta_{II,1} = 0.0233$ olarak bulunur.

$$\theta_{II,max} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R}$$

$\theta_{II,max} = 0.0233 \leq 0.12 \frac{3}{1.8} = 0.045$ koşulu sağlandığından tasarımda yerel ikinci merteye etkileri yürürlükteki çelik yönetmeliğine göre gözönüne alınır.

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 4-54 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 değişmelerinin 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 yerdeğiştirmelerin karelerinin toplamının karekökü ile aşağıda tanımlanan α katsayısının çarpımı sonucunda bulunan değerden az olmamalıdır. Gözönüne alınacak kat yerdeğiştirmeleri, kolon veya perdelerin bağlandığı düğüm noktalarında hesaplanan azaltılmış $u_i^{(X)}$ yerdeğiştirmelerinin kat içindeki

ortalamalarıdır. Mevcut eski bina için hesap yapılmasının mümkün olmaması durumunda eski binanın yerdeğiştirmeleri, yeni bina için aynı katlarda hesaplanan değerlerden daha küçük alınmamalıdır.

- Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin bütün katlarda aynı seviyede olmaları durumunda $\alpha = 0.25(R/I)$ alınmalıdır.
- Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin, bazı katlarda olsa bile, farklı seviyelerde olmaları durumunda, tüm bina için $\alpha = 0.5(R/I)$ alınmalıdır.

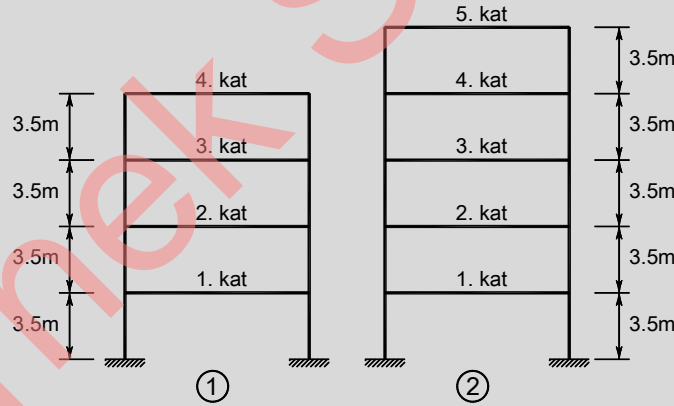
Bırakılacak minimum derz boşluğu, 6 m yüksekliğe kadar en az 30 mm olmalı ve bu değere 6 m'den sonraki her 3 m'lik yükseklik için en az 10 mm eklenmelidir.

Bina blokları arasındaki derzler, depremde blokların bütün doğrultularda birbirlerinden bağımsız olarak çalışmasına olanak verecek şekilde düzenlenmelidir.

Ayrık iki bina bloğunun veya bir binanın deprem davranışları bakımından farklı iki bölümünün birbirine köprü ve benzeri bir eleman ile bağlanması durumunda, söz konusu elemanın bağladığı bloklardan biri üzerindeki hareketli mesnedinin her iki deprem doğrultusu ve yönündeki yerdeğiştirme kapasitesi, iki bloğun bağlantı elemanı seviyesinde azaltılmış deprem yükleri için hesaplanan yerdeğiştirmelerinin mutlak değerleri toplamının en az $1.5(R/I)$ katı olmalıdır.

Örnek 4-18

Aşağıdaki şekilde gösterilen binlar için deprem etkisi için bırakılacak derz boşluğu boyutlarını belirleyiniz. Etkin görel kat ötelemesi değerinin her katta 4 katlı bina için $0.020h_i$, 5 katlı binada $0.015h_i$ olarak hesaplandığını varsayınız.



Çözüm:

Azaltılmış görel kat ötelemesi $\Delta_i = \delta_i \frac{I}{R}$

$$1 \text{ nolu binada azaltılmış görel kat ötelemesi } \Delta_i = 0.020 \cdot 3500 \frac{1}{8} = 8.75 \text{ mm}$$

$$2 \text{ nolu binada azaltılmış görel kat ötelemesi } \Delta_i = 0.015 \cdot 3500 \frac{1}{8} = 6.56 \text{ mm}$$

$$1 \text{ nolu binada en üst kat (4. kat) yatay yerdeğiştirme: } u_{4,1} = 4 \cdot 8.75 = 35 \text{ mm}$$

4.19.2. Performans Hedefleri

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım – ŞGDT kapsamında Yüksek Binalar'ın tasarımında ve Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi'nde esas alınacak performans hedefleri Tablo 4-6'da tanımlanmıştır.

Tablo 4-6 (a)'ya göre Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1a, DTS=2a ve Bina Yükseklik Sınıfı BYS=2, BYS=3 olan binalarda;

- DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında $I = 1.5$ alınarak DGT hesap esasları ile yapılan tasarım bir ön tasarım olarak gözönüne alınır.
- Ön tasarımı yapılan bina taşıyıcı sistemi bu kez DD-1 deprem yer hareketinin etkisi altında Tablo 4-6'da İleri Performans Hedefi olarak tanımlanan Kontrollü Hasar (KH) performans hedefini ve ayrıca DD-3 depremi altında Sınırlı Hasar (SH) performans hedefini sağlamak üzere Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımı ile değerlendirilir ve gerekli olması durumunda tasarım iyileştirilir.

4.19.3. Deprem Etkisinin Tanımlanması ve Diğer Etkilerle Birleştirilmesi

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım kapsamında, İtme Yöntemlerinde esas alınacak deprem etkisi, yatay elastik tasarım ivme spektrumu veya ölçeklendirilen deprem yer hareketleri olarak gözönüne alınır.

Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım kapsamında, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminde deprem etkisi, ölçeklendirilen deprem yer hareketleri olarak gözönüne alınır.

Taşıyıcı sistem elemanlarının değerlendirilmesinde esas alınmak üzere, deprem etkisinin, düşey yük etkisi ile birleşimi Denk.(4.85)'da tanımlanmıştır:

$$G + Q_e + 0.2S + E_d^H + 0.3E_d^Z \quad (4.85)$$

Yukarıdaki bağıntıda G sabit yük etkisini, S kar yükü etkisini, E_d^Z düşey deprem etkisini göstermektedir. Etkin hareketli yük etkisi, Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı n kullanılarak $Q_e = nQ$ olarak hesaplanır.

Doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile yapılacak deprem hesabından önce, yatay deprem etkisi E_d^H dışındaki statik düşey yüklerin taşıyıcı sisteme artımsal olarak uygulandığı doğrusal olmayan statik hesap yapılır. Bu hesaptan elde edilen iç kuvvetler, yatay deprem hesabında başlangıç değerleri olarak gözönüne alınır. Yeni yapılan ve güçlendirilen binalarda bu aşamada doğrusal olmayan şekildeğiştirmelere izin verilmemektedir. Ancak mevcut binaların değerlendirilmesinde, (eğer varsa) doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler de başlangıç değerleri olarak gözönüne alınacaktır.

Yatay deprem etkisi E_d^H

- Doğrusal olmayan yatay deprem hesabının İtme Yöntemleri ile yapılması durumunda E_d^H , (X) ve (Y) deprem doğrultularında ayrı ayrı hesaplanan etkilerin $\pm E_d^X \mp 0.3E_d^Y$ ve $\pm E_d^Y \mp 0.3E_d^X$ olarak birleştirilmesi ile elde edilen yatay deprem etkisine karşı gelmektedir.
- Doğrusal olmayan yatay deprem hesabının zaman tanım alanında yapılması durumunda, yatayda birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularındaki deprem bileşenleri birlikte eş zamanlı olarak

Yığılı plastik şekildeğiştirmeyi temsil eden plastik mafsal'ın, teorik olarak plastik şekildeğiştirme bölgesi'nin ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda kiriş ve kolonlar için net açıklıkların uçlarına, perdeler için ise ilgili katta perde alt ucuna konulabilir.

Betonarme plastik mafsal kesitlerinin etkin akma yüzeylerinin tanımlanmasına ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir:

- Malzeme dayanımları mevcut binalarda mevcut dayanımlar, yeni binalarda ise beklenen (ortalama) dayanımlar olarak alınır. Beton için beklenen dayanım $f_{ce} = 1.3f_{ck}$ ve donatı çeliği için beklenen dayanım $f_{ye} = 1.2f_{yk}$ olarak belirlenir. Burada f_{ce} ve f_{ck} betonun ortalama ve karakteristik basınç dayanımlarını, f_{ye} ve f_{yk} ise çeliğin ortalama ve karakteristik akma dayanımlarını göstermektedir.
- Etkin akma momentinin hesabında betonun basınç birim şekildeğiştirmesi 0.0035, donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 alınabilir.
- Etkin akma momentinin hesabında düşey yüklerden meydana gelen eksenel kuvvetler dikkate alınır.

Betonarme kesitlerin iç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) terk edilebilir.

Zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan deprem hesabında çevrimsel davranış modeli olarak, betonarme taşıyıcı sistemler için önceki maksimuma yönelimli model veya çevrim içi rijitlik azalmasına olanak sağlamak üzere ondan türetilmiş modeller (örneğin Takeda modeli, Şekil 4-56) kullanılabilir.

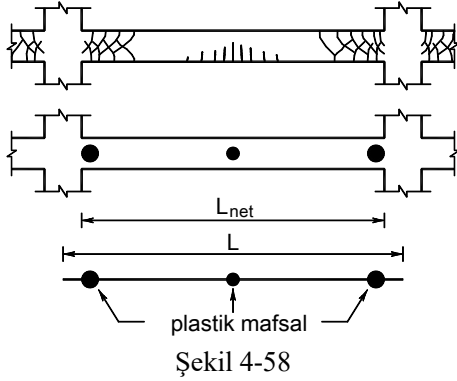
4.19.5.2. Yayılı Plastik Davranış Modelleri

Binanın taşıyıcı sistemini oluşturan kolon, kiriş ve betonarme perdelerde doğrusal olmayan davranış modeli olarak *yayılı plastik davranış modelleri* de kullanılabilir. Yayılı plastik davranış modelleri, sonlu uzunluktaki uç bölgeleri (*plastik şekildeğiştirme bölgeleri*) veya elemanın tüm uzunluğu boyunca doğrusal olmayan şekildeğiştirmeleri sürekli (yayılı) biçimde gözönüne almak üzere kullanılabilir.

Kesit içinde betonun yeteri kadar küçük hücrelerle, çelik donatı çubuklarının ise tekil olarak modellendiği ve her bir hücrede doğrusal olmayan eksenel gerilme-birim şekildeğiştirme bağıntılarının çevrimsel olarak gözönüne alınabildiği *kesit hücresi (lif)* modeli, özellikle betonarme perdelerin doğrusal olmayan modellenmesi için kullanılabilir, Şekil 4-57. Bu modelle, karmaşık kesitli (T, L, U veya C şeklinde) betonarme perdelerde planda enkesit çeşitli bölgelere ayrılabilen, düşey doğrultuda da perde boyunca sonlu uzunlukta parçalar gözönüne alınarak her bir perde kolunda iki boyutlu bir sonlu eleman ağı oluşturulabilmektedir.

Betonarme perdelerin eğilme ve eksenel kuvvet etkisi altında doğrusal olmayan davranışının modellenmesi için kullanılan *kesit hücresi (lif)* modeline paralel olarak perdedeki *kayma şekildeğiştirmeleri* de, *sonlu eleman ağı'na* paralel bağlı *doğrusal bir kayma modeli* ile yaklaşık olarak hesaba katılabilir. Bu modelde kullanılacak kayma modülü Tablo 4-9'dan alınabilir.

ile veya yayılı plastik davranış modelleri ile modellenebilir. Uygulamada yığılı plastik mafsallı modelinin kullanımı genel olarak yeterli kabul edilmektedir.



Kolon ve kirişlerin birleştiği düğüm noktalarında altı serbestlik derecesinin tümü gözönüne alınmalıdır. Döşemelerin rijit diyafram olarak modellenmesi durumunda, bu serbestlik derecelerinin rijit hareketlere karşı gelenleri kaldırılır.

Kolon ve kirişlerde plastik mafsallar, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği gözönüne alınmalıdır. Uçlardaki plastik mafsalların arasında kalan uzunluk boyunca betonarme kolon ve

kirişler doğrusal elemanlar olarak modellenir ve bu elemanlarda etkin kesit rijitlikleri kullanılır.

4.19.6.3. Betonarme Perdelerin Modellenmesi

Deprem hesabının doğrusal olmayan İtme Yöntemleri ile yapılması durumunda, betonarme boşluksuz perdelerde veya bağ kirişli (boşluklu) perdeyi oluşturan perde parçalarının her birinde, doğrusal olmayan davranış modeli olarak Yığılı Plastik Davranış (Plastik Mafsallı) Modeli kullanılabilir.

- Bu durumda plastik mafsallar, her katta perde kesiminin alt ucuna konulabilir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden üst katlara doğru devam eden perdelerin plastik kesitleri en az birinci bodrum kat tabanından başlamak üzere tanımlanmalıdır.
- Plastik mafsalların arasında kalan uzunluk boyunca perdeler doğrusal elemanlar olarak modellenir ve bu elemanlarda etkin kesit rijitlikleri kullanılır.
- Karmaşık kesitli (T, L, U veya C şeklinde) perdeleri oluşturan perde parçalarının kat seviyelerinde kiriş ve/veya döşeme sonlu elemanları ile planda birleştiği düğüm noktalarındaki bağımlı serbestlik dereceleri, üç boyutlu rijit cisim hareketi koşulunu sağlayacak şekilde kesit ağırlık merkezinde tanımlanacak olan ana düğüm noktasındaki altı bağımsız serbestlik derecesine kinematik olarak bağlanmalıdır.

Deprem hesabının zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem ile yapılması durumunda ve yüksek binalarda boşluksuz ve boşluklu perde parçaları için plastik mafsallı model kullanılmamalıdır. Bu elemanlarda kesit hücresi (lif) modelinin kullanılması zorunludur.

Bağ kirişli (boşluklu) perdelerin bağ kirişlerinin doğrusal olmayan modelleri çubuk eleman olarak veya özel modelleme yöntemleri ile gerçekleştirilebilir.

4.19.6.4. Bodrum Perdelerinin ve Döşemelerin Modellenmesi

Özel durumlar dışında, bina çevresindeki bodrum perdelerinin ve bina döşemelerinin doğrusal olmayan modellenmesi gerekli değildir. Normal durumlarda, bu elemanlar için etkin kesit rijitlikleri ile eşdeğer doğrusal modelleme yapılabilir.

4.19.7.1. Tek Modlu İtme Yöntemleri

Tek Modlu İtme Yöntemleri, doğrusal Mod Birleştirme Yöntemi'nin tek modlu uygulamasının doğrusal olmayan artımsal karşılığıdır.

Tek Modlu İtme Yöntemleri'nin uygulanabilmesi için aşağıda verilen koşulların her ikisinin de sağlanması zorunludur.

- Herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir.
- Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütleleri'nin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması gerekmektedir.

Tek Modlu İtme Yöntemleri'nde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda hakim titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde deprem yerdeğiştirme talebi sınırına kadar monotonik olarak adım adım uygulanan deprem yükü artımlarının etkisi altında, taşıyıcı sistemde oluşan yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönme, uzama, vb) ve iç kuvvet artımları ile bunların birikimli (kümülatif) değerleri hesaplanır. Son adımda, deprem talebine karşı gelen birikimli değerler, şekildeğiştirmeye değerlendirmeye esas büyüklükler olarak elde edilir.

4.19.7.2. Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi

Sabit Tek Modlu İtme Yönteminde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda her bir itme adımında katlara etkiyen deprem yükü artımları, deprem dışı yüklemelerden sonraki birinci adımda belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli ile orantılı olarak tanımlanırlar. İtme hesabı sonucunda koordinatları tepe yerdeğiştirmesi- taban kesme kuvveti olan itme eğrisi elde edilir. Daha sonra bu eğriye uygulanan koordinat dönüşümü ile koordinatları modal yerdeğiştirme-modal sözde ivme olan modal kapasite diyagramı elde edilir. Hesabın son aşamasında bu diyagram, tanımlanan deprem etkisi altında modal yerdeğiştirme talebinin ve buna bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen iç kuvvet ve plastik şekildeğiştirme taleplerinin hesaplanmasında esas alınır.

Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi İle Modal Kapasite Diyagramının Elde Edilmesi:

Sabit tek modlu itme yöntemi'nde, gözönüne alınan (X) deprem doğrultusunda k'ncü itme adımında katlara etkiyen deprem yükü artımları, deprem dışı yüklemelerden sonraki birinci adımda belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekline göre hesaplanan kat modal etkin kütleleri cinsinden ifade edilirler:

$$\Delta f_{ix1}^{(X,k)} = m_{ix1}^{(X,1)} \Delta a_1^{(X,k)} ; \Delta f_{iy1}^{(X,k)} = m_{iy1}^{(X,1)} \Delta a_1^{(X,k)} ; \Delta f_{i01}^{(X,k)} = m_{i01}^{(X,1)} \Delta a_1^{(X,k)} \quad (4.88)$$

Burada $m_{ix1}^{(X,1)}$, $m_{iy1}^{(X,1)}$ ve $m_{i01}^{(X,1)}$ kat etkin kütlelerinin birinci adımda ($k=1$) Denk. (4.62) ile hesaplanan birinci mod karşılıklarıdır.

$$m_{ix1}^{(X,1)} = m_i \phi_{ix1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)} ; m_{iy1}^{(X,1)} = m_i \phi_{iy1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)} ; m_{i01}^{(X,1)} = m_i \phi_{i01}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)} \quad (4.89)$$

Bu bağıntılarda $\Gamma_1^{(X,1)}$, gözönüne alınan (X) deprem doğrultusu ve birinci titreşim modu için birinci itme adımında hesaplanan modal katkı çarpanıdır.

Ardışık iki mafsal oluşumu arasında tanımlanan k'inci itme adımında bilinmeyen büyüklük, birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistem'in Denk.(4.88)'de yer alan modal sözde-ivme artımı $\Delta a_1^{(X,k)}$ 'dir.

Bu büyüklük, her bir adım sonunda oluşan yeni bir plastik mafsallın akma koşulundan hesaplanır. Elde edilen modal sözde-ivme artımı, bir önceki adımın sonunda bulunan sözde-ivme değerine eklenerek k 'inci adım sonundaki birikimli modal sözde-ivme $a_1^{(X,k)}$ elde edilir. Geleneksel itme hesabında $a_1^{(X,k)}$, (X) deprem doğrultusunda taban kesme kuvveti $V_{tx1}^{(X,k)}$ için yazılan Denk.(4.90)'ten elde edilir.

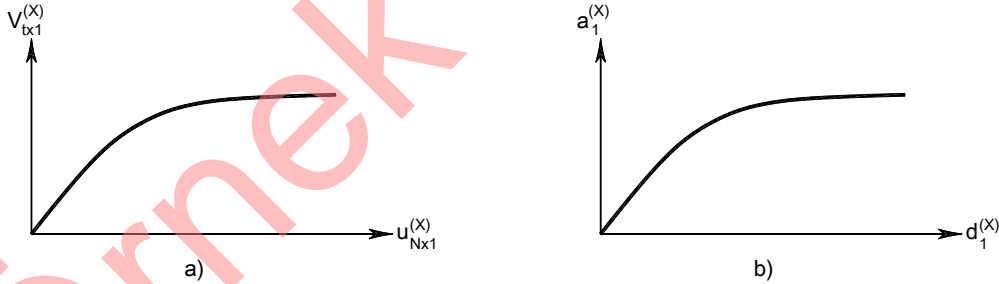
$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tx1}^{(X,k)}}{m_{tx1}^{(X,1)}} \quad (4.90)$$

Bu bağıntıda yer alan taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi $m_{tx1}^{(X,1)}$, x eksenı doğrultusunda Denk.(4.89)'de birinci itme adımındaki mod şekli'ne göre tanımlanan ve tüm itme hesabı boyunca sabit olarak alınan kat modal etkin kütleleri $m_{ix1}^{(X,1)}$ 'lerin tüm katlardaki toplamıdır.

Birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistem'in modal yerdeğiştirmesi $d_1^{(X,k)}$, itme hesabından herhangi bir i 'inci katta x doğrultusunda elde edilen yatay yerdeğiştirmeden hesaplanabilir. Geleneksel itme hesabında bu amaçla N'inci kattaki tepe yerdeğiştirmesinden yararlanılır:

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{N \times 1}^{(X,k)}}{\phi_{N \times 1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (4.91)$$

Geleneksel itme hesabında önce taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirmesi ilişkisi olarak itme eğrisi çizilir (Şekil 4-59a) ve daha sonra bu eğrinin koordinatları Denk.(4.90) ve Denk.(4.91)'e göre dönüştürülerek modal tek serbestlik dereceli sistem'e ait modal sözde ivme – modal yerdeğiştirme ilişkisi olarak modal kapasite diyagramı elde edilir (Şekil 4-59b).



Şekil 4-59

Geleneksel itme hesabında, modal yerdeğiştirmenin her adımda Denk.(4.91) ile başlangıç adımındaki doğrusal sisteme ait sabit mod şekli'ne bağılı olarak elde edilmesi nedeni ile yapılan yaklaşıklığı kısmen gidermek üzere, herhangi bir k 'ıncı itme adımında elde edilen yerdeğiştirme artımı, yaklaşık olarak o adımdaki değişken mod şekli genliği olarak alınabilir. Bu bağlamda Denk.(4.92)'deki bağıntı, tipik bir i 'inci katta x doğrultusundaki serbestlik derecesi için yazılmıştır:

$$\bar{\phi}_{ix1}^{(k)} \approx u_{ix1}^{(X,k)} - u_{ix1}^{(X,k-1)} \quad (4.92)$$

$$\Delta a_1^{(X,k)} = (\omega_1^{(k)})^2 \Delta d_1^{(X,k)} \quad (4.97)$$

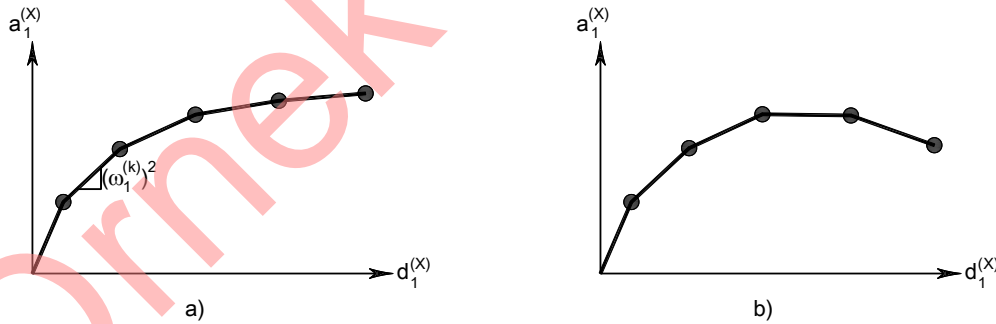
Burada $\omega_1^{(k)}$ taşıyıcı sistemin her bir k'ncı itme adımında yenilenen serbest titreşim hesabından bulunan birinci mod doğal açısal frekansı'dır.

Ardışık iki mafsals oluşumu arasında tanımlanan k'ncı itme adımında bilinmeyen büyüklük olarak, modal tek serbestlik dereceli sistem'in Denk.(4.94)'de yer alan birinci moda ait modal sözde-ivme artımı $\Delta a_1^{(X,k)}$ alınabilir (kuvvete dayalı hesap). Ancak bunun yerine, iç kuvvetlerin doğrudan hesabını olanaklı kılması bakımından, Denk.(4.96)'de yer alan modal yerdeğiştirme artımı $\Delta d_1^{(X,k)}$ 'in bilinmeyen büyüklük olarak alınması tercih edilmelidir (yerdeğiştirmeye dayalı hesap). Her iki durumda da bilinmeyen olarak alınan modal artım, k'ncı adım sonunda oluşan yeni plastik mafsalsın akma koşulu'ndan hesaplanacaktır. Bilinmeyen olarak alınan modal artım hesaplandıktan sonra diğer modal artım da Denk.(4.97)'den elde edilir.

k'ncı itme adımında elde edilen modal sözde-ivme ve modal yerdeğiştirme artımları, bir önceki adımın sonunda elde edilen değerlerle toplanarak, bu büyüklüklere ait birikimli değerler Denk.(4.98)'deki şekilde elde edilir.

$$\begin{aligned} a_1^{(X,k+1)} &= a_1^{(X,k)} + \Delta a_1^{(X,k)} \\ d_1^{(X,k+1)} &= d_1^{(X,k)} + \Delta d_1^{(X,k)} \end{aligned} \quad (4.98)$$

Böylece değişken yük veya yerdeğiştirme dağılımlı itme yönteminde, itme eğrisinin çizimine gerek olmaksızın modal kapasite diyagramı doğrudan elde edilir. Bu diyagramda ardışık iki mafsals oluşumu arasındaki k'ncı itme adımında adım-adım doğrusal davranışı temsil eden doğru parçasının eğimi, Denk.(4.97)uyarınca $(\omega_1^{(k)})^2$ 'ye eşittir (Şekil 4-60a).



Şekil 4-60

İkinci merteye etkileri'ni temsil eden geometrik rijitlik matrisi'nin serbest titreşim hesabında gözönüne alınması durumunda, Denk.(4.97)'deki $(\omega_1^{(k)})^2$, diğer deyişle modal kapasite diyagramının eğimi, taşıyıcı sistemde plastik şekildeğiştirmelerin arttığı ileri itme adımlarında negatif değerler olarak elde edilebilir (Şekil 4-60b).

- a) Deprem sünellik talebi $\mu(R_y, T_1)$, eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca rijitliği fazla olmayan taşıyıcı sistemler için Akma Dayanımı Azaltma Katsayısı R_y 'ye eşit alınır.

$$\mu(R_y, T_1) = R_y \quad T_1 > T_B \quad (4.103)$$

- b) Rijitliği fazla taşıyıcı sistemler için ise Denk.(4.24)'den Denk.(4.104)'deki bağıntı elde edilir:

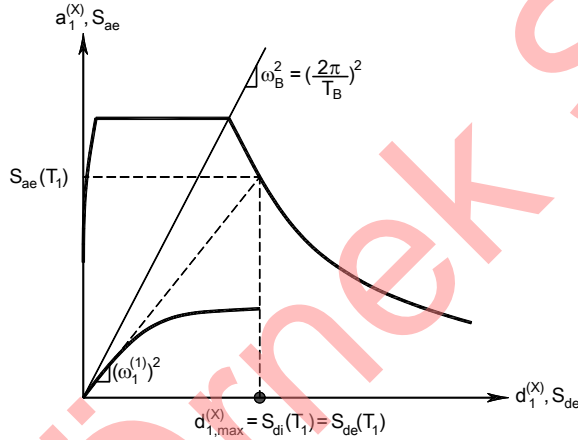
$$\mu(R_y, T_1) = 1 + (R_y - 1) \frac{T_B}{T_1} \quad T_1 \leq T_B \quad (4.104)$$

Denk.(4.101)'te tanımlanan spektral yerdeğiştirme oranı C_R , Denk.(4.103) ve Denk.(4.104)'dan yararlanılarak Denk.(4.105) ve Denk.(4.106)'deki şekilde ifade edilir:

$$C_R = 1 \quad T_1 > T_B \quad (4.105)$$

$$C_R = \frac{1 + (R_y - 1) \frac{T_B}{T_1}}{R_y} \geq 1 \quad T_1 \leq T_B \quad (4.106)$$

Şekil 4-61 ve Şekil 4-62'te birinci (hakim) titreşim moduna ait ve koordinatları modal yerdeğiştirme-modal sözde ivme (d_1, a_1) olan modal kapasite diyagramı ile koordinatları spektral yerdeğiştirme-spektral ivme (S_{de}, S_{ae}) olan doğrusal deprem spektrumu birarada çizilmiştir.



Şekil 4-61

diyagramların altında kalan alanların eşitliği esas alınır. Bu şekilde bulunan yaklaşık akma sözde-ivmesi a_{y1}^0 kullanılarak Denk.(4.102)'den R_y ve buna bağlı olarak Denk.(4.106)'den C_R ve Denk.(4.100)'ten $S_{di}(T_1)$ hesaplanır. Buna göre elasto-plastik diyagram tekrar oluşturulur (Şekil 4-62.b) ve yeniden bulunan y_1 esas alınarak aynı işlemler tekrarlanır. Sonuçların yeterince yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.

$$\Delta \ddot{d}_1^{(X)}(t) + 2\xi_1 \omega_1 \Delta \dot{d}_1^{(X)}(t) + \Delta a_1^{(X)}(t) = -\Delta u_g^{(X)}(t) \quad (4.107)$$

a) Şekil 4-61'te gösterilen durum, Denk.(4.100) ile birlikte Denk.(4.105)'nin uygulanmasına karşı gelmektedir. Bu durumda, modal kapasite diyagramı üzerinde hiçbir işlem yapmaksızın, sadece birinci titreşim modundaki doğal titreşim periyodunun $T_1 > T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2$ koşulunu sağladığının gösterilmesi yeterlidir.

b) Öte yandan Şekil 4-62'da gösterilen durum, Denk.(4.100) ile birlikte Denk.(4.106)'nin uygulanmasına karşı gelmektedir. Bu durumda spektral yerdeğiştirme oranı C_R , ardışık yaklaşımla hesaplanacaktır. Bu amaçla modal kapasite diyagramı, Şekil 4-62.a'da gösterildiği üzere, önce $C_R = 1$ alınarak iki doğrulu elasto-plastik bir diyagrama dönüştürülür. Dönüşüm işleminde

kuvvetler istatistiksel olarak birleştirilmez, Tam Karesel Birleştirme Kuralı veya Karelerinin Toplamının Karekökü Kuralı kullanılarak istatistiksel olarak birleştirilmiş modal eleman uç yerdeğiştirmeleri ve akma dönmeleri ile uyumlu olarak hesaplanır.

4.19.8. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi İle Deprem Hesabı

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap, deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden differansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonu'na karşı gelmektedir. Bu işlem sırasında, doğrusal olmayan davranış nedeni ile sistem rijitlik matrisinin zamanla değişimi gözönüne alınır.

4.19.8.1. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

Zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan hesaplarda en az onbir deprem yer hareketi takımı kullanılmalıdır. Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin (X) ve (Y) asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilir. Daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek hesap tekrarlanır.

Taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışa ilişkin enerji tüketimi dışında, doğrusal çalışan yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşan dinamik enerji kaybı, hareket denklemlerinde viskoz sönüm matrisi ile temsil edilir. Viskoz sönüm matrisi, Rayleigh oranlı sönüm matrisi veya Modal Sönüm Matrisi olarak oluşturulur.

Tüm doğrusal olmayan yöntemlerde olduğu üzere hesabın başlangıç adımında, deprem dışı yüklemeler altında doğrusal olmayan artımsal statik hesap yapılır. Bu hesaptan elde edilen iç kuvvetler ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler (yeni yapılan binalarda izin verilmez), deprem hesabında başlangıç değerleri olarak gözönüne alınır.

Hesapta kullanılacak zaman artımı, dinamik davranışa katkıda bulunan tüm titreşim modlarının yeterince temsil edilmesine olanak sağlayacak şekilde seçilmelidir.

Sünek davranışa sahip elemanlarda değerlendirmeye esas şekildeğiştirme talepleri ile sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda değerlendirmeye esas iç kuvvet talepleri, yapılan analizlerin (en az $2 \times 11 = 22$ analiz) her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanır.

4.19.8.2. Şekildeğiştirmelerin ve İç Kuvvetlerin Değerlendirilmesi

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, yeni betonarme bina elemanlarında yayılı plastik davranış modeline göre hesaplanan beton ve donatı çeliği toplam birim şekildeğiştirmeleri $\epsilon_c^{(GÖ)}$ ve $\epsilon_s^{(GÖ)}$ için izin verilen sınırlar aşağıda (a) ve (b)'de tanımlanmıştır:

a) Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için beton birim kısalması:

Dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdelerde:

$$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (4.108)$$

Dairesel kesitlerde:

$$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (4.109)$$

şekildeğiştirmeler $\varepsilon_c^{(KH)}$ ve $\varepsilon_s^{(KH)}$ ile plastik dönme $\theta_p^{(KH)}$ sınırları, Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için Denk.(4.115)'de tanımlanmıştır:

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{(GÖ)} ; \varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(GÖ)} ; \theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(GÖ)} \quad (4.115)$$

Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, yeni betonarme bina elemanlarında hesaplanan beton ve donatı çeliği izin verilen toplam birim şekildeğiştirmeler $\varepsilon_c^{(SH)}$ ve $\varepsilon_s^{(SH)}$ Denk.(4.116)'da tanımlanmıştır:

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 ; \varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \quad (4.116)$$

Etkin kesit rijitlikleri kullanılarak yapılan hesapta SH performans düzeyi için taşıyıcı sistemde plastik mafsall oluşumuna izin verilmez.

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (4.117)$$

Yeni betonarme bina elemanları için Göçmenin Önlenmesi performans durumu için hesaplanan iç kuvvet taleplerinin, ilgili elemanlar için iç kuvvet kapasitelerinden daha küçük olduğu gösterilmelidir. Ancak, iç kuvvet kapasitelerinin hesabında karakteristik malzeme dayanımları yerine ortalama (beklenen) malzeme dayanımları esas alınır.

4.19.8.3. Şekildeğiştirmeye Göre Tasarımın Sonuçlandırılması

Dayanıma Göre Tasarım yaklaşımı ile yapılan ön tasarımda belirlenen düşey taşıyıcı elemanların (perde ve kolon) ve temellerin boyut ve donatıları doğrusal olmayan hesap sonucunda azaltılmaz. Azaltma yapılmak istenirse, kesitler değiştirilerek her iki tasarım da tekrarlanmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanlar (kiriş, bağ kirişi, vb.) için, gerekli görülürse, azaltma yapılabilir. Ancak bu durumda, yapılan doğrusal olmayan hesap tekrarlanmalıdır.

5. BETONARME BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞI

5.1. Malzeme Özellikleri

TBDY, beton dayanımının TS EN 206’da tanımlanan C80’den daha yüksek olduğu binaları kapsam dışı tutmaktadır. Ayrıca deprem etkisini karşılayacak betonarme elemanlarda kullanılacak beton sınıfının en düşük TS EN 206’da verilen beton sınıflarından C25 olması gerektiği belirtilmektedir. Bu alt sınır koşulu 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.

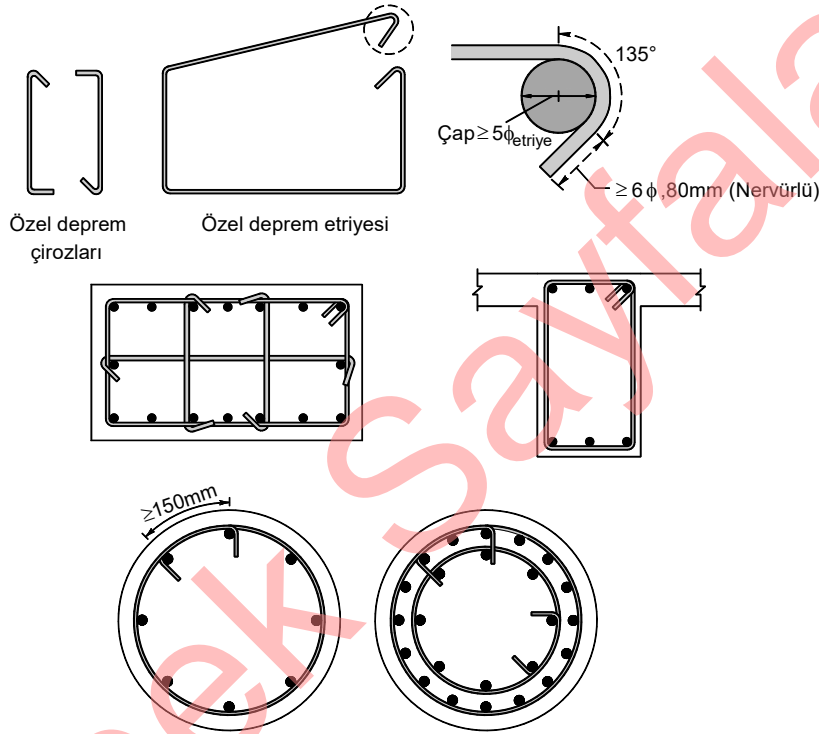
Deprem Yönetmeliğinde, deprem etkisini karşılayacak elemanlarda TS 708’de verilen B420C ve B500C nervürlü donatı çelikleri kullanılması zorunlu kılınmıştır. TS 708’de verilen koşullara ek olarak, “çekme dayanımı/akma dayanımı” oranının 1.35 değerinden küçük olması ($R_m / R_e < 1.35$) ve eşdeğer karbon oranının %0.55’i geçmemesi koşulu ile S420 beton çeliği kullanılmasına da izin verilmektedir. 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 şekil değiştirmesi 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. Donatının çekme dayanımını akma dayanımından büyüktür. Donatının çekme dayanımına ulaşması durumunda kesit dayanımı artacaktır. Bu durumun 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. Bu tasarımda çekme dayanımı/akma dayanımı için belirli bir oran öngörülmektedir. Çekme dayanım/akma dayanımının öngörülenden daha yüksek olması kirişlerdeki moment dayanımını arttıracak ve kirişte mafsallaşma daha yüksek momentler altında oluşacaktır. Donatı çeliğinin 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 tasarımın tersi bir davranış ortaya çıkacaktır. Bu ise sistemin sünekliliği ve kararlılığını olumsuz olarak etkileyecektir. Bu nedenle Deprem Yönetmeliğinde S420 donatı çeliğinin çekme dayanımının, akma dayanımının 1.35 katından daha fazla olmasına izin verilmemektedir. TS 708 de tanımlanan mekanik özelliklere göre B420C ve B500C donatılarında çekme dayanımı/akma dayanımı oranı 1.35’den küçük olduğundan bu iki sınıftaki donatılar koşulu sağlamaktadır.

5.2. Özel Deprem Etriyeleri ve Çirozları

TBDY’de, tüm betonarme sistemlerin kolonlarında, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinde kullanılan etriyelerin özel deprem etriyesi, çirozların ise özel deprem çirozu olarak düzenlenmesi gerektiği belirtilmektedir.

Özel deprem etriyeleri her iki ucunda 135° kıvrımlı kancalar bulunan etriyelerdir. Özel deprem çirozlarında bir uçta 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 nervürlü çubuklarda 6ϕ ve 80mm 'den az olmamalıdır, Şekil 5-1.



Şekil 5-1 Özel deprem etriye ve çirozları

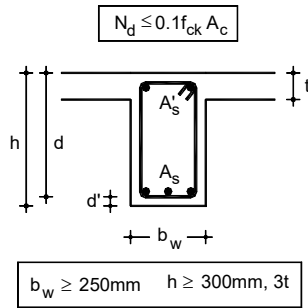
Özel deprem etriyeleri boyuna donatıyı dıştan kavramalı ve kancaları aynı boyuna donatı etrafında kapanmalıdır. Özel deprem çirozlarının çapı ve aralığı etriyelerin çap ve aralıkları ile aynı olmalıdır. Çirozlar da her iki uçlarında mutlaka boyuna donatıları ve dış etriyeyi sarmalıdır. Etriyeler ve çirozlar beton dökülürken yerlerinden kaymayacak biçimde boyuna donatılara sıkıca bağlanmalıdır.

5.3. Kirişler

5.3.1. Süneklik Düzeyi Yüksek Kirişler

Hesap eksenel kuvveti $N_d \leq 0.1A_c f_{ck}$ olan ve esas olarak eğilme momenti etkisindeki elemanlar kiriş olarak adlandırılmaktadır (TBDY Bölüm 7.4.1.2, TS500 Denk. 7.2). Deprem Yönetmeliğine göre kolonlarla birlikte çerçeve oluşturan veya perdelerle kendi düzlemleri içinde bağlanan kirişlerin enkesitleri aşağıdaki koşulları sağlamalıdır.

- Kiriş gövde genişliği en az 250mm olmalıdır. Kiriş gövde genişliği, kiriş yüksekliği ile kirişin birleştiği kolonun veya perdenin kirişe dik genişliğinin toplamını geçmemelidir, (TS500 Bölüm 7.3, TBDY Bölüm 7.4.1.1).
- Kiriş yüksekliği 300mm'den ve döşeme kalınlığının üç katından az olmamalıdır. (TS500 Bölüm 7.3), (TBDY Bölüm 7.4.1.1). Bu koşulu sağlamayan elemanlar, çözümlemeye döşeme elemanları ile beraber modellenmeli, kiriş gibi donatılmalı, ancak çerçeve kirişi olarak kabul edilmemelidir. 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, (TBDY Bölüm 7.4.1.1)
- Kiriş yüksekliği/ serbest açıklığı 1/4 'den daha fazla olan elemanların, tekrarlı yöndeğiştiren yükler etkisindeki davranışı (özellikle kesme davranışı) eğilme davranışı baskın olan elemanların davranışından farklılık göstermektedir. Bu durumdaki kirişlerde kiriş gövdesinin her iki yüzüne, kiriş yüksekliği boyunca boyuna gövde donatısı konulmalıdır. Toplam boyuna gövde donatısı alanı, sağ veya sol mesnet kesitlerinde üst ve alt boyuna donatı alanları toplamının en büyüğünün %30'undan daha az olmamalıdır. Gövde donatısı çapı 12 mm'den az, aralığı ise 300 mm'den fazla olmamalıdır. Kiriş yüksekliği boyunca 600 mm'yi ve kiriş eksenini boyunca 400 mm'yi geçmeyen aralıklarla yatay gövde çirozları konulmalıdır, Şekil 5-4.



$$N_d \leq 0.1 f_{ck} A_c$$

Çekme donatısı (eğilme donatısı)

ρ : Çekme donatısı oranı

ρ' : Basınç donatısı oranı

$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} \geq \rho_{\min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}}$$

$$(\rho - \rho') \leq 0.85 \rho_b$$

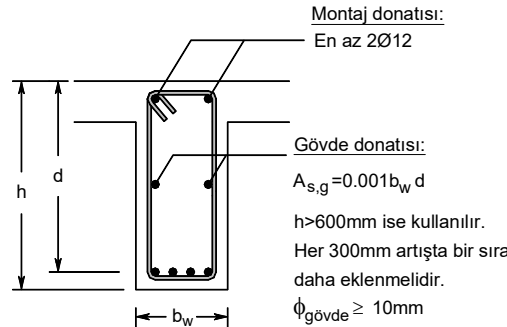
$$\rho \leq 0.02$$

$$\phi \geq 12 \text{mm}$$

$$b_w \geq 250 \text{mm} \quad h \geq 300 \text{mm}, 3t$$

Şekil 5-2 Kiriş boyutları

yüksekliğin her 300mm artışında gövde donatısına iki donatı daha eklenmeli ve bu donatılar kiriş yüksekliği boyunca eşit aralıklarla yerleştirilmelidir, Şekil 5-3.



Montaj donatısı:

En az 2Ø12

Gövde donatısı:

$$A_{s,g} = 0.001 b_w d$$

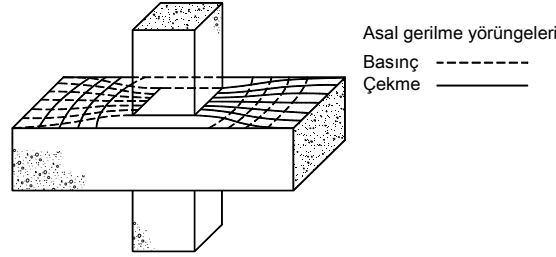
$h > 600 \text{mm}$ ise kullanılır.

Her 300mm artışta bir sıra daha eklenmelidir.

$$\phi_{\text{gövde}} \geq 10 \text{mm}$$

Şekil 5-3 Kiriş gövde ve montaj donatısı koşulları

Kiriş ile kolon arasında eğilme etkilerinin oluşturduğu gerilmelerin sağlıklı biçimde aktarılması için kiriş genişliği, mesnetlik yapan kolon genişliğinden çok büyük olmamalıdır, Şekil 5-6.



Şekil 5-6 Kirişin kolondan geniş olduğu durumda gerilme akışı [29]

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 oluşmaktadır.

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 ($\rho - \rho' \leq 0.85\rho_b$). Ayrıca çekme donatısı oranı %2'den az olmalıdır, (TS500- Denk. 7.5, TBDY 7.4.2.4).

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- Denk. 7.3, TBDY Denk. 7.8).

$$\rho \geq 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (5.1)$$

Bu koşul ile çatlak genişliğinin kabul edilebilir sınırlar içinde tutulması da amaçlanmaktadır.

Boyuna donatıların çapı en az 12mm olmalı, kirişin alt ve üstünde en az iki donatı çubuğu kiriş açıklığı boyunca sürekli olarak devam etmelidir.

Eleman üzerinde mesnet bölgeleri deprem sırasında plastik mafsallık 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. Deprem Tasarım Sınıfı; DTS=1,1a ve DTS=2,2a olan taşıyıcı sistemlerde kirişin mesnetindeki alt donatı, aynı mesnetteki üst donatının %50'sinden daha az olmamalıdır, diğer durumlarda bu oran %30'a indirilebilir (TBDY 7.4.2.3).

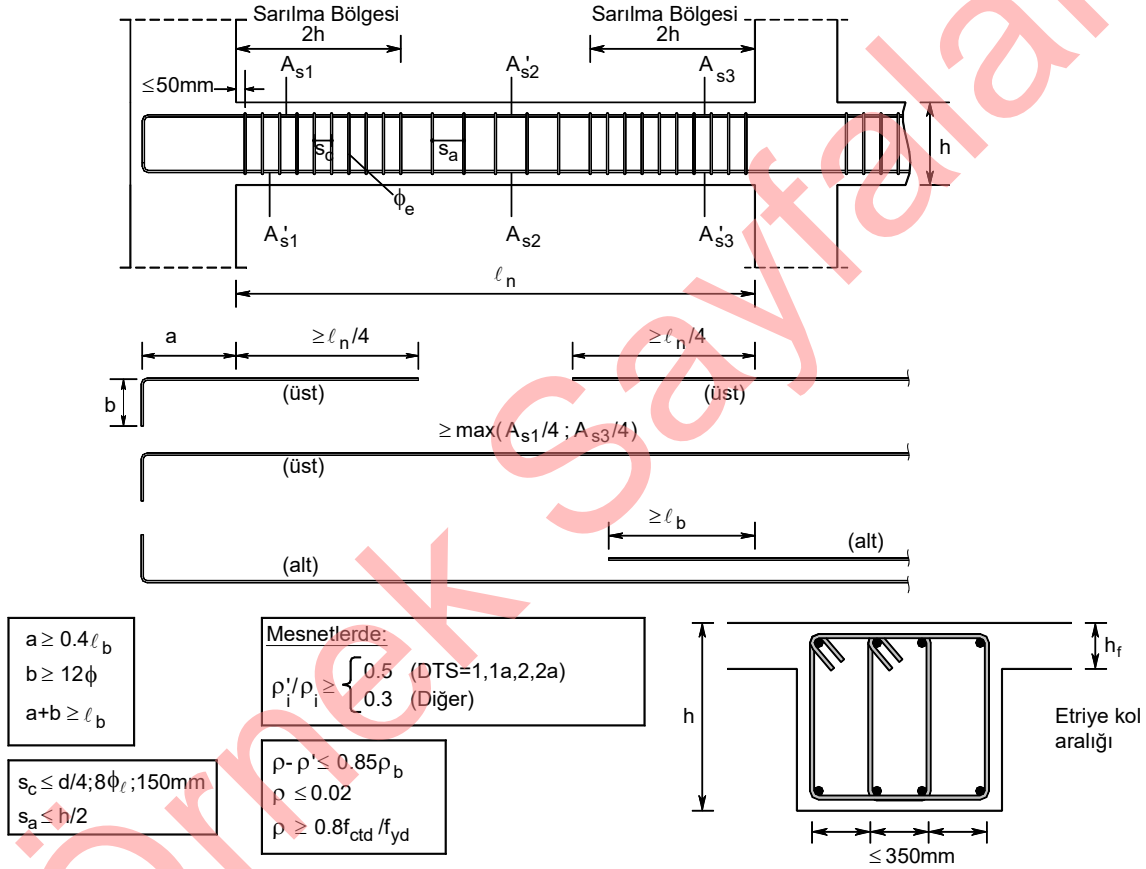
5.3.1.2. Enine donatı koşulları

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,

(TBDY 7.4.4), Şekil 5-7. Sarılma bölgesi dışında, TS-500'de verilen minimum enine donatı koşullarına uyulmalıdır. Kiriş eksenine dik doğrultuda etriye kolları arası uzaklık 350mm'yi aşmamalıdır.

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.

KİRİŞLER İÇİN KOŞULLAR:

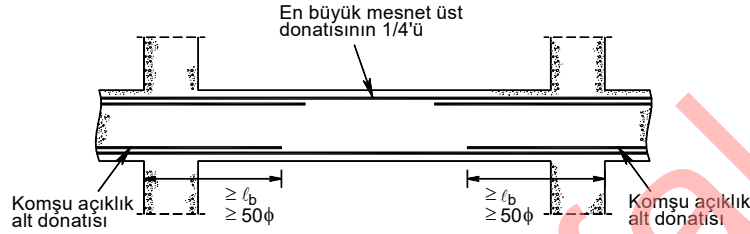


Şekil 5-7 Kiriş donatıları

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 5-8.

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 5-10. Kirişlerdeki derinlik farkı gibi nedenlerle bu olanağın bulunmadığı durumlarda kenetlenme, kirişin kolonun öbür yüzünde devam etmediği durumlar için tanımlandığı şekilde yapılmalıdır. Kirişlerdeki yükseklik farkı gibi nedenlerle bu olanağın bulunmadığı durumlarda kenetlenme, yukarıda kirişin kolonun öbür yüzünde devam etmediği durumlar için tanımlanan biçimde yapılmalıdır.



Şekil 5-10 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 gereksinime duyulmayan noktadan düz olarak ℓ_b kadar uzatılarak kenetlenme sağlanır. Düz kenetlenmeye ancak nervürlü çubuklarda izin verilmektedir.

Düz kenetlenme için kenetlenme boyu:

$$\ell_b = 0.24\phi \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \geq 40\phi \quad \text{Düz yüzeyli donatı}$$

$$\ell_b = 0.12\phi \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \geq 20\phi \quad \text{Nervürlü donatı}$$

Donatı çapı $32 < \phi \leq 40\text{mm}$ ise $\bar{\ell}_b = \frac{100}{132 - \phi} \ell_b$ 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.

5.3.1.5. 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,

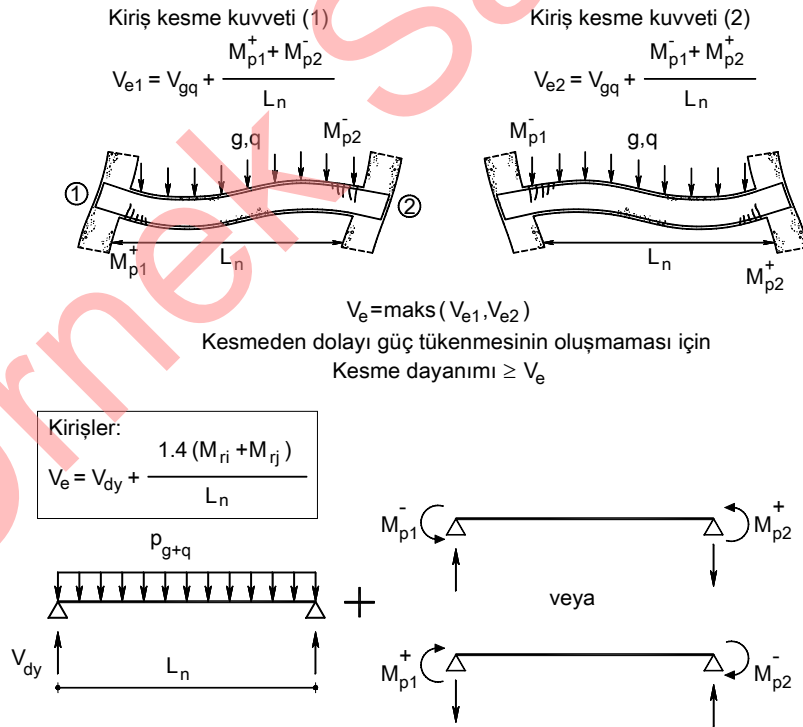
5.3.1.6. Kirişlerin Kesme Güvenliği

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 alınmıştır.

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, Denk. (5.2) ile bulunmalıdır, Şekil 5-13.

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj}) / \ell_n \quad (5.2)$$

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 alınabilir. Düşey yükler ile birlikte depremden hesaplanan D ile artırılmış kesme kuvvetinin toplamının, Denk.(5.2) ile hesaplanan V_e 'den küçük olması durumunda, V_e yerine bu kesme kuvveti kullanılmalıdır.



Şekil 5-13 Kirişlerde tasarım kesme kuvvetinin belirlenmesi

Hesaplanan kesme kuvveti, V_e 'yi karşılayacak kesme kuvveti kapasitesi V_r oluşturulmalı ve eğik basınç gerilmeleri sonucu ezilmenin oluşmayacağı kontrol edilerek Denk. (5.3) ile verilen koşullar sağlanmalıdır. Denk. (5.3)'teki ikinci koşulun sağlanamaması durumunda, kesit boyutları gereği kadar büyütülerek deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

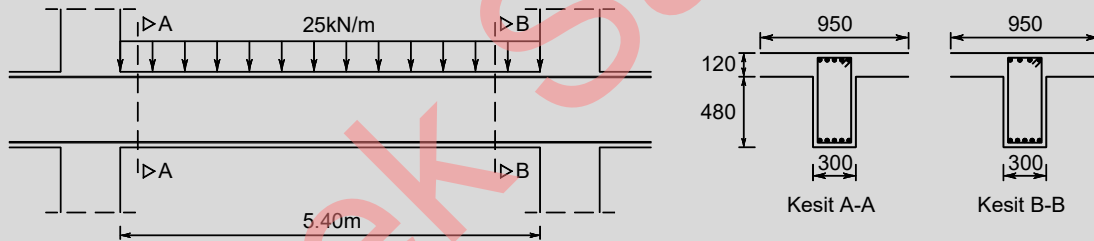
$$\begin{aligned} V_e &\leq V_r \\ V_e &\leq 0.85b_w d \sqrt{f_{ck}} \end{aligned} \quad (5.3)$$

Kiriş enine donatısının V_e kesme kuvvetine göre hesabında, betonun kesme dayanımına katkısı, V_c , TS500'e göre belirlenir. Ancak, kiriş sarılma bölgelerindeki enine donatının hesabında, sadece deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremlili durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması halinde, betonun kesme dayanımına katkısı $V_c = 0$ alınmalıdır. Çerçeve kirişlerinde pilyelerin kesme dayanımına katkıları gözönüne alınmamalıdır.

$$\begin{aligned} V_E > 0.5V_d &\rightarrow V_c = 0 \\ V_E &\leq 0.5V_d \rightarrow V_c = 0.8V_{cr} \end{aligned} \quad (5.4)$$

Örnek 5-1:

Şekilde verilen süneklik düzeyi yüksek kirişin enine donatısını belirleyiniz.



Malzeme C30/B420C

Donatılar

Kesit	Alt	Üst
A-A	5 ϕ 16 (1005mm ²)	2 ϕ 14 + 3 ϕ 18 (1071mm ²)
B-B	5 ϕ 16 (1005mm ²)	2 ϕ 14 + 4 ϕ 18 (1326mm ²)

Çözüm:

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj}) / \ell_n$$

$$M_{pi} \cong 1.4M_{ri}$$

$$M_{pj} \cong 1.4M_{rj}$$

Kiriş taşıma gücü momentinin (M_{ri}) belirlenmesi

Örnek olmak üzere kirişin sol uç kesitinin negatif taşıma gücü momenti hesabının açıklaması verilmektedir.

5.4. Kolonlar

5.4.1. Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlar

Süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanacak kolonlarda dikdörtgen kesitli kolonların en küçük boyutu 300 mm, dairesel kesitli kolonların çapı en az 350 mm olmalıdır. Kolon kesitleri için belirtilen minimum boyutlar belirli bir yanal ötelenme rijitliğinin sağlanması amacıyla yöneliktir. Kesit seçiminde, kolonların kırılganlığından güçlü olmasını sağlanabilecek boyutların gerekeceği de unutulmamalıdır.

Deprem etkisinde kolonun belirli bir sünekliğe sahip olabilmesi için aksel yük düzeyinin sınırlanması ve zorlanan eleman uç bölgelerinin sık sargı donatısı ile sarılması gerekmektedir.

Kolon kesiti

$$A_c \geq \frac{N_{dm}}{0.40 f_{ck}} \quad (5.6)$$

koşulunu sağlamalıdır.

Burada N_{dm} , TS 498'de hareketli yükler için tanımlanmış olan hareketli yük azaltma katsayıları da dikkate alınarak, G ve Q düşey yükler ve E deprem etkisinin ortak etkisi $G + Q + E$ altında hesaplanan en büyük aksel basınç kuvvetidir. Bu koşul, aksel yük düzeyinin ($N_d \leq 0.40 f_{ck} A_c$) sınırlandırılarak kesitin sünekliğinin artırılmasını ve aksel kuvvetten oluşabilecek gevrek kırılma riskinin azaltılmasını sağlamaya yöneliktir.

Boyuna donatı oranı brüt kesitin %1'inden az, %4'ünden fazla olmamalıdır. Bindirmeli ek yapılan kesitlerde donatı oranı %6'yı geçmemelidir. Kolonlarda $\phi 14$ den daha küçük çaplı ve dairesel kolonlarda 6 adetten daha az donatı kullanılmamalıdır. Bindirmeli ek yapılan kesitlerde toplam boyuna donatı oranı %6'yı geçmemelidir.

Minimum boyuna donatı oranı kesite belirli bir moment kapasitesi ve süneklik 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.

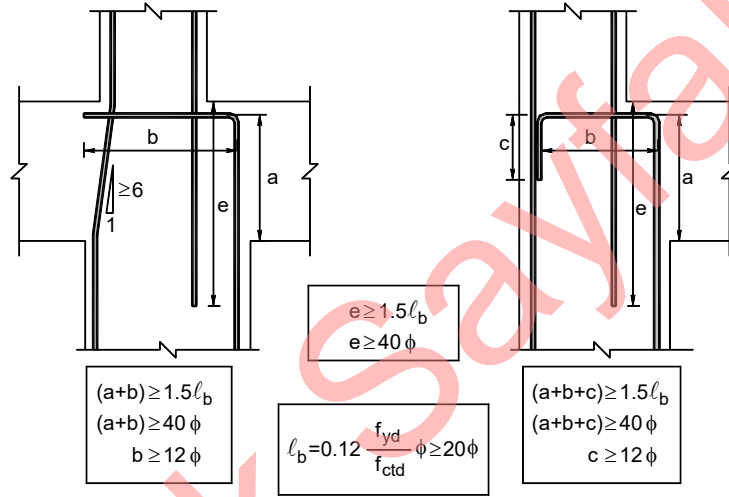
Kolon kesitinde kullanılacak boyuna donatının çapı basınç kuvveti etkisindeki donatı çubuklarının burkulması ile ilgilidir. Boyuna donatının burkulma davranışını, donatı çapının dışında boyuna donatıyı saran iki etriye arasındaki uzaklıkta etkilemektedir. Etriye aralıkları azaldıkça burkulma boyu kısalmaktadır.

Deprem etkisi altında en çok zorlanma, en büyük momentler kolon alt ve üst uçlarında oluşmaktadır. Boyuna donatıların eklenmesi kolon alt uçlarında yapılsa donatı yoğunluğundan dolayı betonlama işleminin sağlıklı yapılamama olasılığı ortaya çıkmaktadır. Dayanımın en yüksek olması gereken yerde zayıf dayanımlı bir bölge oluşturulmuş olacaktır. Bu nedenle kolon boyuna donatılarının bindirmeli ekleri, kolonun serbest yüksekliğinin orta üçte birlik bölgesinde yapılmalıdır. Bindirmeli ekinin boyu ℓ_b 'den

küçük olmamalıdır. Bindirmeli ek boyunca yerleştirilecek enine donatıların aralığı kolonun en küçük boyutunun 1/3'ünden ve 150 mm'den büyük olmamalıdır, Şekil 5-19.

Katlar arasında kolon kesitlerinin değişmesi durumunda, boyuna donatının kolon-kiriş birleşim bölgesi içinde düşeye göre eğimi 1/6'dan fazla olmamalıdır.

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, Şekil 5-14.



Şekil 5-14 Katlar arasında boyuna donatının düzenlenmesi

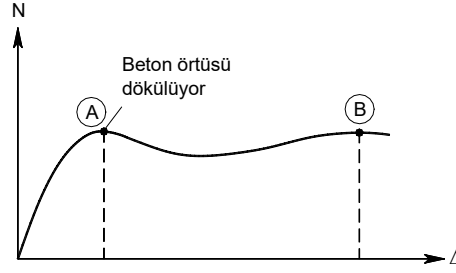
Yanyana boyuna donatılarda yapılan manşonlu veya kaynaklı eklerin arasındaki boyuna uzaklık 600 mm'den az olmamalıdır.

5.4.1.1. Kolonlarda Minimum Sargı Donatısı

Kolonlarda sargı donatısının çekirdek betonunu sararak betonda dayanım artışına ve kesitin sünekliğinin artmasına katkıda bulunduğu daha önce belirtilmişti. Aşağıda gerekli minimum sargı donatısı için yönetmelikte verilen bağıntıların elde edilişi açıklanmaktadır. Şekil 5-15'de eksenel yük etkisindeki bir fretli dairesel kolon kesitinin eksenel yük-eksenel kısalma grafiği gösterilmektedir.

Davranış incelendiğinde A'dan B'ye gidilirken sargı donatısının dışında bulunan kabuk betonu dökülmekte, sargı etkisi artarken çekirdek betonunun dayanımı artmaktadır. Beton basınç dayanımı f_{ck} 'den f_{cc} 'ye çıkmaktadır. Artan beton dayanımı için Denk. (5.7) kullanılabilir, [15].

$$f_{cc} = 0.85f_{ck} + 4.1 \cdot \sigma_2 \quad (5.7)$$



Şekil 5-15 Eksenel Yük-Eksenel Kısalma grafiği

Minimum fret oranı yitirilen kabuk betonunun taşıdığı eksenel yükün çekirdek betonunun sargı etkisi ile artan yük taşıma kapasitesine eşitlenerek bulunabilir.

$$\text{Yitirilen kapasite } \Delta N_1 = 0.85 f_{ck} \underbrace{(A_c - A_{ck})}_{\text{Kabuk Alanı}}$$

A_c : Tüm kesit alanı (Brüt enkesit alanı)

A_{ck} : Çekirdek alanı (Sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanı)

$$\text{Kazanılan kapasite } \Delta N_2 = A_{ck} (f_{c1} - 0.85 f_{ck}) = A_{ck} \cdot 4.1 \sigma_2$$

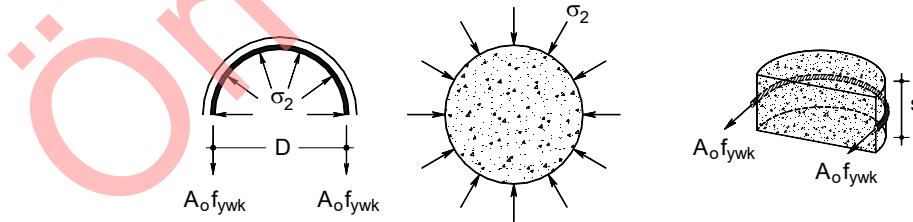
Şekil 5-15'da A ve B ile gösterilen iki tepe noktasındaki taşınan eksenel yükün aynı olabilmesi için $\Delta N_1 = \Delta N_2$ olmalıdır.

$$0.85 f_{ck} (A_c - A_{ck}) = A_{ck} \cdot 4.1 \sigma_2$$

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 5-16 Sargı donatısı kuvvetleri ve çekirdek betonuna uygulanan gerilme

Çekirdekte düzgün yayılı σ_2 gerilmesi bulunduğu varsayımı ile Şekil 5-16'dan yararlanarak yatay denge yazılırsa

bölgelerde ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle etriyeli kolonlarda yanıl basınç düzgün yayılı değildir ve etriye mesnedinden uzaklaştıkça azalmaktadır, Şekil 5-17.

Minimum etriye miktarının belirlenmesi amacıyla başlangıçta dikdörtgen kesitlerde sargı etkisi ile oluşan yanıl basıncın sabit olduğu kabul edilebilir. Bağıntılar elde edildikten sonra gerekli düzeltmeler yapılmalıdır. Şekil 5-18'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 yanıl basınç ifadesi

$$2A_o f_{yw} + 2A_o f_{yw} \cos \alpha = \sigma_2 b_k s$$

$$\sigma_2 = \frac{2A_o f_{yw} + 2A_o f_{yw} \cos \alpha}{b_k s}$$

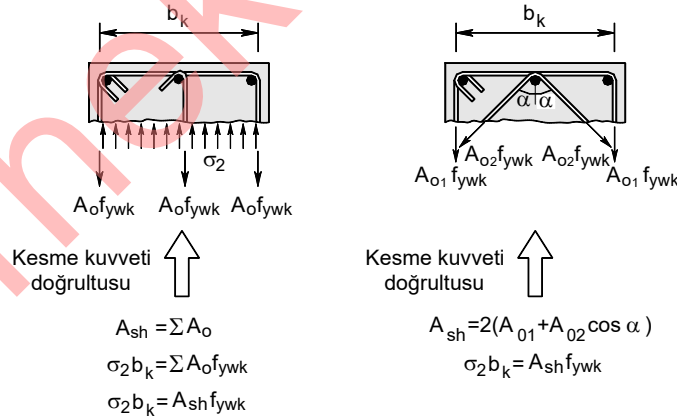
olarak elde edilir.

Genel denklem

$$\sigma_2 = \frac{\sum A_o f_{yw} \cos \alpha}{b_k s} \quad (5.14)$$

olarak yazılabilir. Burada α etriye kolunun etkiliyen 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 5-18 Dikdörtgen kesitte sargı etkisi

Yitirilen dayanım

$$\Delta N_1 = (A_c - A_{ck}) 0.85 f_{ck}$$

Kazanılan dayanım

$$\Delta N_2 = (f_{c1} - 0.85f_{ck}) A_{ck} = (f_{cc} - 0.85f_{ck}) A_{ck}$$

Yitirilen dayanımın kazanılan dayanıma eşitlenmesi ile

$$\Delta N_1 = \Delta N_2$$

$$(A_c - A_{ck}) 0.85f_{ck} = (f_{cc} - 0.85f_{ck}) A_{ck} \quad ; \quad f_{cc} = (0.85f_{ck} + 4\sigma_\ell)$$

$$0.85f_{ck} (A_c - A_{ck}) = 4\sigma_\ell A_{ck} \quad ; \quad 0.85f_{ck} \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) = 4 \frac{\sum A_o \cos \alpha}{b_k s} f_{ywk}$$

$$\sum A_o \cos \alpha = A_{sh}$$

$$\min A_{sh} = 0.2125 \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} b_k s \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \quad (5.15)$$

bağıntısı elde edilir.

$N_d > 0.20 A_c f_{ck}$ basınç kuvveti etkisindeki etriyeli kolonlar için minimum sargı donatısı alanı TBDY'de yanal basıncın düzgün olmadığını gözönüne almak üzere (5.15) ile elde edilen değer in %40 kadar artırılması ile

$$\min A_{sh} = 0.30 s b_k \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (\text{TBDY Denk. 7.1}) \quad (5.16)$$

olarak verilmektedir. 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.

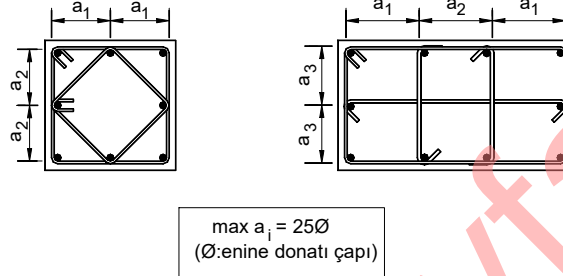
$$\min A_{sh} = 0.075 s b_k \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (\text{TBDY Denk. 7.1}) \quad (5.17)$$

5.4.1.2. Kolon Sarılma Bölgeleri

Kolonların alt ve üst uçları deprem etkileri altında daha fazla zorlandığından bu bölgelerde sargı etkisi ile sünekliği 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 boyutunun 1.5 katından, kolon serbest yüksekliğinin 1/6'sından ve 500mm'den az olmamalıdır, Şekil 5-19. Konsol kolonlarda sarılma bölgesi kolon alt ucunda oluşturulmalı ve uzunluğu kolon büyük boyutunun iki katından daha küçük alınmamalıdır. Bu donatılar temelin içinde kolonun minimum boyutundan küçük olmayan bir yükseklik boyunca devam ettirilmelidir.

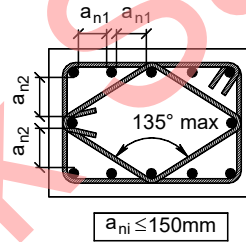
Sarılma bölgelerinde enine donatı çapı $\phi 8$ 'den az olmamalıdır. Bu bölgede boyuna doğrultudaki etriye ve çiroz aralığı en küçük enkesit boyutunun $1/3$ 'ünden ve 150mm 'den daha fazla, 50mm 'den daha az olmamalıdır. Öngörülen etriye ve çiroz aralığı sarmayı etkili kılabilecek bir sınırlama getirme 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 gerekir.



Şekil 5-20 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 5-21.



Şekil 5-21 Boyuna donatı arasındaki uzaklıklar

Etriye kolonlarda $N_d > 0.20A_c f_{ck}$ ise sarılma bölgelerindeki minimum toplam enine donatı alanı

$$A_{sh} \geq 0.30sb_k \left[\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right] \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (5.18)$$

$$A_{sh} \geq 0.075sb_k \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (5.19)$$

koşullarından elverişsiz olanını sağlamalıdır. İkinci denklem kesit boyutları büyük elemanlarda ilk denkleme bir alt sınır oluşturmak amaçlıdır.

Spiral donatılı kolonlarda $N_d > 0.20A_c f_{ck}$ ise sarılma bölgelerindeki minimum toplam enine donatının hacimsel oranı

$$V_e = \frac{M_{\ddot{u}} + M_a}{\ell_n} \quad (5.24)$$

bağıntısı ile kolon uç momentlerinin toplamının serbest boya bölünmesi ile elde edilmektedir. Kolon boyunca yatay bir kuvvetin etkimesi durumunda, örneğin zemin itkisi, kirişlerdeki benzer şekilde bu etkide tasarım kesme kuvvetinin belirlenmesinde gözönüne alınmalıdır.

Süneklik düzeyi yüksek kolonlarda, tasarımda kullanılacak kesme kuvvetinin belirlenmesinde kullanılan kolon uç momentleri ($M_a, M_{\ddot{u}}$) 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 5-27.

Kolonların kirişlerden güçlü olma koşulunun sağlandığı düğüm noktalarında, düğüm noktasına birleşen kirişlerin uçlarındaki moment kapasitelerinin toplamı olan ΣM_p momenti hesaplanmalıdır.

$$\Sigma M_p = M_{pi} + M_{pj} \quad (5.25)$$

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 $M_{\ddot{u}}$ olarak gözönüne alınmalıdır. Deprem her iki yönü için Denk. (5.25) ayrı ayrı uygulanmalı ve elde edilen en büyük ΣM_p değeri dağıtımda esas alınmalıdır. Kolonların kirişlerden daha güçlü olma koşulu sağlanmış olmasına karşın M_a veya $M_{\ddot{u}}$, güvenli tarafta kalmak üzere ilgili kesitlerin moment kapasiteleri M_{pa} ve $M_{p\ddot{u}}$ olarak alınabilir.

Kolonların kirişlerden güçlü olma koşulunun sağlanmadığı düğüm noktasına birleşen kolonların uçlarındaki momentler, kolonların moment kapasiteleri olarak hesaplanmalı ve M_a ve/veya $M_{\ddot{u}}$ olarak kullanılmalıdır. Moment kapasiteleri daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda, $M_{pa} \cong 1.4M_{ra}$ ve $M_{p\ddot{u}} \cong 1.4M_{r\ddot{u}}$ olarak alınabilir. M_{pa} ve $M_{p\ddot{u}}$ momentlerinin hesabında, depremin yönü ile uyumlu olarak bu momentleri en büyük yapan N_d eksenel kuvvetleri gözönüne alınmalıdır.

Temele bağlanan kolonların alt ucundaki M_a momenti de, kolonların moment kapasiteleri olarak hesaplanmalıdır.

Düşey yükler ile birlikte D ile arttırılmış depremden hesaplanan kesme kuvveti toplamının Denk. (5.24) ile hesaplanan V_e 'den küçük olması durumunda V_e yerine bu kesme kuvveti kullanılmalıdır.

Hesaplanan kesme kuvveti, V_e , yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti V_d 'den daha küçük alınmamalı ve ayrıca Denk.(5.26) ile verilen koşulları sağlamalıdır. Denk.(5.26)'daki ikinci koşulun sağlanamaması durumunda, eğik asal basınç gerilmeleri sonucu betonda ezilme oluşabileceğinden kesit boyutları gereği kadar büyütülerek deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

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.

Etriye kolonlarda sarılma bölgelerindeki minimum toplam enine donatı alanı

$$A_{sh} \geq 0.15sb_k \left[\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right] \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (5.29)$$

$$A_{sh} \geq 0.0375sb_k \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (5.30)$$

koşullarından elverişsiz olanını sağlamalıdır. İkinci denklem kesit boyutları büyük elemanlarda ilk denkleme bir alt sınır oluşturmak amaçlıdır.

Spiral donatılı kolonlarda $N_d > 0.20A_c f_{ck}$ ise sarılma bölgelerindeki minimum toplam enine donatının hacimsel oranı

$$\rho_s \geq 0.225 \left[\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right] \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (5.31)$$

$$\rho_s \geq 0.06 \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (5.32)$$

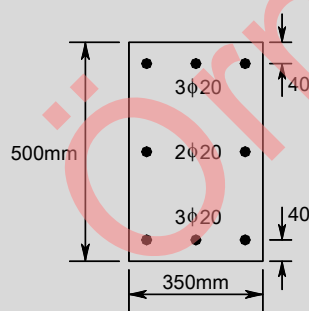
koşullarından elverişsiz olanı sağlamalıdır. Sarılma bölgesi enine donatısı için verilen bu sınırlar Denk. (5.18) , (5.19), (5.20) ve (5.21)'de verilen değerlerin yarısına karşı gelmektedir.

Kolon orta bölgesine ilişkin olarak süneklik düzeyi yüksek kolonlar için verilen tanım ve minimum enine donatı koşulları süneklik düzeyi sınırlı olan kolonlar için de geçerlidir.

Kısa kolonlara ilişkin olarak süneklik düzeyi yüksek kolonlar için belirtilen koşullar, süneklik düzeyi sınırlı olan kolonlar için de geçerlidir.

Kolonlara ilişkin koşullar Tablo 5-2'de verilmektedir.

Örnek 5-2

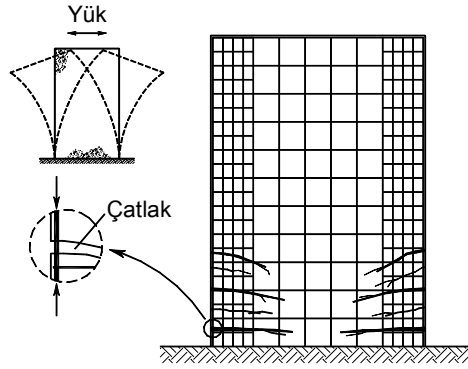


Şekilde verilen kesite $N_d = 650kN$ aksel basınç kuvveti etkimesi durumunda taşıma gücü momentini belirleyiniz.

Malzeme C30/B420C

$$f_{cd} = 20MPa \quad f_{yd} = 365MPa$$

$$\varepsilon_{yd} = 0.001825 \quad k_1 = 0.82$$



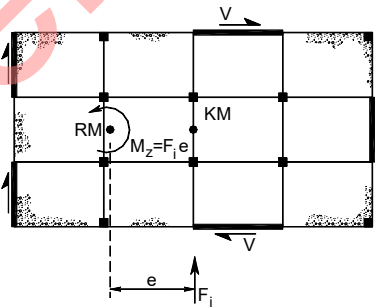
Şekil 5-30 Yön değiştiren yükler etkisinde perde davranışı

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

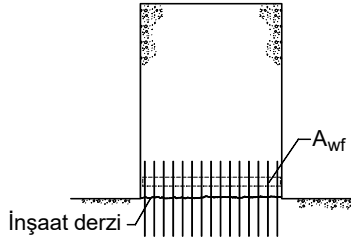
Perdelerin deprem etkilerini etkin bir biçimde karşılayabilmeleri için boyutlarının ve donatı detaylandırılmasına ek olarak kat planı içindeki yerleşimleri de önemli olmaktadır. Perdelerin rijitlikleri olabildiğince simetrik duruma getirilmeli ve bulunduğu yapıya yeterli burulma rijitliği sağlamalıdır. 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 5-31 Burulma stabilitesinin sağlanması

Düşey yüklerin perde elemanlarda oluşturacağı aksenal basınç gerilmeleri kolonlar ile karşılaştırıldığında daha düşük düzeylerde kalmakta ve sünek davranışı olumsuz yönde etkilememektedir. Aksenal basıncın perde dayanımına katkısı olacağından yapının tasarımı aşamasında perde elemana yönetmelikte belirtilen sınırları aşmayacak şekilde olabildiğince fazla düşey yük aktarılmasını sağlayan eleman yerleşimi tercih edilmeye çalışılmalıdır.



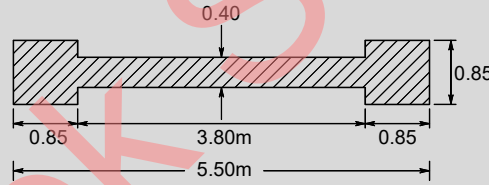
Şekil 5-43 Kesme sürtünmesi

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. Kesme sürtünmesi hesabında donatının akma gerilmesi $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ değerini geçmemelidir.

Örnek 5-3

Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı bir sistemde $H_w / \ell_w > 2.0$ olan bir perdenin tabandaki kesiti Şekil 5-44'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. ($R = 7$ $D = 2.5$)

Düşey yükler ile depremden hesaplanan kesme kuvvetinin $1.2D = 1.2 \cdot 2.5 = 3$ katı ile büyütülmesi ile elde edilen kesme kuvveti $V = 7400 \text{ kN}$ 'dur.



Şekil 5-44 Perde kesiti

Çözüm:

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

$$\ell_u \geq \max(2b_w; 0.2\ell_w) \rightarrow \ell_u \geq \max(2 \cdot 0.4 = 0.8 \text{ m}; 0.2 \cdot 5.5 = 1.1 \text{ m}) \rightarrow \ell_u = 1.1 \text{ m}$$

olarak belirlenir.

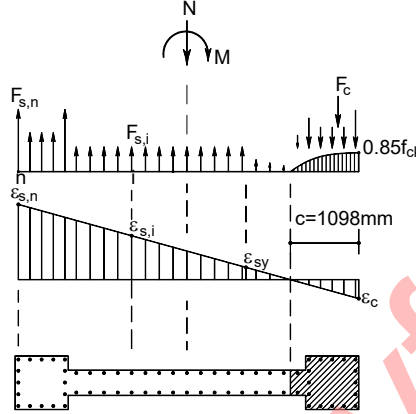
Uç bölgesi alanı

$$b_w \cdot \ell_u = 0.4 \cdot 1.1 = 0.44 \text{ m}^2$$

Genişletilmiş kesitin alanı 0.7225 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.

Seçilen donatı $34\phi 12$ (3845mm^2)

$N = 12200\text{kN}$ için taban kesitinde taşıma gücü momenti $(M_r)_t = 35746\text{kNm} > 31050\text{kNm}$ olarak belirlenir.



Şekil 5-45 Perde kesitinde şekilgeçistirme ve gerilme dağılımı

$$\frac{A_{s,\text{gövde yatay}}}{s \cdot b_w} \geq 0.0025$$

2 kollu $\phi 12$ donatı 200mm ara ile yerleştirilecek olursa

$$\frac{2 \cdot 113}{200 \cdot 400} = 0.00285 > 0.0025$$

Perde kesitinin kesme dayanımı

$$V_r = A_{ch}(0.65f_{ctd} + \rho_{sh}f_{ywd})$$

$$A_{ch} = 2 \cdot 0.85 \cdot 0.85 + 0.4 \cdot 3.8 = 2 \cdot 0.7225 + 1.52 = 2.965\text{m}^2$$

$$V_r = 2.965 \cdot 10^6 \cdot (0.65 \cdot 1.2 + 0.00285 \cdot 365) = 5.56 \cdot 10^6\text{N}$$

$$V_r = 5560\text{kN}$$

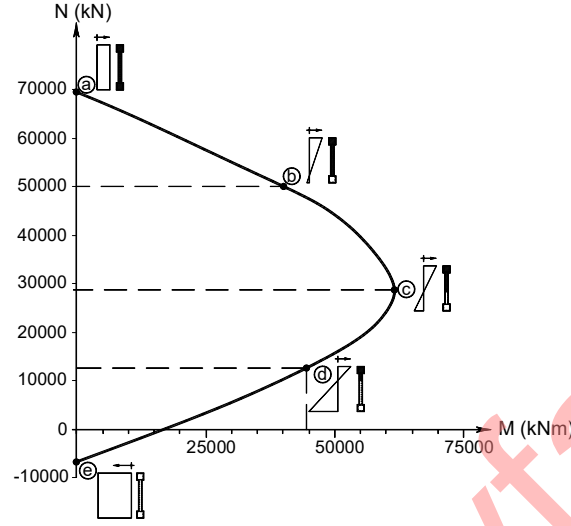
$H_w / \ell_w > 2.0$ olan perdede enine donatı hesabında esas alınacak tasarım kesme kuvveti

$$V_e = \beta_v \frac{(M_p)_t}{(M_d)_t} V_d$$

bağıntısı ile belirlenmektedir. Kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı $\beta_v = 1.5$ olarak alınmalıdır.

Seçilen donatılar esas alınarak kesitin karşılıklı etki diyagramı (M-N) oluşturulduğunda, Şekil 5-46,

$N=12200\text{kN}$ için taban kesitinde moment kapasitesi $(M_p)_t$ 44682kNm olarak belirlenmektedir.



Şekil 5-46 Perde karşılıklı etki diyagramı

Bu durumda kesit içinde oluşan gerilme ve şekildeğişiklikler Şekil 5-45'de gösterilmektedir.

Tasarıma esas kesme kuvveti

$$V_e = 1.5 \cdot \frac{44682}{31050} \cdot 2557 = 5520 \text{ kN}$$

Olarak belirlenir.

Düşey yükler ile depremden hesaplanan kesme kuvvetinin $1.2D = 1.2 \cdot 2.5 = 3$ katı ile büyütülmesi ile elde edilen kesme kuvveti V_e 'den büyük olduğundan hesaplarda $V_e = 5520 \text{ kN}$ değeri kullanılacaktır. Perde kesitinin kesme dayanımı $V_r = 5560 \text{ kN}$ olarak belirlenmişti.

$$V_r = 5560 \text{ kN} > V_e = 5520 \text{ kN}$$

olduğundan dolayı kesme güvenliği sağlanmaktadır.

5.5.10. Perdelerde Güç Tükenmesi Durumları

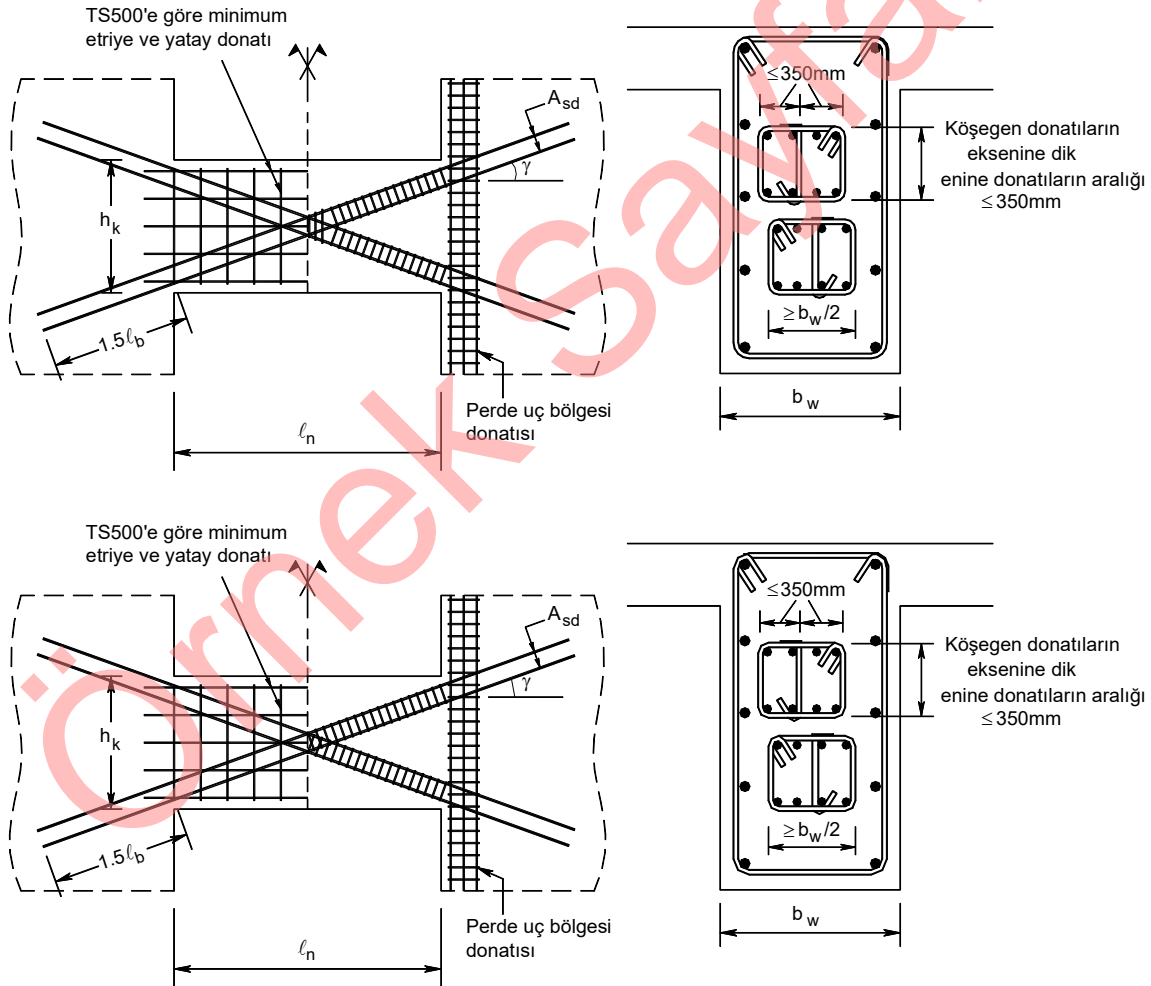
Konsol perdelerin dayanıma ulaşma biçimleri Şekil 5-47'de gösterilmektedir. Bunlardan ilki, perdenin eğilme momenti etkisinde dayanımına ulaşmasıdır (Şekil 5-47b). Bu davranış sünek olacağından tercih edilen bir davranış türüdür. Kesme kuvveti sonucu oluşan eğik çekme veya eğik basınç gerilmeleri sonucu dayanım kaybı (Şekil 5-47c), perde temel birleşiminde yeterli filiz donatısı bulunmadığında ortaya çıkacak olan perdenin yatay düzlem üzerinde kayması (Şekil 5-47d) ve kesme ve aderans kaybı sonucu oluşan dayanım kaybı (Şekil 5-47e) ani dayanım kayıpları olduğundan oluşmaları engellenmelidir. Doğrusal olmayan eğilme davranışı arttıkça eğilme ve kenetlenme kaybı ile çatlak genişliği artmakta ve kesme dayanımı azalmaktadır.

Verilen koşulların her ikisinin de sağlanamaması durumu, bağ kirişin geometrisinin kirişi yüksek kiriş yapması ve etkiyen kesme kuvvetinin büyük değerlere sahip olması anlamına gelmektedir. Bu durumdaki kirişlerde kesme kuvvetini ve onun oluşturduğu eğilme momentini karşılamak üzere çapraz donatılar kullanılmalıdır. Her bir çapraz donatı demetindeki toplam donatı alanı

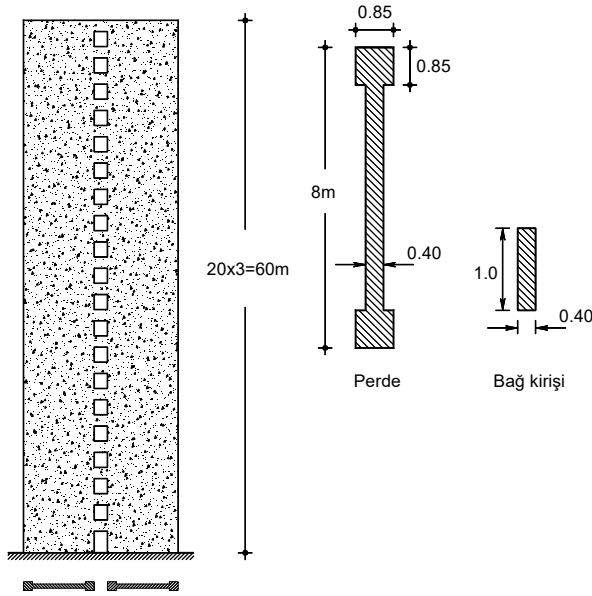
$$A_{sd} = V_d / (2 f_{yd} \sin \gamma) \quad (5.43)$$

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 sarılmalı 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 5-52 Bağ kirişi donatı düzeni Tip-1



SAP2000

Örnek 5-4:

Şekilde gösterilen bağ kirişli perde sisteminin bağ kirişinin $G + Q + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)}$ yük birleşimi etkisinde hesabını yapınız.

$S_{DS}=1.183$

$S_{D1}=0.404$

$R=7$

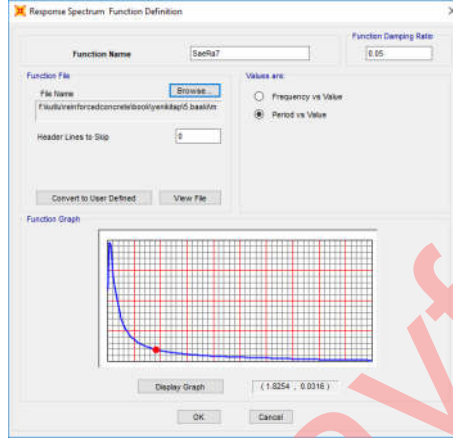
$I=1$

$D=2.5$

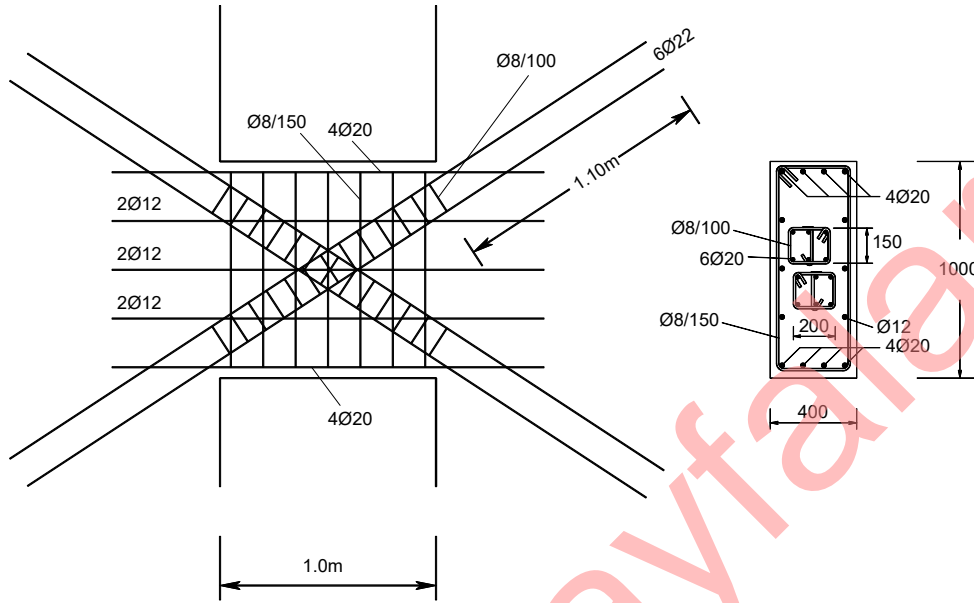
Şekil 5-56

- SAP2000 programını çalıştırınız.
- Birim bölümden 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.
 - Ekrana gelen ileti kutusunda X-Z Plane seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
- Define menüsünden Coordinate Systems/Grids... seçeneğini seçiniz.
- Ekrana gelen ileti kutusunda GLOBAL seçeneği seçiliyken Modify/Show System... düğmesine basınız.
- Ekrana 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 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 Define-Materials... seçeneğini seçiniz.
 - Add New Material... düğmesine basınız.
 - Ekrana gelen Add Material Property ileti kutusunda Region bölümünde User seçeneğini seçiniz.
 - Material Type açılır listesinden Other seçeneğini seçiniz ve OK düğmesine basınız.
 - Material Name kutucuğuna C30 yazınız.

- Add New Function... düğmesine basınız.
- Ekranaya gelen ileti kutusunda Function Name kutucuğuna Z2R6 yazınız.
- Browse düğmesine basınız.
- SaeR7.txt dosyasını açınız.
- Values are: bölümünden Period vs Value kutucuğunu seçili duruma getiriniz.
- Display Graph düğmesine basarak SaR(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 Ez yazın
 - Loads Applied bölümünde Load Type açılır listesinden Load Pattern seçeneğini seçiniz.
 - Load Name açılır listesinden G seçeneğini seçiniz.
 - Scale Factor kutucuğuna 0.789 yazınız ve sırasıyla Add ve OK düğmelerine basınız.
- 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 SaeR7'yi seçin.
 - X yönünde çözüm için Load Name bölümünde U1'in seçili olduğunu kontrol ediniz.
 - Scale Factor kutucuğuna 9.81 yazınız.
 - Add düğmesine basınız.
 - 2 kez OK düğmesine basınız.



Şekil 5-57 Bağ kirişi donatı düzeni

5.7. Süneklik Düzeyi Sınırlı Perdeler

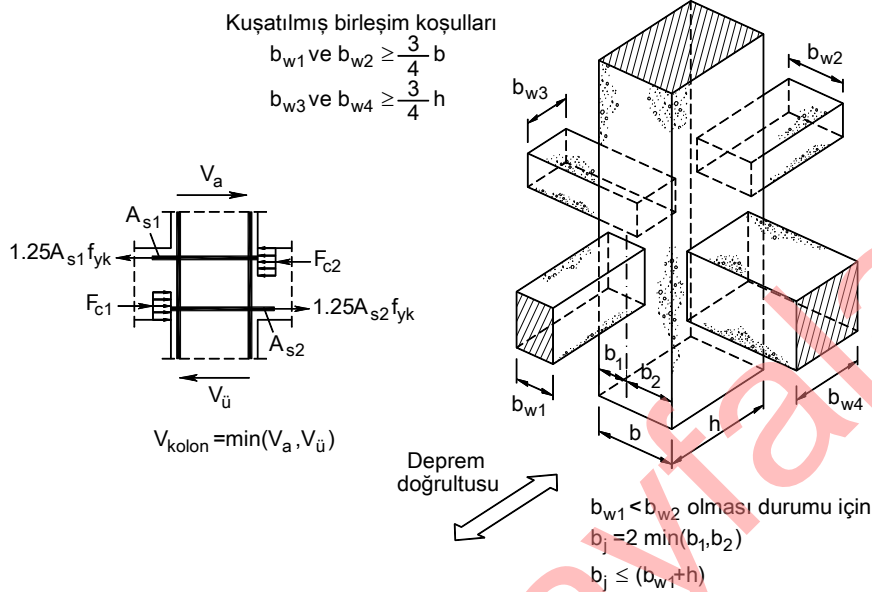
Süneklik düzeyi sınırlı perdeler, düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetlere göre boyutlandırılmaktadır.

Perdenin boşluklar çıkarıldıktan sonra kalan net enkesit alanı, N_{dm} TS 498'de hareketli yükler için tanımlanmış olan hareketli yük azaltma katsayıları da dikkate alınarak, G ve Q düşey yükler ve E deprem etkisinin ortak etkisi $G + Q + E$ altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü olmak üzere, $A_c \geq N_{dm} / (0.35 f_{ck})$ koşulunu sağlamalıdır.

Enkesit ve donatı koşulları süneklik düzeyi yüksek perdeler için olanlar ile aynıdır. Enine donatı hesabında esas alınan kesme kuvveti D Dayanım Fazlalığı Katsayısı olmak üzere $V_e = DV_d$ olarak alınmalıdır.

5.8. Birleşim Bölgeleri

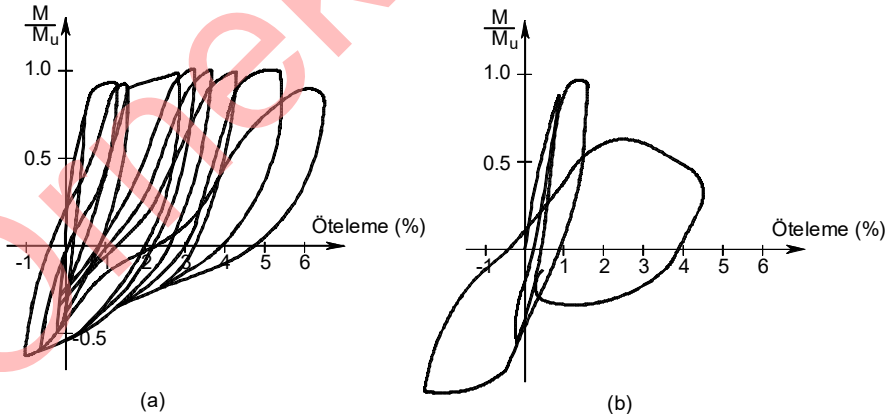
Betonarme sistemlerde elemanların etkilere karşı koyabilmeleri ve taşıma güçlerine tasarımda öngörülen türde sünek davranış göstererek ulaşabilmeleri için bu elemanların birleştiği bölgelerin gerekli dayanıma sahip olması gerekmektedir. Gerekli dayanımın sağlanması amacıyla bu bölgelerde deprem etkilerinin oluşturduğu gerilmeler incelenerek gerekli donatı detaylandırmasının yapılması gerekmektedir.



Şekil 5-62 Kuşatılmış birleşim koşulları

Kolon boyunca 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. Etriyele 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

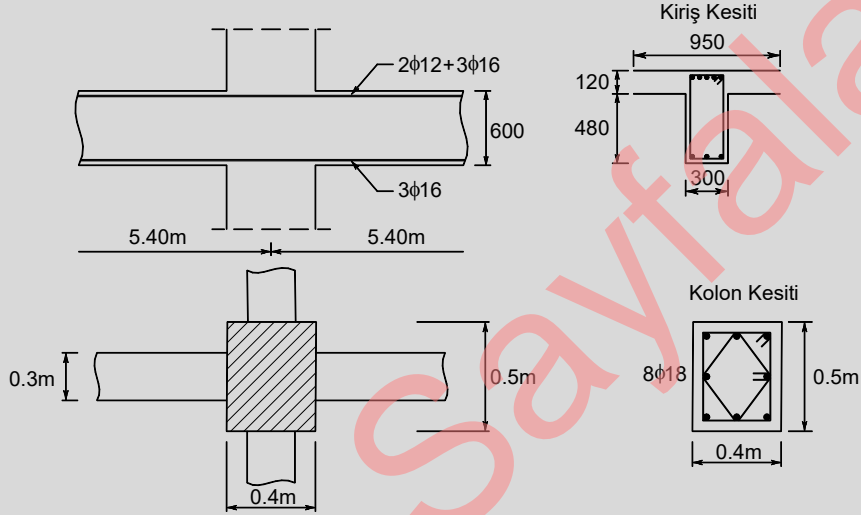
Kolon-kiriş birleşim bölgesindeki minimum enine donatı koşulları aşağıda verilmiştir (Şekil 5-19).

5.8.2. Süneklik Düzeyi Sınırlı 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 sınırlı olan sistemlerin kolon-kiriş birleşimleri için de geçerlidir.

Örnek 5-5

Aşağıdaki şekilde gösterilen kolon ve kirişlerde kolonların kirişlerden güçlü olması koşulunu kontrol ediniz. Kiriş-kolon birleşim bölgesi için gerekli kontrolleri yapınız.



Verilenler:

Üst kolon $N_{g+q+e} = 611kN$ $V_{kol} = 90kN$

Alt kolon $N_{g+q+e} = 980kN$ $V_{kol} = 100kN$

Kiriş Donatıları (her iki kiriş için sol ve sağ uçlarda)

Üst donatı $2\phi 12 + 3\phi 16$ ($A_s = 829mm^2$)

Alt donatı $3\phi 16$ ($A_s = 603mm^2$)

Malzeme: C30/B420C $d' = 40mm$

Çözüm:

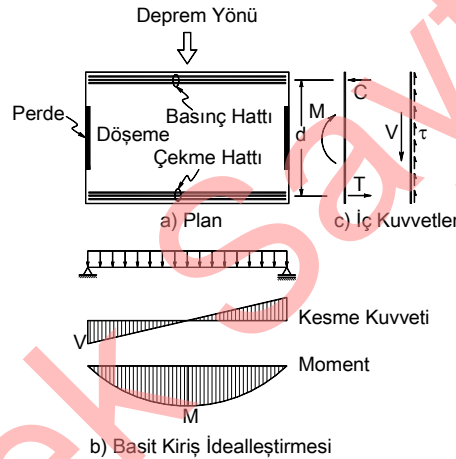
$$\rho = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{829}{300 \cdot 560} = 0.0049 \text{ (\% 0.49)} < \%2 \quad \rho' = \frac{A'_s}{b_w d} = \frac{603}{300 \cdot 560} = 0.0036 \text{ (\% 0.36)} < \%2$$

$$\rho > 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.8 \frac{1.25}{365} = 0.0027 \text{ (TBDY Denk. 7.8)}$$

Hesaplarda döşemelere etkiyen kuvvet olarak $F_{i,döşeme}$ ve F_i 'den büyük olanı alınmalıdır. $F_{i,döşeme}$ yükü Denk. (5.47)'de verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

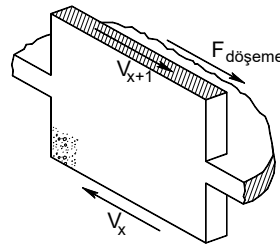
$$F_{i,döşeme} = \frac{\sum_{j=i}^N F_j}{\sum_{j=i}^N w_j} w_{i,döşeme} \quad (5.47)$$

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 5-68'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 5-68 Döşemelerin yatay kuvvetler altında kiriş benzeşimi ile çözümü

Bilgisayar programları kullanılarak yapılan çözümlerde döşeme içindeki etkiler ilgili bölgede kesitler alınarak kolaylıkla belirlenebilmektedir. Şekil 5-69'de mesnetlik görevi gören perde dolaylarında zorlanan bir kesitte döşeme içi kuvveti gösterilmektedir.



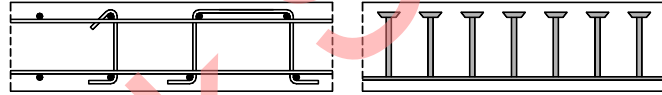
Şekil 5-69 Perde ile diyafram arasında aktarılan kuvvet

edilen en yüksek kayma gerilmesi değeri, tasarıma esas τ_{pd} değeri olarak, döşemenin zımbalama kontrolünde kullanılabilir.

Kolona kat seviyesinde aktarılan toplam eğilme momenti hesabında, döşeme-kolon birleşiminin üst ve altındaki kolon kesitlerindeki eğilme momentlerini dengeleyen eğilme momenti gözönüne alınmalıdır. γ_f katsayısının hesabında, dikdörtgen kesitli zımbalama çevresinin boyutları, gözönüne alınan yüklemeye doğrultusunda b_1 ve yüklemeye dik doğrultuda b_2 olmak üzere, Denk.(5.51) ile hesaplanmalıdır. Dairesel kesitli kolonlarda $\gamma_f = 0.60$ kullanılmalıdır.

$$\gamma_f = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{b_1}{b_2}}} \quad (5.51)$$

$\tau_{pd} \leq f_{ctd}$ koşulunun sağlanmadığı ve plak kalınlığının 250 mm'den az olmadığı durumda, plağın zımbalama dayanımı donatı kullanılarak artırılabilir. Ancak, bu durumda betonun zımbalama dayanımına katkısı kayma gerilmesi cinsinden $0.5f_{ctd}$ 'ye azaltılacak, donatının zımbalama dayanımına katkısı f_{ctd} 'den az olmayacak ve donatılı plağın zımbalama dayanımı en fazla $1.5f_{ctd}$ olacaktır. Zımbalama donatısı olarak kayma kaması kullanıldığında betonun zımbalama dayanımına katkısı kayma gerilmesi cinsinden $0.75f_{ctd}$ olacak, donatının zımbalama dayanımına katkısı f_{ctd} 'den az olmayacak ve donatılı plağın zımbalama dayanımı en fazla $1.75f_{ctd}$ olacaktır.



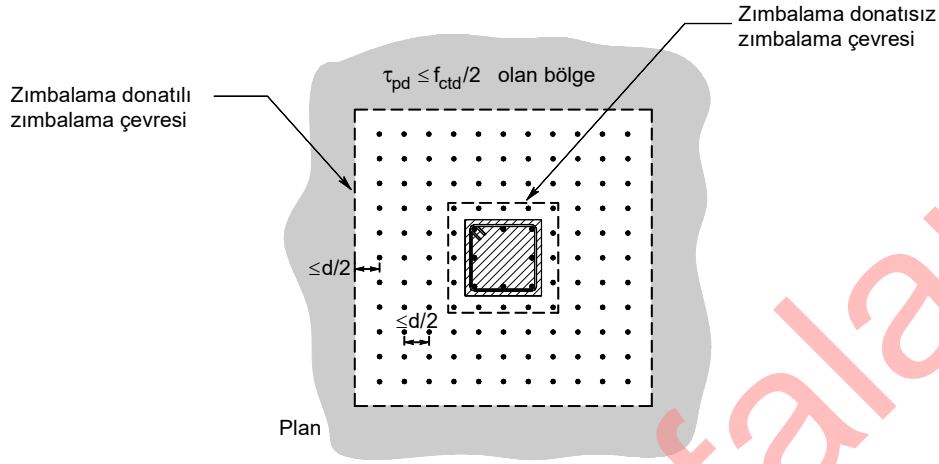
Şekil 5-73 Zımbalama donatı türleri (çiroz, sehpa ve kayma kaması) [8]

Zımbalama donatısının düzgün yayılı yerleştirilmiş çiroz veya sehpa donatıları olarak kullanıldığı durumda donatılı plağın zımbalama dayanımı, kayma gerilmesi cinsinden Denk.(5.52) ile, kayma kamaları kullanıldığında ise Denk.(5.53) ile hesaplanacaktır.

$$\tau_{pr} = 0.5f_{ctd} + \rho f_{yd} \leq 1.5f_{ctd} \quad (5.52)$$

$$\tau_{pr} = 0.75f_{ctd} + \rho f_{yd} \leq 1.75f_{ctd} \quad (5.53)$$

Burada ρ , birim alanda bulunan zımbalama çiroz (ve/veya yatay donatıyı kavrayacak sehpa) donatısının kesit alanı olup, zımbalama donatısı en az dört adet/m² olacak, kolon veya perde yüzünden en fazla $d/4$ mesafede başlayacak şekilde düzgün yayılı olarak yerleştirilecek, zımbalama donatılarının arasındaki mesafe $d/2$ 'yi aşmayacaktır, Şekil 5-74.



Şekil 5-74 Düzgün yayılı yerleştirilmiş zımbalama donatısı düzeni

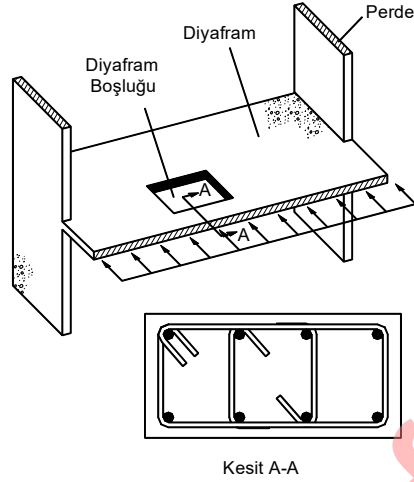
Zımbalama donatısının düzgün yayılı yerleştirilmesi yerine, en az birbirine dik iki doğrultuda kapalı etriye şeritleri veya kayma kaması rayları kullanıldığı durumlarda donatılı plağın zımbalama dayanımı, kayma gerilmesi cinsinden Denk.(5.54) ile; kayma kamaları kullanıldığında ise Denk.(5.55) ile hesaplanacaktır.

$$\tau_{pr} = 0.5 f_{ctd} + A_{wp} f_{yd} / (u_p s) \leq 1.5 f_{ctd} \quad (5.54)$$

$$\tau_{pr} = 0.75 f_{ctd} + A_{wp} f_{yd} / (u_p s) \leq 1.75 f_{ctd} \quad (5.55)$$

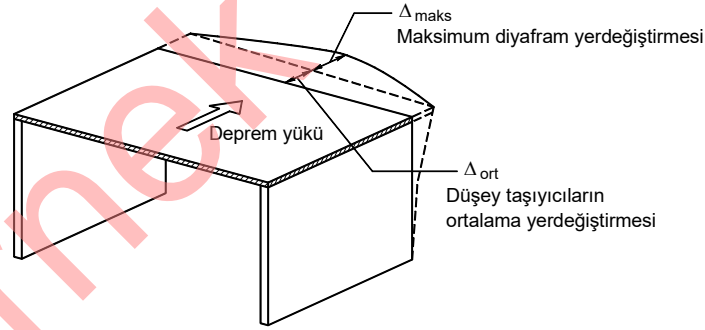
Burada A_{wp} , zımbalama çevresi üzerinde bulunan düşey zımbalama donatılarının (etriye kollarının veya kayma kamalarının) toplam kesit alanıdır. Zımbalama donatıları kolon veya perde yüzünden en fazla $d/4$ mesafede başlayacak şekilde yerleştirilecek, etriyelerin veya kayma kamalarının arasındaki kolon veya perde yüzeyine dik doğrultudaki mesafe $d/2$ 'yi aşmayacaktır. Etriye kollarının veya kayma kamalarının arasında kolon veya perde yüzeyine paralel doğrultudaki mesafe $2d$ 'yi aşmayacaktır.

Zımbalama donatıları, kolon veya perde yüzeyinden itibaren döşeme veya radye kalınlığının en az dört katı kadar bir mesafeden az olmamak üzere, zımbalama donatısının sona erdiği kesitten $d/2$ mesafede hesaplanan kayma gerilmesinin $f_{ctd}/2$ değerine düştüğü bölgeye kadar devam ettirilecektir.



Şekil 5-77 Düzlemi içinde eğilme etkisindeki döşeme parçasında donatı düzeni

Kata etkiyen yatay deprem yükleri etkisinde döşemede oluşan en büyük düzlem içi yerdeğiştirme değeri düşey taşıyıcıların ortalama kat yerdeğiştirme 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.



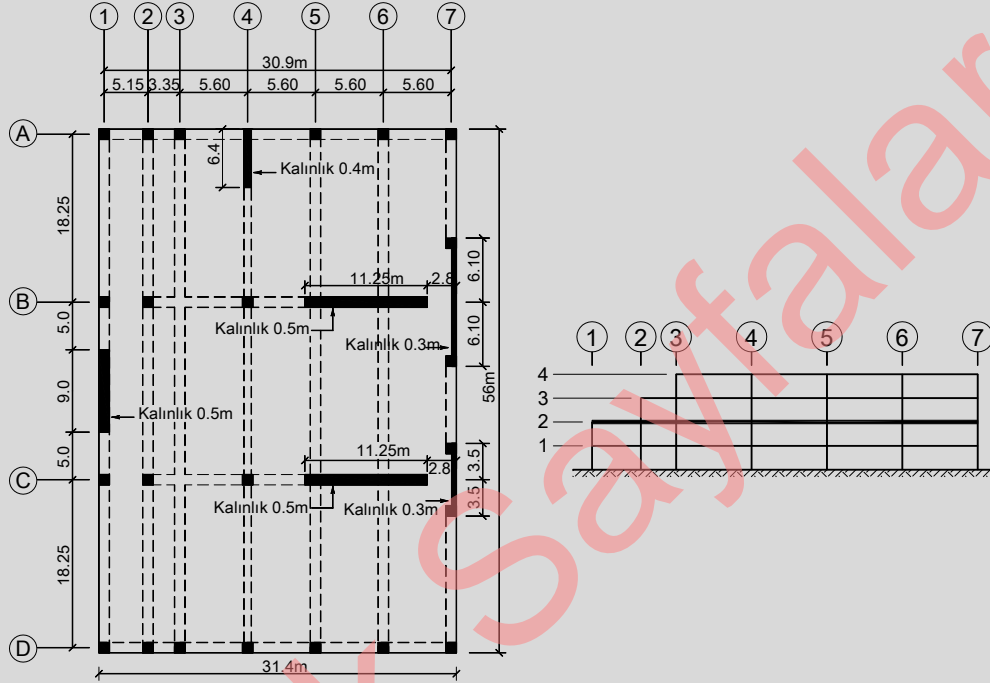
$\Delta_{maks} > 2 \Delta_{ort}$ ise döşeme esnek kabul edilmelidir.

Şekil 5-78 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 5-79 .

Örnek 5-6

Şekilde gösterilen binaya $V_t = 10918.6kN$ deprem kuvveti etki ettiği bilinmektedir. Verilen döşeme sisteminin düzlem içi etkiler altında hesabını yaparak gerekli donatıları belirleyiniz.



Malzeme: C40/S420

Çözüm:

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
Toplam	65511.6		447493.2	1	10918.6				

Tasarım deprem kuvveti

$$V_t = 10918.6kN \quad \Delta F_N = 0.0075 N V_t = 0.0075 \cdot 4 \cdot 10918.6 = 327.6kN \quad V_t - \Delta F_N = 10591kN$$

Tablo 5-6 Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 m de ortalama		
		$(V_s)_{30}$ (m/s)	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak-katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \%40$ koşullarını sağlayan toplamda 3m'den daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25kPa$) içeren profiller	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Sıvılaşma çevrimli yüklemeler altında oluşan artık boşluk suyu basınçları sonucu oluştuğundan, zeminin hacim değişim potansiyeli ve su geçirgenliği üzerinde etkili olduğu bilinen dane boyutu ve dağılımı özellikleri sıvılaşabilirlik değerlendirmelerinde önemli bir yer tutmaktadır [38]. Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1, DTS=1a, DTS=2 ve DTS=2a olan binalar için ZD, ZE veya ZF grubuna giren, sürekli bir tabaka veya kalın mercerler halinde bulunan kumlu zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin bulunup bulunmadığını, arazi ve laboratuvar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemleri ile incelenmelidir. Geçmiş depremlerde sıvılaşmanın genellikle sığ depremlerde olduğu, sıvılaşma tehlikesinin deprem büyüklüğü ve deprem merkezine olan uzaklık ile bağlantılı olduğu gözlenmiştir. Bu gözlemler bölgesel sıvılaşabilirlik değerlendirmelerinde göz önüne alınmalıdır.

5.10.1. Yüzeysel temellerin Taşıma Gücü

Yüzeysel temellerin tasarımında yük birleşimleri etkisinde Denk.(5.58) verilen eşitsizlik sağlanmalıdır.

$$q_o \leq q_t \quad (5.58)$$

Burada q_o oluşan temel taban basıncını, q_t temel taşıma gücü tasarım dayanımını göstermektedir.

Temel taşıma gücü tasarım dayanımını q_t Denk.(5.59) ile tanımlanmaktadır.

$$q_t = \frac{q_k}{\gamma_{Rv}} \quad (5.59)$$

Temel taşıma gücünün karakteristik dayanımı q_k Denk.(5.60) ile hesaplanmaktadır.

$$q_k = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (5.60)$$

Tasarım pasif direnci R_{pt} , karakteristik pasif direnç R_{pk} 'nin dayanım katsayısı'na bölünmesi ile hesaplanacaktır

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \quad (5.65)$$

5.10.2. Temel Bağ Kirişleri

Tekil temelleri veya kazık başlıklarını her iki doğrultuda, sürekli temelleri ise kolon veya perde hizalarında eksenlerine dik doğrultuda bağ kirişleri ile birleştirerek farklı yatay yerdeğiştirme yapmaları ve dolayısıyla yapıda ek etkilerin oluşması önlenmelidir. Deprem Yönetmeliğinde yerel zemin sınıfı ZA olan temel zeminlerinde bağ kirişleri yapılmayabileceği belirtilmektedir. Bağ kirişleri, temel kazısına uygun olarak, temel altından kolon tabanına kadar olan yükseklikteki herhangi bir seviyede yapılabilir.

Tüm sistemin deprem etkilerine karşı birlikte karşı koyduğu düşünülerek bağ kirişlerinin bağladıkları temellerin kolon veya perde yükleri ile orantılı olarak zorlandığı kabul edilebilir. Bu nedenle Deprem Yönetmeliğinde bağ kirişlerinin karşılaması gerekli olan hesap eksenel kuvvetleri kolon veya perde yüklerinin belirli bir oranı olarak tanımlanmıştır, Denk.(5.66).

$$N_b = 0.10S_{DS}N_k \quad (5.66)$$

Burada N_k bağ kirişinin bağlandığı kolon veya perdedeki en büyük eksenel kuvveti, S_{DS} ise kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını göstermektedir.

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 varsayılacaktır. Bağ kirişlerinin minimum boyutu 300 mm × 300 mm, donatı oranı en az % 0.5, etriye çapı 8 mm ve etriye aralığı 200 mm olmalıdır.

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 eksenel yüklere eşit yükleri güvenli biçimde aktarabildiği hesapla gösterilmelidir.

5.10.3. Kazıklı Temeller

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 kullanılır ve temelde oluşacak oturmaları sınırlandırır.

Kazıkların taşıma gücü, zemin davranışına ve kesit özelliklerine bağlıdır. Kazıkların tasarımında kazığa etkiyen düşey tasarım kuvveti P_{tv} 'nin kazığın düşey tasarım dayanımı Q_{tv} 'den küçük olması sağlanmalıdır.

$$P_{tv} \leq Q_{tv} \quad (5.67)$$

Kazığın düşey tasarım dayanımı Q_{tv} Denk.(5.68) ile belirlenebilir.

Kazıkların birbirine yakın düzenlenmesi arada bulunan zemin gerilmeleri artacağı için, kazıkların yük taşıma kapasiteleri azalmaktadır. Kazık eksenleri arası uzaklığın D kazık çapı olmak üzere

$$s \geq \max(2D, 0.60m) \quad (5.70)$$

koşulunu sağlaması uygundur. Betonarme kazıkların boyutlandırılması kolonlara benzetilerek yapılabilir.

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 [36]. Zemin düşey yatak katsayısı uygun geoteknik incelemeler ile belirlenmelidir. Tablo 5-9'da bazı zemin türlerinin düşey yatak katsayıları için yaklaşık değerler verilmektedir.

6. ÇELİK BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞI

Depreme karşı davranışları bakımından çelik binaların yatay yük taşıyıcı sistemleri, süneklik düzeyleri bakımından yüksek, karma ve sınırlı olarak üç sınıfa ayrılmıştır.

Süneklik düzeyi yüksek sistemler, TBDY’de belirtilen koşulları sağlayan moment aktaran çelik çerçeve sistemler, merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemler, dışmerkez çaprazlı çelik çerçeve sistemler ve burkulması önlenmiş çelik çerçeve sistemler kullanılarak veya moment aktaran çerçeve sistemlerin diğer sistemlerle bir araya getirilmesiyle oluşturulan sistemlerdir.

Benzer şekilde süneklik düzeyi sınırlı sistemler de, yönetmelikte belirtilen koşulları sağlayan moment aktaran çelik çerçeve sistemler, merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemler ve bu iki sistemin bir araya getirilmesiyle oluşturulan sistemlerdir.

Süneklik düzeyi karma sistemler; süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çerçeve sistemlerin süneklik düzeyi yüksek çelik çaprazlı çerçeveler veya betonarme perdeler ile birlikte kullanıldığı sistemlerdir.

Tablo 6-1 Çelik Bina Taşıyıcı Sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayıları ve dayanım fazlalığı katsayıları

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
C. ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
C1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
C11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS \geq 3
C12. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	8	2.5	BYS \geq 2
C13. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	5	2	BYS \geq 4
C14. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	8	3	BYS \geq 2
C15. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2.5	BYS \geq 2
C16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m’yi geçmeyen süneklik düzeyi yüksek çelik kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	4	2	---

6.1.1. Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT)

Güvenlik katsayıları ile tasarım (GKT), tüm yapısal elemanlar için, güvenli dayanımın bu tasarım yöntemi için öngörülen deprem etkilerini de içeren yük birleşimlerine göre hesaplanan gerekli dayanıma eşit veya daha büyük olması ilkesine dayanmaktadır.

Buna göre, GKT yöntemi kullanılarak yapılan yapısal tasarım aşağıda verilen eşitsizliği sağlamalıdır.

$$R_a \leq \frac{R_n}{\Omega} \quad (6.1)$$

Burada R_a deprem etkilerini içeren GKT yük birleşimi ile belirlenen gerekli dayanımı, R_n karakteristik dayanımı, Ω güvenlik katsayısını, R_n / Ω güvenli dayanımı göstermektedir.

6.1.2. Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT)

Yük ve dayanım katsayıları ile tasarım, tüm yapısal elemanlar için, tasarım dayanımının bu tasarım yöntemi için öngörülen deprem etkilerini de içeren yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli dayanıma eşit veya daha büyük olması ilkesine dayanmaktadır.

Buna göre, YDKT yöntemi kullanılarak yapılan yapısal tasarım aşağıda verilen eşitsizliği sağlamalıdır.

$$R_u \leq \phi R_n \quad (6.2)$$

Burada R_u deprem etkilerini içeren YDKT yük birleşimi ile belirlenen gerekli dayanımı, R_n karakteristik dayanımı, ϕ dayanım katsayısını, ϕR_n tasarım dayanımını göstermektedir.

Çelik bir binanın tasarımında YDKT veya GKT yöntemi kullanılabilir. Moment aktaran kiriş-kolon birleşimlerinin, kompozit kolonlu taşıyıcı sistemlerin ve temellerin tasarımında yalnızca YDKT yönteminin kullanımına izin verilmektedir.

6.2. Malzeme

Yatay yük taşıyıcı sistemin elemanlarından doğrusal olmayan davranış göstermesi beklenenlerde kullanılacak yapısal çeliğin akma gerilmesi 355 N/mm^2 değerini aşmamalıdır. Süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çelik çerçevelerin kolonları hariç diğer tüm sistemlerin kolonlarında ise bu sınır 460 N/mm^2 'dir. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslarında (ÇYTHYE) tanımlanan S235, S275, S355, S460 yapısal çelik sınıfları bu özellikleri sağlamaktadır.

Deprem yükleri etkisindeki elemanların birleşim ve eklerinde kullanılan başlıca birleşim araçları bulonlar ve kaynaktır.

Deprem etkisindeki elemanların birleşim ve eklerinde tam önçekme verilmiş (8.8) veya (10.9) kalitesinde yüksek dayanımlı bulonlar kullanılmalıdır. Bulonların kesme kuvveti etkisinde olduğu birleşimlerde, dış açılmış gövde enkesitinin kayma düzleminde bulunması durumu bulonların kesme dayanımını düşürdüğünden, dış açılmamış gövde enkesitinin kayma düzleminde olması sağlanmalıdır. Yatay yük taşıyıcı sistem içinde yer almayan ve deprem yükleri etkisinde olmayan elemanların birleşim ve eklerinde (4.6), (4.8), (5.6), (5.8), (6.8) normal bulonları kullanılabilir.

Kaynaklı birleşimlerde çelik malzemesine ve kaynaklama yöntemine uygun, akma gerilmesi birleştirilen esas metalin akma gerilmesinden az olmayan kaynak metali (E480, E550) kullanılmalıdır.

Bulonların sünek, kaynağın gevrek davranış gösteren bir birleşim aracı olmasından dolayı bulonlar ve kaynakların, bir birleşimde aktarılan kuvveti veya bu kuvvetin bir bileşenini paylaşıp paylaşacak şekilde birlikte kullanılmasına izin verilmemektedir.

Tablo 6-2 Elemanların Birleşim ve Eklerinde Kullanılacak Kaynak Metali Özellikleri

Kaynak Metali Sınıfı	E480	E550
Karakteristik Akma Gerilmesi N / mm^2	400	470
Min. Çekme Dayanımı $(F_E) N / mm^2$	480	550
Min. Uzama, %	22	19
Çentik Tokluğu (CVN)	-18°C de min. 27J	

6.3. Enkesit Koşulları

Yapı elemanlarında kapasite kaybına ve gevrek davranışa neden olduklarından deprem etkisini karşılayan sistemlerde yerel burkulma ve yanal burkulmanın oluşması önlenmelidir. Çerçeve sistemlerde kirişler, merkezi çaprazlı sistemlerde çapraz elemanları, dışmerkez çaprazlı sistemlerde bağ kirişleri yerel burkulma olmadan büyük plastik şekildeğiştirme yapabilmelidir. Süneklik düzeyi yüksek veya sınırlı sistemlerin elemanlarında plastik mafsalların oluşmasına kadar yerel burkulmayı önlemek için elemanların enkesitlerinde başlık genişliği/kalınlığı, gövde yüksekliği/kalınlığı ve çap/et kalınlığı oranları sınırlandırılmaktadır. Bazı kesit türleri için sınır değerler Tablo 6-3'de gösterilmektedir.

Yanal burkulmayı önlemek için kirişlerin alt ve/veya üst başlıkları desteklenmelidir. Betonarme döşemelerin çelik kirişler ile kompozit olarak çalıştığı çelik taşıyıcı sistemlerde, kirişlerin betonarme döşemeye bağlanan başlıklarında, bu koşula uyulması zorunlu değildir.

Yanal destek elemanlarının kullanımının gerektiği durumlarda bu elemanların arasındaki en büyük uzaklık L_b süneklik düzeyi yüksek sistemlerde Denk.(6.3)'de,

$$L_b \leq 0.086i_y \frac{E}{F_y} \quad (6.3)$$

süneklik düzeyi sınırlı sistemlerde Denk. (6.4)'de verilen koşulu sağlamalıdır.

$$L_b \leq 0.17i_y \frac{E}{F_y} \quad (6.4)$$

Bu denklemlerde i_y kiriş enkesitinin zayıf eksenine göre atalet yarıçapını, E yapı çeliğinin elastisite modülünü ve F_y yapı çeliğinin karakteristik akma gerilmesini göstermektedir.

Bu koşullara ek olarak kiriş başlıkları, sistemin doğrusal olmayan şekildeğiştirmesi sırasında plastik mafsallara oluşabilecek noktalarında, tekil yüklerin etkideği noktalarda ve kesitin ani değiştiği noktalar gibi kritik noktalarda yanal burkulmaya karşı desteklenmelidir.

Bu nedenle süneklik düzeyi yüksek yatay yük taşıyıcı sistemlerde kapasitesi korunmuş bölgeler tanımlanmaktadır. Moment aktaran çerçevelerde olası plastik mafsal bölgeleri, dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin bağ kirişleri, merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin çapraz elemanlarının uç ve orta bölgeleri kapasitesi korunmuş bölgelerdir. Moment aktaran çerçevelerde kiriş-kolon birleşim yerlerinde kapasitesi korunan bölge uzunluğu, kolon yüzünden itibaren kiriş enkesit yüksekliğinin yarısına eşit olarak alınabilir. Dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin bağ kirişleri kapasitesi korunan bölgeleri oluşturmaktadır. Merkezi çaprazlı çerçevelerde ise kapasitesi korunan bölgeler eleman boyunun 1/4 uzunluğundaki bölümü ile, eleman uçlarındaki eleman enkesit yüksekliğine eşit uzunluktaki bölgelerdir, Şekil 6-1.

Bu bölgeler içinde enkesit değişimlerine, ek detayı uygulanmasına, boşluklara, eleman bağlantılarına ve başlıklı kayma elemanlarının kullanılmasına izin verilmemektedir.

6.6. Kolon ve Kiriş Ekleri

Deprem etkisinde olan veya olmayan tüm kolonlar için kolon ekleri kiriş başlıklarının kolona birleşim düzlemlerinden en az 1.2m uzakta yapılmalıdır. Ancak kolon net yüksekliğinin 2.4m'den az olması durumunda, kolon eki net yüksekliğin ortasında oluşturulmalıdır. Kolon gövdesi ve başlıklarının tam penetrasyonlu küt kaynak ile birleştirildiği eklerin, kolon enkesit yüksekliğinden az olmamak koşuluyla kiriş başlıklarının kolona birleşim düzlemlerine daha yakın bölgelerde oluşturulmasına izin verilmektedir.

Kolon ekleri bulonlu, köşe kaynaklı veya tam penetrasyonlu küt kaynaklı yapılabilmektedir. Bu durumda ek detayının gerekli dayanımı eklenen elemanların kapasitesine bağlı olarak belirlenmelidir. Kiriş eklerinin kapasitesi korunan bölgelerin dışında oluşturulması gerekmektedir. Ek detayının gerekli dayanımı, dayanım fazlalığı katsayısı D ile büyütülen deprem etkileri esas alınarak belirlenmelidir. Ek detaylarında, levhaların bir elemana yalnızca bulonlu diğerine yalnızca kaynaklı olarak bağlantısına izin verilmektedir.

6.7. Yük Birleşimleri

Çelik yapı elemanlarının boyutlandırılmasında deprem etkilerini içeren yük birleşimleri, YDKT yöntemi uygulandığında

$$1.2G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (6.5)$$

$$0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \quad (6.6)$$

GKT yöntemi uygulandığında

$$G + 0.75Q + 0.75S \mp 0.75(0.7E_d) \quad (6.7)$$

$$G \mp 0.7E_d \quad (6.8)$$

$$0.6G + 0.75H \mp 0.7E_d \quad (6.9)$$

olarak oluşturulur.

Kapasite tasarımının uygulandığı bazı sistemlerde çelik yapı elemanları ile birleşim ve ek detaylarının gerekli dayanımları deprem etkilerinin dayanım fazlalığı katsayısı D ile çarpılarak büyütülmesiyle belirlenen iç kuvvetlerin yük birleşimlerinde kullanılmasıyla elde edilir. Ancak bu iç kuvvetler, kapasite tasarım ilkesine göre, pekleşme ve malzeme dayanım artışı etkileri de gözönüne alınarak hesaplanan akma (mekanizma) durumu ile uyumlu iç kuvvetlerden daha büyük alınmamalıdır.

6.8. Moment Aktaran Çelik Çerçevesel Sistemler

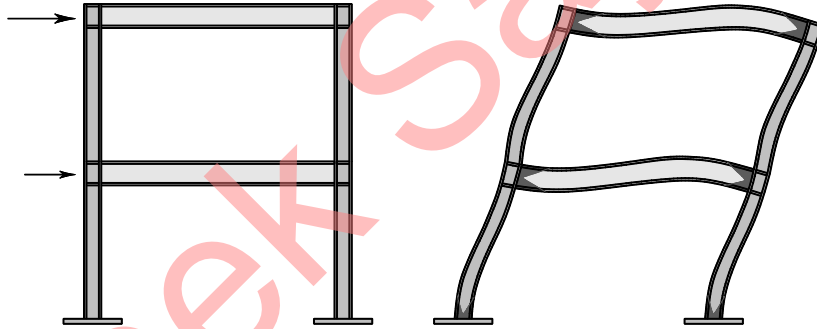
Moment aktaran çelik çerçevesel sistemler, kolon kiriş bağlantıları moment aktaracak biçimde detaylandırılan ve yatay kuvvetlerin kiriş ve kolonlarda oluşacak eğilme momenti ve kesme kuvvetleri ile karşılandığı sistemlerdir. Bu sistemler süneklik düzeyi yüksek, karma veya sınırlı olarak tasarlanabilir.

Çerçevesel sistem kullanımının en olumlu yanları yüksek düzeyde sünek davranış göstermeleri ve bina içi ve cephelerinde perde veya çapraz olmaması nedeniyle mimari olarak geniş kullanım alanına izin vermesidir. Olumsuz yanı ise düşük yatay rijitliğe sahip olan sistem olmasından dolayı yerdeğiştirme koşullarının tasarımda baskın duruma geçebilmesi ve kolon-kiriş birleşimleri için uygun birleşimlerin yapım maliyetinin diğer sistemlere göre daha yüksek olmasıdır.

6.8.1. Moment Aktaran Süneklik Düzeyi Yüksek Çelik Çerçevesel Sistemler

Moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler, deprem etkileri altında kirişlerinin önemli ölçüde, kiriş-kolon birleşimlerinin kayma bölgesinin sınırlı ölçüde doğrusal olmayan davranış yapabildiği sistemlerdir. TBDY’de bu sistemlerin tasarımında, izin verilen yükseklik sınıfı $BYS \geq 3$, yapı davranış katsayısı $R = 8$ ve dayanım fazlalığı katsayısı $D = 3$ olarak belirtilmiştir.

Bu sistemlerde sünek davranış, kirişlerin uçlarında oluşacak akma (plastik mafsal oluşumu) ile sağlanmaktadır. Sigorta elemanlar kiriş uçlarında plastikleşen bölgelerdir, Şekil 6-2.



Şekil 6-2 Çerçevesel Sistem ve Doğrusal Olmayan Davranışı

6.8.1.1. Genel Koşullar

Moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerin kiriş ve kolonlarında, başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranları Tablo 6-3’te verilen λ_{hd} sınır değerini aşmamalıdır. Çerçevelerin kiriş başlıkları yanıl ötelenmeye ve burulmaya karşı desteklenmelidir. Deprem etkisini içeren yük birleşimleri dikkate alınarak elde edilecek kesme kuvveti, eksenel kuvvet ve eğilme momentleri etkisinde boyutlandırılan çerçeve kolonları ayrıca eğilme momentleri gözönüne alınmaksızın, dayanım fazlalığı katsayısı D ile büyütülen deprem etkilerini içeren yük birleşimlerinden elde edilecek eksenel çekme ve basınç kuvvetleri etkisinde de kontrol edilmelidir. Tasarımda kolon uçları arasında etkiyen yatay kuvvetlerin bulunması halinde, bunların oluşturacağı eğilme momentleri de gözönüne alınmalıdır.

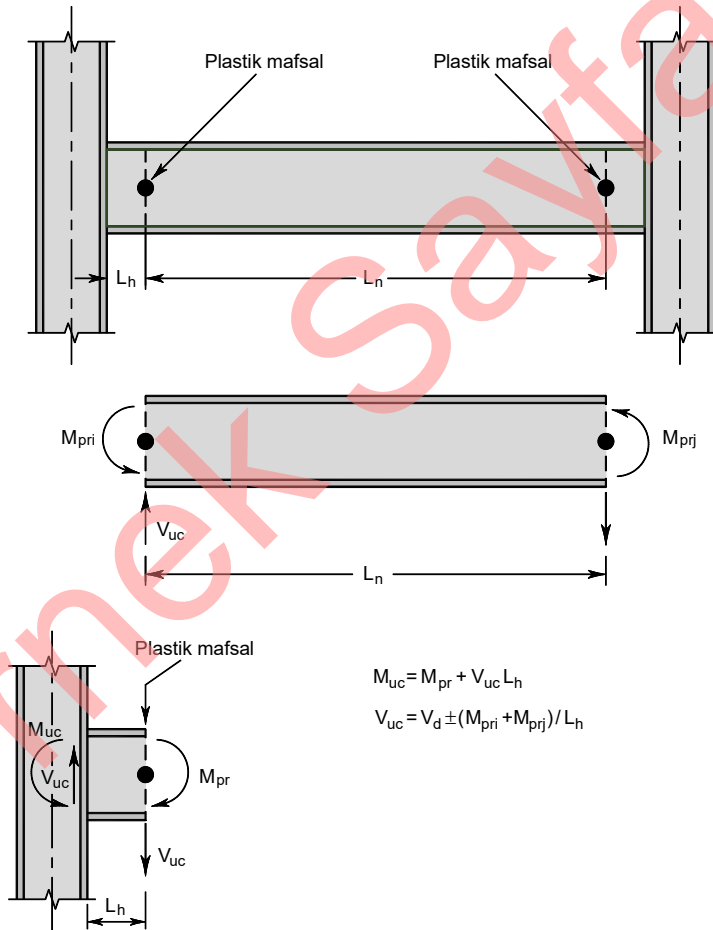
$$M_{uc} = M_{pr} + V_{uc}L_h \quad (6.21)$$

Gerekli eğilme momenti dayanımının belirlenmesinde, kirişin plastik mafsalları ve kolon yüzü arasındaki bölümü için, düşey yüklerden gelen ilave eğilme momentinin katkısı da dikkate alınabilir.

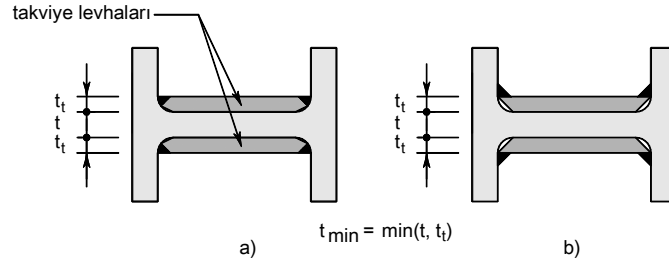
- iii. Birleşimin boyutlandırılmasında kullanılacak V_{uc} Denk.(6.22) ile elde edilir. Gerekli kesme kuvveti dayanımının belirlenmesinde, kirişin plastik mafsalları ve kolon yüzü arasındaki bölümü için, düşey yüklerden gelen ek kesme kuvvetinin katkısı da dikkate alınabilir, Şekil 6-4.

$$V_{uc} = V_d \mp (M_{pri} + M_{prj}) / L_n \quad (6.22)$$

Burada V_d kiriş ucundaki plastik mafsallarda $(1.2G + 0.5Q + 0.2S)$ yük birleşimi altında hesaplanan kesme kuvveti, M_{pri} ve M_{prj} kiriş uçlarındaki olası eğilme momenti kapasiteleridir.



Şekil 6-4 Boyutlandırılmada Kullanılacak Kesme Kuvvetinin Belirlenmesi



Şekil 6-6 Küt kaynak ve köşe kaynaklı kolon gövde takviye levhaları

Moment aktaran kiriş-kolon birleşim detaylarında, kolon gövdesinin her iki tarafına, kiriş başlıkları seviyesinde süreklilik levhaları konularak kiriş başlıklarındaki çekme ve basınç kuvvetlerinin kolona (ve iki taraflı kiriş-kolon birleşimlerinde komşu kirişe) güvenle aktarılması sağlanmalıdır.

- Süreklilik levhalarının kalınlıkları, tek taraflı kiriş birleşimlerinde birleşen kirişin başlık kalınlığından, kolona iki taraftan kiriş birleşmesi durumunda ise birleşen kirişlerin başlık kalınlıklarının büyüğünden daha az olmamalıdır.
- Süreklilik levhalarının kolon gövde ve başlıklarına bağlantısı için tam penetrasyonlu küt kaynak kullanılmalıdır. Süreklilik levhasının kolon gövdesine bağlantısı için köşe kaynağı da kullanılabilir. Ancak bu kaynağın, süreklilik levhasının kendi düzlemindeki kesme kapasitesine eşit bir kuvveti kolon gövdesine aktaracak boy ve kalınlıkta olması gereklidir.
- Kolon başlık kalınlığının Denk.(6.24)'de verilen her iki koşulu sağlaması durumunda süreklilik levhasına gerek olmayabilir.

$$t_{cf} \geq 0.4 \sqrt{1.8 b_{bf} t_{bf} \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{yc} F_{yc}}} \text{ ve } t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \quad (6.24)$$

Kiriş uçlarındaki kapasitesi korunmuş bölgelerde ani enkesit değişikliklerine, ek detayı uygulanmasına, boşluklara, eleman bağlantılarına ve başlıklı kayma elemanlarının kullanılmasına izin verilmemektedir.

6.8.1.4. Kolon Ekleri

Kolon ekleri Bölüm 6.6'da verilen koşulları sağlayacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Bulonlu ek detayı uygulanması durumunda kolon ekinin gerekli eğilme dayanımı, eklenen elemanlardan küçük enkesitli olanı gözönüne alınarak $R_y F_y W_p / 1.5$ (GKT) veya $R_y F_y W_p$ (YDKT) şeklinde hesaplanır. Eklerin gerekli kesme kuvveti dayanımı, $\sum M_{pc} / 1.5 H_c$ (GKT) veya $\sum M_{pc} / H_c$ (YDKT) ve Bölüm 6.8.1.1 den elde edilen kesme kuvveti değerlerinden en büyüğü olarak alınır. Burada $\sum M_{pc}$, eklenen kolonun alt ve üst uçlarındaki kolon eğilme momenti dayanımlarının toplamıdır.

6.8.1.5. Kiriş-Kolon Birleşimlerinin Stabilitesi

Çerçeve düzlemi dışına doğru oluşabilecek dönmelerin önlenmesi amacıyla kolonlar, kiriş-kolon birleşim bölgelerinde, aşağıdaki durumlar gözönüne alınarak desteklenmelidir.

- Kiriş-kolon birleşim bölgelerinin döşeme sistemi veya çatı stabilite bağlantıları ile yanal doğrultuda desteklendiği durumlarda, kiriş ve kolon gövdelerinin aynı düzlemde olması

Bu detaylar, süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi sınırlı çerçevelerin moment aktaran kiriş-kolon birleşimlerinde, her bir birleşim detayı için verilen uygulama sınırları da esas alınarak kullanılabilir. TBDY’de verilen detayların adları aşağıdaki gibidir.

- Tam dayanımlı bulonlu alın levhalı birleşimler (Şekil 6-7a,b,c)
- Bulonlu başlık levhalı moment aktaran birleşim (Şekil 6-7d)
- Tam penetrasyonlu küt kaynaklı birleşim (Şekil 6-7e)

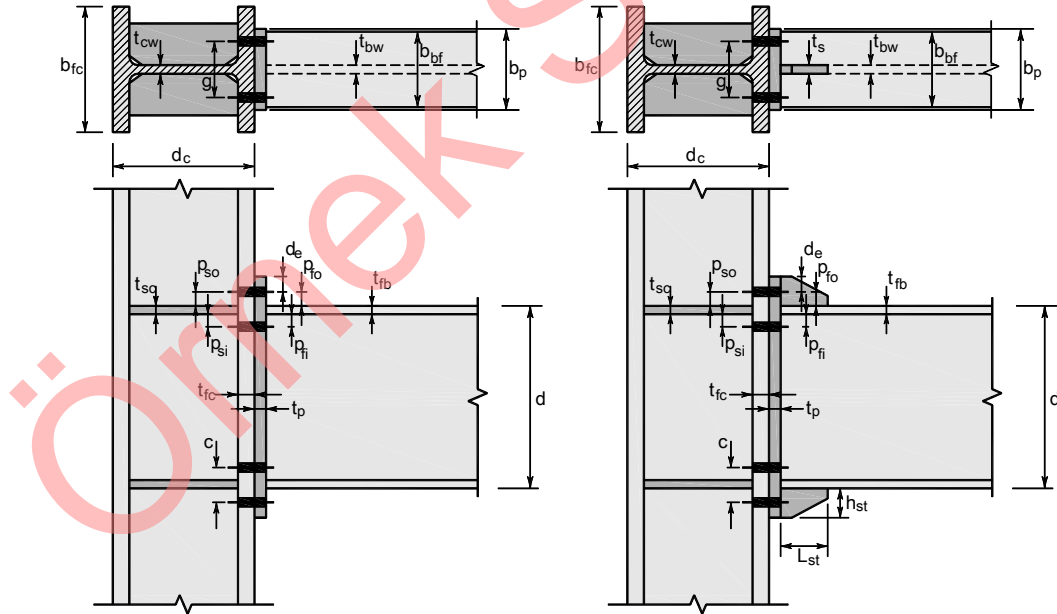
Zayıflatılmış kiriş enkesitli kiriş-kolon birleşimi (Şekil 6-7f)

Şekil 6-7 a,b,c’de gösterilen tam dayanımlı bulonlu alın levhalı birleşimlerde, kirişlerin enkesit yüksekliğinden daha büyük uzunluğa sahip alın levhaları kiriş gövdesine ve başlıklarına atölyede kaynaklanmakta ve sahada kolona bulonlar ile birleştirilmektedir. Bu birleşimler, çekme bölgesindeki bulon sayısı ve rijitleştirici levha bulunması durumuna göre (Şekil 6-8 ve Şekil 6-9)

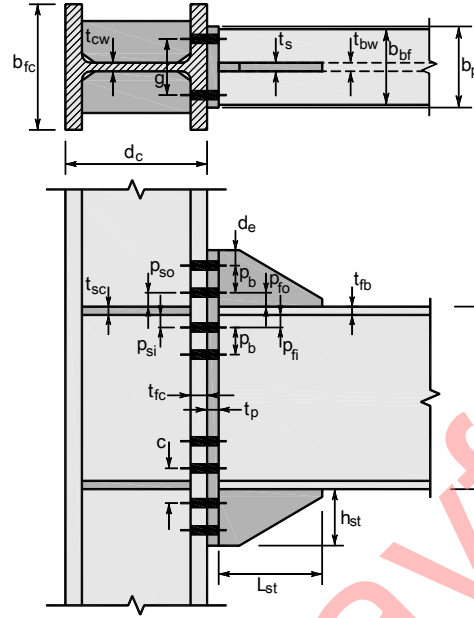
- Dört bulonlu rijitlik levhasız
- Dört bulonlu rijitlik levhalı
- Sekiz bulonlu rijitlik levhalı

olarak farklı tiplerde oluşturulabilmektedir.

Bu tip kiriş-kolon birleşimlerinde, kiriş enkesitinin eğilme etkisinde akmaya ulaşması, alın levhasının eğilme etkisinde akmaya ulaşması, kolon kayma bölgesinin akmaması, çekme etkisindeki bulonların kopması, kayma etkisindeki bulonların kırılması veya kaynaklı birleşim bölgelerinde kırılmalar oluşması davranışı belirleyen sınır durumlarıdır. Bu birleşimlerin tasarımı, kiriş enkesitinde akma oluşması durumuna göre yapılmalıdır. Birleşim elemanlarının bu davranışı sağlayacak yeterli dayanıma sahip olması sağlanmalıdır. Tam dayanımlı bulonlu alın levhalı birleşimler için uygulama sınırları Tablo 6-5’de verilmektedir.



Şekil 6-8 4 Bulonlu rijitlik levhasız, rijitlik levhalı birleşimler

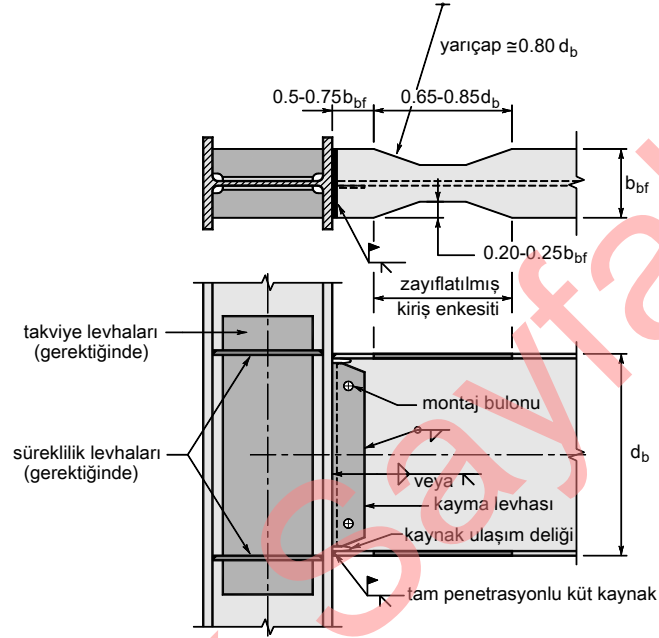


Şekil 6-9 8 bulonlu rijitlik levhalı birleşimler

Tablo 6-5 Tam Dayanımlı Bulonlu Alın Levhalı Birleşimlerin Uygulama Sınırları

Birleşim Detayı Değişkenleri	Uygulama Sınırları
Plastik Mafsalmın kolon yüzünden uzaklığı L_h	$\min(d_b / 2, 3b_{bf})$
Kiriş açıklığı/enkesit yüksekliği oranı	≥ 7 (Süneklik düzeyi yüksek çerçeveler) ≥ 5 (Süneklik düzeyi sınırlı çerçeveler)
Alın levhası kalınlığı, t_p	$12\text{mm} \leq t_p \leq 60\text{mm}$ (4 bulonlu rijitlik levhasız) $12\text{mm} \leq t_p \leq 40\text{mm}$ (4 bulonlu rijitlik levhalı) $18\text{mm} \leq t_p \leq 65\text{mm}$ (8 bulonlu rijitlik levhalı)
Alın levhası genişliği, b_p	$160\text{mm} \leq b_p \leq 300\text{mm}$ (4 bulonlu rijitlik levhasız) $160\text{mm} \leq b_p \leq 300\text{mm}$ (4 bulonlu rijitlik levhalı) $215\text{mm} \leq b_p \leq 400\text{mm}$ (8 bulonlu rijitlik levhalı)
Bulonlar arası yatay uzaklık, g	$100\text{mm} \leq g \leq 155\text{mm}$ (4 bulonlu rijitlik levhasız) $70\text{mm} \leq g \leq 155\text{mm}$ (4 bulonlu rijitlik levhalı) $125\text{mm} \leq g \leq 155\text{mm}$ (8 bulonlu rijitlik levhalı)
p_f (p_{fi} ve p_{fo})	$40\text{mm} \leq p_f \leq 115\text{mm}$ (4 bulonlu rijitlik levhasız) $45\text{mm} \leq p_f \leq 140\text{mm}$ (4 bulonlu rijitlik levhalı) $40\text{mm} \leq p_f \leq 50\text{mm}$ (8 bulonlu rijitlik levhalı)

Kaynaklı zayıflatılmış kiriş enkesitli kiriş-kolon birleşiminde birleşime yakın bölgede kiriş başlıklarının genişlikleri uygun bir kesimle azaltılmaktadır. Bu birleşimin tasarımında, azaltılmış kiriş enkesitinde akma nedeniyle plastik mafsal oluşması öngörülür. Bu nedenle bu noktalarda her iki başlıkta yanal burulmalı burkulmaya karşı önlem alınmalıdır. Kaynaklı zayıflatılmış kiriş enkesitli kiriş-kolon birleşimi için uygulama sınırları Tablo 6-8’de verilmektedir.



Şekil 6-12 Zayıflatılmış Kiriş Enkesitli Kiriş – Kolon Birleşim Detayı

Tablo 6-8 Kaynaklı Zayıflatılmış Kiriş Enkesitli Kiriş – Kolon Birleşim Detayının Uygulama Sınırları

Birleşim Detayı Değişkenleri	Uygulama Sınırları
Kiriş enkesit yüksekliği, d_b	$d_b \leq 920mm$
Kiriş birim boy ağırlığı	$\leq 450 kg / m$
Kiriş açıklığı/enkesit yüksekliği oranı	≥ 7 (Süneklik düzeyi yüksek çerçeveler) ≥ 5 (Süneklik düzeyi sınırlı çerçeveler)
Kiriş başlık kalınlığı, t_{bf}	$t_{bf} \leq 44mm$
Kolon enkesit yüksekliği	$\leq 920mm$ (I profilleri için) $\leq 610mm$ (yapma kutu profilleri için)
Kaynak ulaşım deliği	Gerekli
Ek başlık levhası kaynağı	Tam penetrasyonlu küt kaynak
Kapasitesi korunan bölge	Kolon yüzü ile zayıflatılmış kiriş enkesitinin en uzak noktası arasındaki bölge

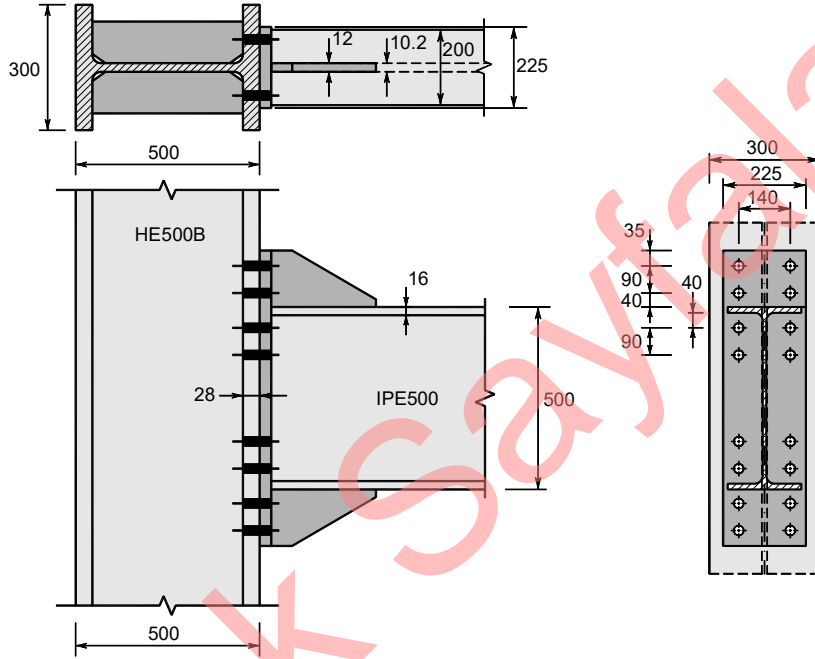
Örnek 6-1

Şekildeki moment aktaran kiriş-kolon birleşimi için tam dayanımlı bulonlu alın levhali birleşim kullanılması öngörülmüştür. Seçilen birleşim türü için gerekli kontrolleri yapınız.

Kiriş IPE500 Çelik sınıfı S275

Kolon HE500B Çelik sınıfı S355

$V_d = 50kN$ $L = 9.0m$



Çözüm:

Seçilen birleşim detayı TBDY 9.3.4.1(a) uyarınca en az 0.04 radyan göreceli kat ötelenmesi açısını sağlayan bir detaydır.

1. Adım Kesit ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Kolon için çelik sınıfı S355 olarak seçilmiştir. $F_y = 355N/mm^2$ $F_u = 510N/mm^2$

Seçilen kolon kesiti HE500B için enkesit özellikleri

$$A = 198cm^2 \quad W_{px} = 3949cm^3 \quad W_{ex} = 3549.8cm^3 \quad i_x = 209.6mm \quad i_y = 72.4mm$$

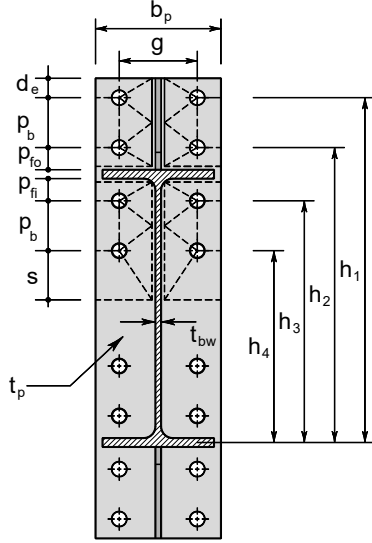
Enkesit boyutları

Başlık genişliği $b_{cf} = 300mm$, başlık kalınlığı $t_{cf} = 28mm$

Enkesit yüksekliği $d_c = 500mm$, gövde kalınlığı $t_{cw} = 14.5mm$ Gövde yüksekliği $h_c = 390mm$

Alın levhası geometrisi ve akma
çizgisi düzeni

$d_e \leq s$ ise



$$t_{p,gerekli} = \sqrt{\frac{1.11\phi M_{np}}{\phi_b F_{yp} Y_p}} \quad \text{AISC 358-16 Denk. (6.8-5)}$$

F_{yp} : Alın levhası malzemesinin karakteristik akma gerilmesi

$$t_{p,gerekli} = \sqrt{\frac{1.11 \cdot 1182.4 \cdot 10^6}{0.9 \cdot 355 \cdot 6906}} = 24.4 \text{ mm}$$

$t_p = 26 \text{ mm}$ seçilecektir.

7. Adım Birleşimin basınç bölgesindeki bulonlarında kayma kırılması sınır durumu için dayanım kontrolü

$$V_u \leq \phi_n R_n = \phi_n (n_b) F_{nv} A_b \quad \text{AISC 358-16 Denk. (6.8-11)}$$

ϕ_n : Sünek olmayan göçme durumu için dayanım katsayısı

n_b : basınç etkisindeki bölgedeki bulon sayısı

F_{nv} : Bulon malzemesi karakteristik kayma gerilmesi

A_b : Diş açılmamış bulon gövdesi karakteristik enkesit alanı

$$F_{nv} = 563 \text{ MPa}$$

$$\phi_n R_n = 0.75 \cdot 8 \cdot 563 \cdot \frac{\pi 27^2}{4} \cdot 10^{-3} = 1934 \text{ kN} > 288.4 \text{ kN}$$

8. Adım Bulon deliklerinin ezilme kuvveti dayanımının yeterliliği,

$$V_u \leq \phi_n R_n = \phi_n (n_i) r_{ni} + \phi_n (n_o) r_{no} \quad \text{AISC 358-16 Denk. (6.8-12)}$$

$$\phi_n R_n = \phi_n 2.4 d t F_u = 0.75 \cdot 2.4 \cdot 27 \cdot 26 \cdot 510 \cdot 10^{-3} = 644.4 \text{ kN}$$

$$L_c = 35 - \frac{27 + 2}{2} = 20.5 \text{ mm}$$

$$\phi_n R_n = \phi_n 1.2 L_c t F_u = 0.75 \cdot 1.2 \cdot 20.5 \cdot 26 \cdot 510 \cdot 10^{-3} = 244.6 \text{ kN} < 644.4 \text{ kN}$$

$$L_c = 90 - (27 + 2) = 61 \text{ mm}$$

$$\phi_n R_n = \phi_n 1.2 L_c t F_u = 0.75 \cdot 1.2 \cdot 61 \cdot 26 \cdot 510 \cdot 10^{-3} = 727.7 \text{ kN} > 644.4 \text{ kN}$$

$$\sum \phi_n R_n = 2 \cdot 244.6 + 6 \cdot 644.4 = 4356 \text{ kN} > 288.4 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = \frac{\phi M_{cf}}{d - t_{bf}} = \frac{1235 \cdot 10^3}{500 - 16} = 2552 \text{ kN} > 2131 \text{ kN}$$

Kolon başlığı tekil kuvvet etkisinde yeterli eğilme dayanımına sahiptir.

11. Adım Kolon gövdesinin yerel akma sınır durumuna göre kontrolü

Dayanım koşulu $F_{fu} \leq \phi_d R_n$

$$\phi_d = 1.0$$

$$R_n = \phi \left[C_t (6k_c + t_{bf} + 2t_p) \right] F_{yc} t_{cw} \quad \text{AISC 358-16 Denk. (6.8-17)}$$

$C_t = 1.0$ (Kolonun üst ucu olmadığı varsayılmaktadır)

$$k_c = 28 + 27 = 55 \text{ mm}$$

$$\phi R_n = 1.0 \cdot [1.0 \cdot (6 \cdot 55 + 16 + 2 \cdot 26)] \cdot 355 \cdot 14.5 \cdot 10^{-3} = 2049 \text{ kN} < F_{fu} = 2131 \text{ kN}$$

yeterli dayanıma sahip değildir ve takviye edilmesi gerekmektedir.

12. Adım Kolon gövdesinin burkulma sınır durumuna göre kontrolü

Dayanım koşulu $F_{fu} \leq \phi R_n$

$$\phi = 0.75$$

F_{fu} kolondan $d_c / 2$ 'ye eşit veya daha büyük bir uzaklıktan etkidüğinden aşağıdaki denklem esas alınacaktır.

$$R_n = \frac{24 t_{cw}^3 \sqrt{EF_{yc}}}{h} \quad \text{AISC 358-16 Denk. (6.8-19)}$$

Burada h net gövde yüksekliğidir.

$$h = d_c - 2(t_{cf} + r_c) = 500 - 2(28 + 27) = 390 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{24 \cdot 14.5^3 \sqrt{200000 \cdot 355}}{390} \cdot 10^{-3} = 1581 \text{ kN}$$

$$F_{fu} = 2131 \text{ kN} > \phi R_n = 0.75 \cdot 1581 = 1186 \text{ kN}$$

yeterli dayanıma sahip değildir ve takviye edilmesi gerekmektedir.

13. Adım Kolon gövdesinin yerel burkulma sınır durumuna göre kontrolü

Dayanım koşulu $F_{fu} \leq \phi R_n$

$$\phi = 0.75$$

$$R_n = 0.80 t_{cw}^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d_c} \right) \left(\frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yc} t_{cf}}{t_{cw}}} \quad \text{AISC 358-16 Denk. (6.8-22)}$$

$$N = b_f + 2w + 2t_p = 200 + 2 \cdot 26 = 252 \text{ mm}$$

$$R_n = 0.80 \cdot 14.5^2 \left[1 + 3 \left(\frac{252}{500} \right) \left(\frac{14.5}{28} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{200000 \cdot 355 \cdot 28}{14.5}} \cdot 10^{-3} = 3079 \text{ kN}$$

$$R_n = 0.60 \cdot 355 \cdot 500 \cdot 14.5 \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot 300 \cdot 28^2}{500 \cdot 500 \cdot 14.5} \right) \cdot 10^{-3} = 1845kN$$

$\phi_v R_n = 1845kN < V_{up} = 3262kN$ olduğundan kayma bölgesi levha ile takviye edilecektir.

Kayma bölgesinde kullanılacak takviye levhalarının minimum kalınlığı $t_{min} \geq u / 180$ koşulunu sağlamalıdır. Burada u kayma bölgesi çevresinin uzunluğunu göstermektedir.

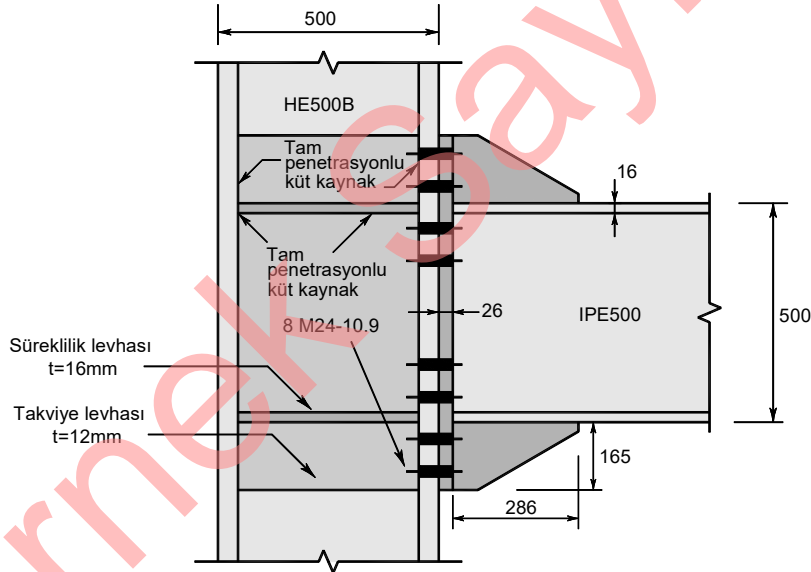
$$t_{min} = \frac{2 \cdot (500 + 500)}{8} = 11.1mm \quad \text{TBDY 9.3.4.2(b)}$$

Kayma bölgesi $t = 12mm$ kalınlığında iki adet levha ile takviye edilecektir.

$$R_n = 0.60 \cdot 355 \cdot 500 \cdot (14.5 + 2 \cdot 12) \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot 300 \cdot 28^2}{500 \cdot 500 \cdot (14.5 + 2 \cdot 12)} \right) \cdot 10^{-3} = 4400kN$$

$$\phi_v R_n = 4400kN > V_{up} = 3262kN$$

TBDY 9.3.4.3(c) uyarınca kayma bölgesinde kullanılan takviye levhalarının kolon başlık levhalarına bağlanması için tam penetrasyonlu küt kaynak kullanılacaktır.

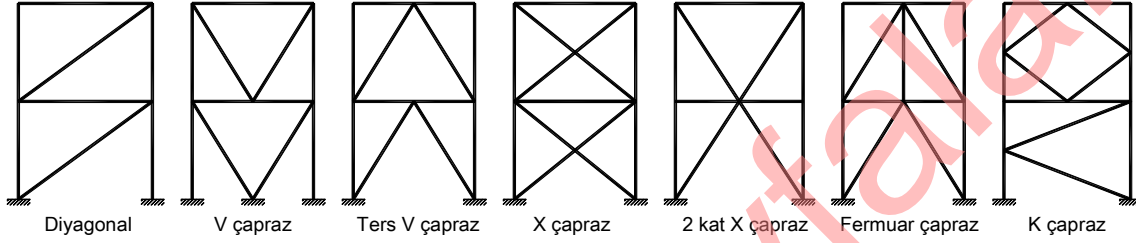


6.8.2. Moment Aktaran Süneklik Düzeyi Sınırlı Çelik Çerçevesi Sistemler

Moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı çelik çerçevesi sistemler, deprem etkileri altında kirişleri, kolonları ve kiriş-kolon birleşimlerinin kayma bölgesinin sınırlı ölçüde doğrusal olmayan şekildeğiştirme yapabilme özelliğine sahip olduğu sistemlerdir. Moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevesi sistemlere benzer olarak bu sistemlerin kirişleri ve kolonları da deprem etkisi içeren yük birleşimleri esas alınarak boyutlandırılmalıdır. Ayrıca, kolonlar arttırılmış deprem etkilerini içeren eksenel kuvvetler altında kontrol edilmelidir. Süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çerçevelerin tasarımında, kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşuluna uyulması gerekli değildir.

6.9. Merkezi Çelik Çaprazlı Sistemler

Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler, çaprazların çerçeve düğüm noktalarına merkezi olarak bağlandığı; kolon, kiriş ve çaprazların düşey doğrultuda kafes sisteme benzer davranış gösterdiği sistemlerdir. Yatay yükler, oluşan bu kafes sistemde aksenal basınç ve çekme kuvvetleri ile karşılanır ve dayanım elemanların aksenal basınç ve çekme kapasiteleri ile sağlanır. Süneklik çapraz elemanların aksenal çekme etkileri altında akması ve aksenal basınç etkileri altında burkulması ile sağlanır. Merkezi çelik çaprazlı sistemler Şekil 6-13’de bazı örnekleri gösterilen çok farklı türden çapraz düzenine sahip olabilmektedir.



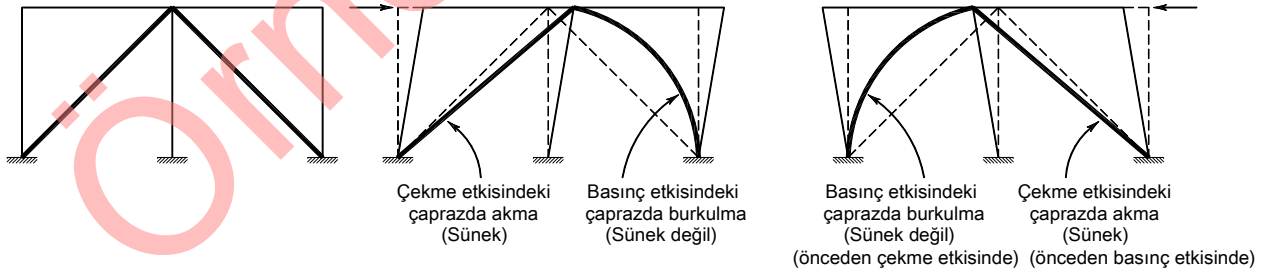
Şekil 6-13 Merkezi Çapraz Çerçeve Sistemler

V ve Λ türü çaprazlar kirişlere açıklıkta birleştiklerinden, çaprazlarda oluşan ve eşit olmayan basınç ve çekme kuvvetlerinden oluşan düşey kuvvet çerçeve sistemin çevrimsel davranışını önemli oranda etkiler. Bu düşey kuvvet bileşeni kirişte plastik oluşumuna neden olabilecek düzeyde eğilme etkileri oluşturabilir. Tasarımda V çaprazlar yok varsayılarak düşey yükler etkisinde tasarım yapılır.

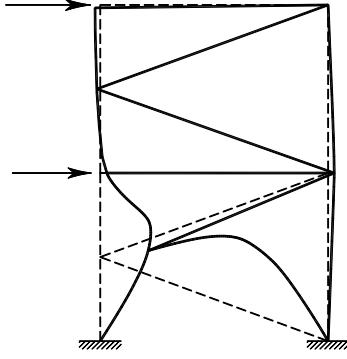
Merkezi çelik çaprazlı sistem kullanımının olumlu yanı yüksek yatay rijitliğe sahip olmasıdır. Olumsuz yanı ise diğer sistemlere göre sünekliğinin düşük olmasıdır. Ayrıca bazı durumlarda merkezi çaprazların kat planı içerisindeki konumu mimari açıdan sınırlamalara neden olabilmektedir.

6.9.1. Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı çelik çerçeveler, basınç elemanlarının bazılarının burkulması halinde dahi, sistemde önemli ölçüde dayanım kaybı oluşmayacak şekilde boyutlandırılırlar.



Şekil 6-14 Yatay Yük Etkisinde Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve



Şekil 6-17

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı çerçevelerde K şeklindeki (çaprazların kolon orta noktasına bağlandığı) çapraz düzenine kolonlarda stabilite kaybına neden olabilecek yatay yerdeğiştirmelerin oluşmasına neden olduğundan izin verilmemektedir (Şekil 6-17).

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı çerçevelerde çaprazların basınç aksel kuvvet dayanımının ihmal edildiği yalnızca çekmeye çalışan çaprazların kullanılmasına izin verilmemektedir.

Çapraz elemanın veya düğüm noktası levhasının kiriş-kolon birleşim bölgesine bağlantısında kirişin kolona birleşimi mafsallı olarak tasarlandığında, birleşim detayı en az 0.025 radyan dönme açısını sağlayacak şekilde oluşturulmalıdır. Bu bağlantı detayı için bu koşulu sağladığı kanıtlanmış olan kiriş-kolon birleşim detaylarından biri

kullanılabilmektedir.

Kirişin kolona birleşimi rijit olarak tasarlandığında, birleşim detayı; kirişin M_p plastikleşme momentinin $1.1R_y / 1.5$ (GKT) veya $1.1R_y$ (YDKT) katından oluşan eğilme momenti ve düğüm noktasına birleşen kolonların ΣM_p toplam plastikleşme momentinin $1.1R_y / 1.5$ (GKT) veya $1.1R_y$ (YDKT) katından oluşan eğilme momenti değerlerinden küçük olanını aktaracak şekilde boyutlandırılır.

Çapraz uç birleşimleri, dayanım fazlalığı katsayısı, D ile çarpılarak büyütülen deprem iç kuvvetleri esas alınarak boyutlandırılır. Bu iç kuvvetler aşağıda verilen aksel çekme ve basınç kuvvetleri ile eğilme dayanımlarını aşmamalıdır.

- Çekme kuvveti dayanımı: Çaprazın çekme etkisinde olması durumunda, çekme kuvveti dayanımı $R_y F_y A_g$ (YDKT) veya $R_y F_y A_g / 1.5$ (GKT) ile hesaplanır.
- Basınç kuvveti dayanımı: Çaprazın basınç etkisinde olması durumunda, basınç kuvveti dayanımı, $1.1 \cdot \min(R_y F_y A_g; 1.14 F_{cre} A_g)$ (YDKT) veya $(1.1 / 1.5) \cdot \min(R_y F_y A_g; 1.14 F_{cre} A_g)$ (GKT) olarak belirlenir.
- Düğüm noktası levhasının çapraz burkulması ile uyumu

Çapraz birleşimi, çaprazın burkulması nedeniyle oluşacak eğilme etkilerini karşılayacak dayanıma sahip olmalıdır. Bu durum aşağıdaki koşullardan birine uyulmak suretiyle sağlanır.

- Gerekli eğilme momenti dayanımı

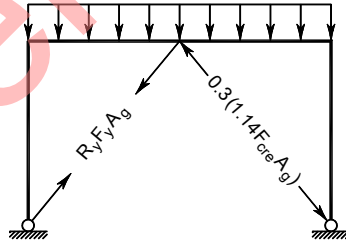
Uç plastik mafsalların çapraz elemanın kendisinde oluşması öngörüldüğünde, çapraz birleşiminin eğilme dayanımı çapraz elemanın olası eğilme dayanımı değerinden daha büyük olmalıdır. Çaprazın olası eğilme momenti dayanımı, en küçük burkulma dayanımına karşı gelen eksene göre $1.1R_y M_p$ (YDKT) veya $(1.1 / 1.5)R_y M_p$ (GKT) ile hesaplanır.

- Dönme kapasitesi

YDKT	GKT
Gerekli eğilme dayanımı	Gerekli eğilme dayanımı
$1.2G + Q \mp E_d = 1.2G + 0.3 \cdot \frac{2}{3} S_{DS} G + Q + E_d^{(H)}$	$G \mp 0.7E_d = \left(1 + 0.7 \left(0.3 \frac{2}{3} S_{DS}\right)\right) G + 0.7E_d^{(H)}$
$M_r = (1.2 + 0.2S_{DS}) \frac{gL^2}{8} + \frac{qL^2}{8} + P_{düşey} \frac{L}{4}$	$M_r = (1.0 + 0.14S_{DS}) \frac{gL^2}{8} + 0.7P_{düşey} \frac{L}{4}$
$M_r = 1.4 \frac{3 \cdot 9^2}{8} + \frac{1.5 \cdot 9^2}{8} + 430.7 \frac{9}{4} = 1026.8 kNm$	$M_r = 1.14 \frac{3 \cdot 9^2}{8} + 0.7 \cdot 430.7 \cdot \frac{9}{4} = 713 kNm$
$M_{cx} = \phi_b M_{nx} = 0.9 \cdot 1401.9 = 1261.7 kNm$	$M_{cx} = \frac{M_{nx}}{\Omega_c} = 839.5 kNm$
Gerekli eksenel kuvvet dayanımı	Gerekli eksenel kuvvet dayanımı
Düşey yüklerden eksenel kuvvet oluşmamaktadır.	Düşey yüklerden eksenel kuvvet oluşmamaktadır.
$P_r = 252.9 kN$	$P_r = 0.7 \cdot 252.9 = 177 kN$
$P_c = \phi_c P_n = 0.9 \cdot 6119.6 = 5507.6 kN$	$P_c = \frac{P_n}{\Omega_c} = 3664.4 kN$
$P_r / P_c = 0.046 < 0.2$	$P_r / P_c = 0.048 < 0.2$
$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1.0$	$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1.0$
$0.023 + 0.814 = 0.837 \leq 1.0$	$0.024 + 0.85 = 0.874 \leq 1.0$

Kolon Tasarımı:

Merkezi çapraz sistemin kolonları çapraz elemanların olası iç kuvvetleri gözönüne alınarak belirlenmektedir.



$$P_{düşey} = \left(R_y F_y A_g - 0.3 \cdot (1.14 F_{cre} A_g) \right) \sin \theta / 2$$

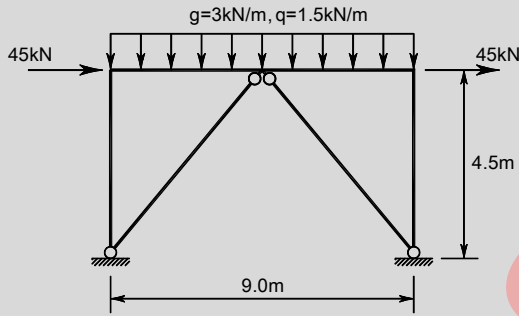
$$P_{düşey} = (662.2 - 0.3 \cdot 176.95) \sin 45^\circ / 2 = 215.35 kN \text{ olarak hesaplanır.}$$

Dayanım fazlalığı katsayısı D ile büyütülmüş deprem etkileri altında çapraz elemanda oluşan iç kuvvetler esas alınarak hesaplanan kolon eksenel kuvveti.

Çapraz birleşimlerinin boyutlandırılmasında gerekli dayanımlar, dayanım fazlalığı katsayısı, D ile büyütülen deprem etkisini içeren yük birleşimleri gözönüne alınarak belirlenir. Ancak, çapraz birleşiminin boyutlandırılmasında esas alınacak eksenel çekme ve basınç kuvvetlerinin, aşağıda tanımlanan eksenel çekme ve basınç kuvveti dayanımlarını aşmayacaktır.

- Çaprazın çekme etkisinde olması durumunda, $R_y F_y A_g / 1.5$ (GKT) veya $R_y F_y A_g$ (YDKT) ile hesaplanan olası çekme kuvveti dayanımı.
- Çaprazın basınç etkisinde olması durumunda, $R_y F_y A_g$ ve $1.14 F_{cre} A_g$ ile belirlenen olası çapraz eksenel basınç kuvveti dayanımlarından küçüğünün (YDKT) için 1.1 veya (GKT) için (1.1/1.5) ile çarpılmasıyla hesaplanan olası çapraz dayanımı.

Örnek 6-3:



Süneklik düzeyi sınırlı ters V çapraz düzenine sahip merkezi çapraz sistemin çapraz elemanları için uygun kesiti belirleyiniz. İkinci merteye etkileri ve çapraz elemanların kendi ağırlıklarını ihmal ediniz.
 $F_y = 275 \text{MPa}$, $S_{DS} = 1.0$

Çözüm:

$$\text{Çapraz uzunluğu } L_{\text{çapraz}} = h / \sin \theta = 4.5 / \sin 45^\circ = 6.36 \text{m}$$

Uçlarda birleşim için 0.5m uzunluk bırakılırsa net çapraz boyu $L_{n,\text{çapraz}} = 6.36 - 2 \cdot 0.5 = 5.36 \text{m}$ olarak belirlenir.

İki ucu mafsallı çapraz için burkulma katsayısı $K = 1.0$ olarak seçilir.

$$\text{Burkulma boyu } KL = 1.0 \cdot 5.36 = 5.36 \text{m}$$

Çapraz eleman için sınır KL / i değeri 100 olarak seçilirse $KL / i = 100$

Gerekli minimum atalet yarıçapı

$$i = KL / 100 = 5.36 / 100 = 0.0536 \text{m} \quad i_{\min} = 53.6 \text{mm}$$

Deprem etkisinden çaprazlarda oluşacak eksenel kuvvet

$$P = F / 2 \cos \theta = 45 / 2 \cos 45^\circ = 63.64 \text{kN}$$

Sabit ve hareketli yükten dolayı her bir çaprazda oluşan eksenel kuvvet

$$P_G = 0.625 g L / 2 \sin \theta = 0.625 \cdot 3 \cdot 9.45 / 2 \sin 45^\circ = 11.93 \text{kN}$$

6.10.2.1. Bağ Kirişinin Dönme Açısı

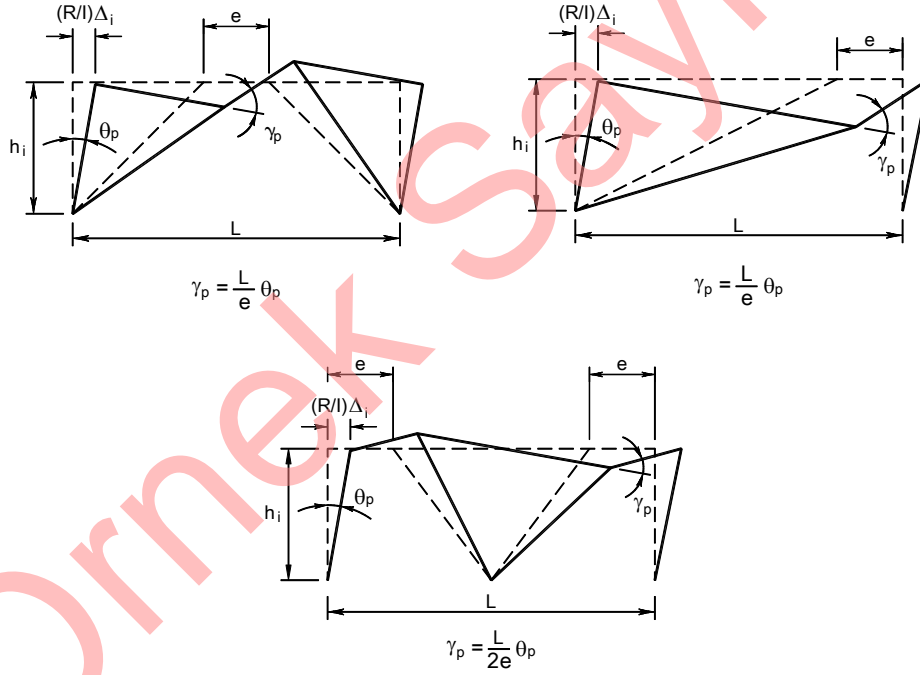
Görelî kat ötelemesi açısı θ_p , doğrusal olmayan davranış sonucunda bağ kirişinin bulunduğu i 'inci katın, görelî kat ötelemesi Δ_i nedeniyle oluşan açıdır ve Denk.(6.31) ile hesaplanmaktadır.

$$\theta_p = \frac{R \Delta_i}{I h_i} \quad (6.31)$$

Görelî kat ötelemesi açısı θ_p 'den dolayı, bağ kirişi ile bu kirişin uzantısındaki kat kirişi arasında oluşan bağ kirişi dönme açısı γ_p aşağıda verilen sınır değerleri aşmamalıdır.

- $e \leq 1.6M_p / V_p$ olması durumunda 0.08 radyan.
- $e \geq 2.6M_p / V_p$ 'ye olması durumunda 0.02 radyan.

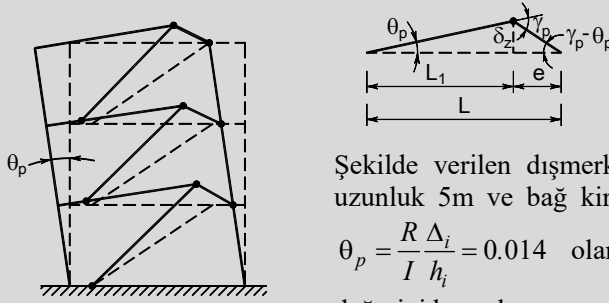
Bağ kirişi uzunluğunun bu iki sınır değer arasında olması durumunda doğrusal interpolasyon yapılır.



Şekil 6-21

Bağ kirişi dönme açısı sistemin yerdeğiştirmesinin rijit plastik mekanizma durumunda olduğu varsayımı ile belirlenmektedir. Şekil 6-21'da farklı dışmerkez çapraz sistemler için karşı gelen mekanizma durumları bağ ve kiriş dönme açısı değerleri gösterilmektedir.

Örnek 6-4



Şekilde verilen dışmerkez çelik çaprazlı sistemde kat yüksekliği 3.5m, uzunluk 5m ve bağ kirişi uzunluğu 1.2m'dir. Göreli kat ötelemesi açısı

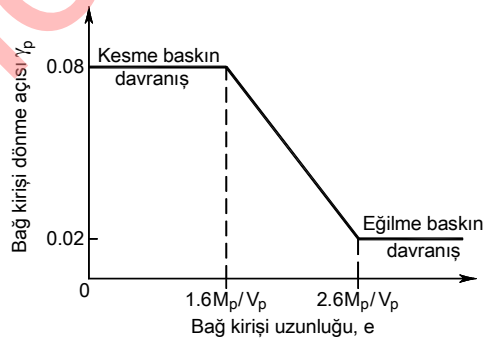
$\theta_p = \frac{R \Delta_i}{I h_i} = 0.014$ olarak hesaplandığını varsayarak bağ kirişi dönme değerini hesaplayınız.

Çözüm:

Bağ kirişi dönmesi yatay yerdeğiştirmeden dolayı oluşan düşey yerdeğiştirmeden hesaplanabilmektedir. Şekilde sol kolon ile kiriş arasındaki açının şekildeğiştirme sonrasında da 90° olarak kaldığı kabul edilecektir. Sol kolonun θ_p kadar dönmesi kirişin sol ucunun da θ_p kadar dönmesine neden olacaktır. Bu durumda bağ kirişinin ucu δ_z kadar düşey yerdeğiştirme yapacaktır. Uygunluk koşulu gereği bağ kirişi sağ ucuna göre aynı δ_z düşey yerdeğiştirmesini yapmalıdır. Bağ kirişi dışındaki kiriş uzunluğu L_1 , bağ kirişi uzunluğu e , bağ kirişi dönme açısı γ_p simgeleri ile gösterilir ve açıların küçük olacağı varsayımı yapılırsa $\delta_z = \theta_p L_1 = (\gamma_p - \theta_p) e$ eşitliği elde edilir.

$$\gamma_p e = \theta_p (L_1 + e) = \theta_p L \rightarrow \gamma_p = \frac{L \theta_p}{e} = \frac{5 \cdot 0.014}{1.2} = 0.0583 \text{ rad} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Bağ kirişinde kesmeden dolayı akma davranışının oluşmasını daha güvenilir şekilde sağlamak için bağ kirişinin boyunun $e \leq 1.6 M_p / V_p$ koşulunu sağlaması uygun olmaktadır.



Şekil 6-22

Dışmerkez çelik çaprazlı çerçeve sistemlerin bağ kirişleri geniş başlıklı I profili veya yapma I enkesitli olmalı ve gövde düzlemi içinde takviye levhaları bulunmamalıdır. Ayrıca yanal doğrultuda desteklenmelidir.

bağlantısının eğilme momenti dayanımı M_p değerinden, kesme kuvveti dayanımı $1.1V_p$ değerinden az olmamalıdır.

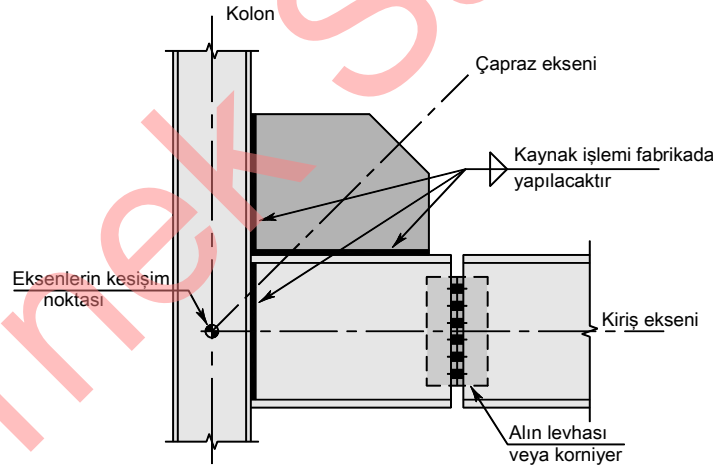
6.10.7. Çapraz-Kiriş-Kolon Birleşimi

Çapraz veya düğüm noktası levhasının kiriş-kolon birleşim bölgesine bağlantısında aşağıdaki koşullara uyulmalıdır.

- Kirişin kolona birleşimi mafsallı olarak alındığında, birleşim detayı en az 0.025 radyan dönme açısını sağlayacak şekilde oluşturulmalıdır.
- Kirişin kolona birleşimi rijit olarak alındığında, birleşim detayı, kirişin plastikleşme momenti M_p 'nin $1.1R_y / 1.5$ (GKT) veya $1.1R_y$ (YDKT) ile büyütülen eğilme momenti ile düğüm noktasına birleşen kolonların toplam plastikleşme momenti ΣM_p 'nin $1.1R_y / 1.5$ (GKT) veya $1.1R_y$ (YDKT) ile büyütülen eğilme momenti değerlerinden küçük olanı aktaracak şekilde boyutlandırılır.

6.11. Çapraz-Kiriş-Kolon Birleşim Detayları

Çapraz veya düğüm noktası levhasının kiriş-kolon birleşim bölgesine bağlantısında, kirişin kolona birleşimi mafsallı veya rijit olarak tasarlandığında, gerekli dönme kapasitesini sağladığı kanıtlanmış olan birleşim detayları Şekil 6-25 ve Şekil 6-26 gösterilmektedir.



Şekil 6-25 Kirişin Kolona Bağlantısı Rijit

Plastik mafsalların düğüm noktası veya bağlantı levhasında oluşması öngörüldüğünde, çapraz birleşimi yeterli dönme kapasitesine sahip olmalıdır. Yeterli dönme kapasitesi, çapraz eleman uç birleşiminde kullanılacak düğüm noktası levhası veya bağlantı levhasında plastik dönmeye izin verecek yeterli bölgelerin oluşturulması sağlanır. Bu koşulun sağlanması için uygulanabilecek detaylar Şekil 6-18'de verilmiştir.

Çözüm:

$$\text{Görelî kat ötelemesi açısı: } \theta_p = \frac{R \Delta_i}{I h_i} = \frac{22}{4500} = 0.0049 \text{ rad}$$

$$\text{Bağ kirişî dönme açısı: } \gamma_p = \frac{L}{e} \theta_p \quad \gamma_p = \frac{10.25}{1.25} \cdot 0.0049 = 0.04 \text{ rad olarak hesaplanır.}$$

YDKT ve GKT yöntemleri için gerekli dayanımların belirlenmesi:

YDKT	GKT
$1.2G + Q \mp E_d = 1.2G + 0.3 \cdot \frac{2}{3} S_{DS} G + Q + E_d^{(H)}$	$G \mp 0.7E_d = \left(1 + 0.7 \left(0.3 \frac{2}{3} S_{DS} \right) \right) G + 0.7E_d^{(H)}$
$P_u = 1.4 \cdot 30 + 20 + 0 = 62 \text{ kN}$	$P_a = 1.14 \cdot 30 + 0.7 \cdot 0 = 34.2 \text{ kN}$
$V_u = 1.4 \cdot 5 + 3.5 + 400 = 410.5 \text{ kN}$	$V_a = 1.14 \cdot 5 + 0.7 \cdot 400 = 285.7 \text{ kN}$
$M_u = 1.4 \cdot 14 + 8 + 240 = 267.6 \text{ kNm}$	$M_a = 1.14 \cdot 14 + 0.7 \cdot 240 = 183.96 \text{ kNm}$

Seçilen kiriş kesiti HE360B için

Enkesit boyutları

$$\text{Başlık genişliği } b_f = 300 \text{ mm}, \text{ başlık kalınlığı } t = 22.5 \text{ mm}$$

$$\text{Enkesit yüksekliği } d = 360 \text{ mm}, \text{ gövde kalınlığı } t_w = 12.5 \text{ mm}$$

Enkesit özellikleri

$$A = 181 \text{ cm}^2 \quad W_{px} = 2683 \text{ cm}^3 \quad W_{ex} = 2399.4 \text{ cm}^3 \quad i_x = 154.5 \text{ mm} \quad i_y = 74.8 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{150}{22.5} = 6.67 < 0.30 \sqrt{200000 / 355} = 7.12$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 0.93 C_a) \quad \frac{h}{t_w} = 20.88 < 57.6$$

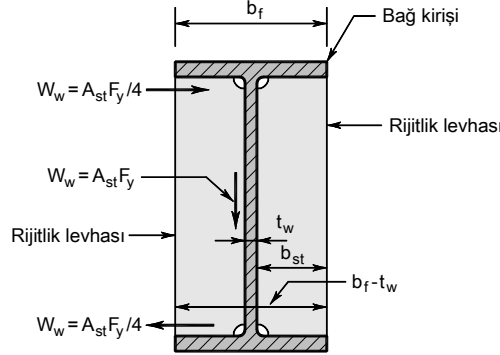
$$\text{Akma sınır durumunda aksel kuvvet dayanımı } P_y = 355 \cdot 18100 \cdot 10^{-3} = 6425 \text{ kN}$$

YDKT	GKT
$P_y = 6425 \text{ kN}$	$P_y / 1.5 = 4283 \text{ kN}$
$P_u / P_y = 62 / 6425 = 0.0096$	$P_a / (P_y / 1.5) = 34.2 / 4283 = 0.008$

Bağ kirişinin gövde enkesit alanı

$$A_w = (d - 2t_f) t_w = 3937 \text{ mm}^2$$

Rijitlik levhası ile kiriş gövdesi arasındaki köşe kaynağının gerekli dayanımı:



Gövde ile rijitlik levhası arasındaki kaynak, rijitlik levhasının dayanımına ulaşmasını sağlayacak kuvvetleri karşılayabilmelidir.

$$\text{Rijitlik levhası alanı } A_{st} = b_{st} t_{st} \quad A_{st} = 10 \cdot 145 = 1450 \text{ mm}^2$$

$$F_y = 275 \text{ MPa}$$

YDKT	GKT
$P_w = A_{st} F_y$	$P_w = A_{st} F_y / 1.5$
$P_w = 1450 \cdot 275 \cdot 10^{-3} = 399 \text{ kN}$	$P_w = 1450 \cdot 275 \cdot 10^{-3} / 1.5 = 266 \text{ kN}$

Rijitlik levhası ile kiriş başlığı arasındaki kaynak, rijitlik levhasının başlıkta yerel burkulmayı önleyecek rijitliği sağlayacak kuvvetleri karşılayabilmelidir.

YDKT	GKT
$P_w = A_{st} F_y / 4$	$P_w = (A_{st} F_y / 4) / 1.5$
$P_w = 1450 \cdot 275 \cdot 10^{-3} / 4 = 99.7 \text{ kN}$	$P_w = (1450 \cdot 275 \cdot 10^{-3} / 4) / 1.5 = 66.5 \text{ kN}$

Bağ kirişi dışındaki elemanların tasarımı:

Kat girişinin bağ kirişi dışındaki bölümünün gerekli dayanımı, tasarımda kullanılan yük birleşimlerindeki deprem etkilerinin bağ girişinin plastikleşmesine neden olan yükleme $1.25R_y$ ile büyütülerek belirlenir.

Sistemin düşey yükler ve deprem etkileri altındaki çözümünden bağ kirişi dışındaki bölüm için aşağıdaki iç kuvvetler elde edilmiştir.

$$P_G = 0.5 \text{ kN} \quad V_G = 25 \text{ kN} \quad M_G = 18 \text{ kNm}$$

$$P_Q = 0.3 \text{ kN} \quad V_Q = 15 \text{ kN} \quad M_Q = 10.8 \text{ kNm}$$

$$P_E = 450 \text{ kN} \quad V_E = 27 \text{ kN} \quad M_E = 130 \text{ kNm}$$

Bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yükleme, yükleme birleşimlerindeki deprem etkilerinin V_n / V_E tasarım büyütme katsayısı ile artırılması ile elde edilmektedir.

Bağ kirişinin dışında kalan kiriş bölümünün tasarımında, bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan etkiler, pekleşme ve akma gerilmesinin tasarımındaki değerden daha büyük olma olasılığını da gözönüne alarak yeniden artırılmaktadır.

$$V_{maks} = 1.25R_y V_n = 1.25 \cdot 1.25 \cdot 838.7 = 1310 \text{ kN}$$

$$\alpha = \frac{1.25R_y V_n}{V_{E, \text{bağ kirişi}}} = \frac{1310}{400} = 3.275$$

Bağ kirişi dışında kalan kiriş bölümünde artırılmış deprem etkileri

$$P_E^* = 3.275 \cdot 450 = 1474 \text{ kN} \quad V_E^* = 3.275 \cdot 27 = 88.4 \text{ kN} \quad M_E^* = 3.275 \cdot 130 = 426 \text{ kNm}$$

YDKT ve GKT yöntemleri için gerekli dayanımların belirlenmesi:

YDKT	GKT
$1.2G + Q \mp E_d = 1.2G + 0.3 \cdot \frac{2}{3} S_{DS} G + Q + E_d^{(H)}$	$G \mp 0.7E_d = \left(1 + 0.7 \left(0.3 \frac{2}{3} S_{DS} \right) \right) G + 0.7E_d^{(H)}$
$P_u = 1.4 \cdot 0.5 + 0.3 + 1474 = 1475 \text{ kN}$	$P_a = 1.14 \cdot 0.5 + 0.7 \cdot 1474 = 1032.4 \text{ kN}$
$V_u = 1.4 \cdot 25 + 15 + 88.4 = 138.4 \text{ kN}$	$V_a = 1.14 \cdot 25 + 0.7 \cdot 88.4 = 90.4 \text{ kN}$
$M_u = 1.4 \cdot 18 + 10.8 + 426 = 462 \text{ kNm}$	$M_a = 1.14 \cdot 18 + 0.7 \cdot 426 = 318.7 \text{ kNm}$

Çaprazların Tasarımı:

Seçilen kesit: HE400B

Sistemin düşey yükler ve deprem etkileri altındaki çözümünden çapraz elemanlar için aşağıdaki iç kuvvetler elde edilmiştir.

$$P_G = 41 \text{ kN} \quad V_G = 0.9 \text{ kN} \quad M_G = 4.5 \text{ kNm}$$

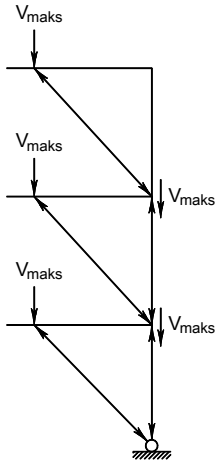
$$P_Q = 28 \text{ kN} \quad V_Q = 0.45 \text{ kN} \quad M_Q = 3 \text{ kNm}$$

$$P_E = 618 \text{ kN} \quad V_E = 21.4 \text{ kN} \quad M_E = 110 \text{ kNm}$$

Çaprazların gerekli dayanımının belirlenmesinde kullanılacak büyütme katsayısı

$$\alpha = \frac{1.25R_y V_n}{V_{E, \text{bağ kirişi}}} = \frac{1310}{400} = 3.275$$

$$P_E^* = 3.275 \cdot 618 = 2024 \text{ kN} \quad V_E^* = 3.275 \cdot 21.4 = 70.1 \text{ kN} \quad M_E^* = 3.275 \cdot 110 = 360.3 \text{ kNm}$$



Sistemin düşey yükler altındaki çözümünden en alt kat kolonu için aşağıdaki iç kuvvetler elde edilmiştir.

$$P_G = 138kN \quad V_G = 0kN \quad M_G = 0kNm$$

$$P_Q = 94kN \quad V_Q = 0kN \quad M_Q = 0kNm$$

Kolonların gerekli dayanımlarının belirlenmesinde, yük birleşimindeki deprem etkilerinin bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yüklemenin $1.1R_y$ katı ile büyütülmesi sonucu elde edilen iç kuvvetler esas alınır. En alt kolonların aksenal kuvvetinin belirlenmesinde ilgili katın üstündeki 2 katın bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yükleme etkili olmaktadır.

$$V_{maks} = 1.1R_y V_n = 1.1 \cdot 1.25 \cdot 838.7 = 1153.2kN$$

$$P = 2 \cdot V_{maks} = 2306.4kN$$

Kolon için gerekli dayanımlar

YDKT	GKT
$1.2G + Q \mp E_d = 1.2G + 0.3 \cdot \frac{2}{3} S_{DS} G + Q + E_d^{(H)}$	$G \mp 0.7E_d = \left(1 + 0.7 \left(0.3 \frac{2}{3} S_{DS}\right)\right) G + 0.7E_d^{(H)}$
$P_u = 1.4 \cdot 138 + 94 + 2306.4 = 2499.6kN$	$P_a = 1.14 \cdot 138 + 0.7 \cdot 2306.4 = 1771.5kN$

$$KL = 1 \cdot (4.5 - 0.3) = 4.2m$$

$$F_y = 355MPa$$

$$\frac{KL}{i} = 55.8 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 112$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{i}\right)^2} = 634MPa$$

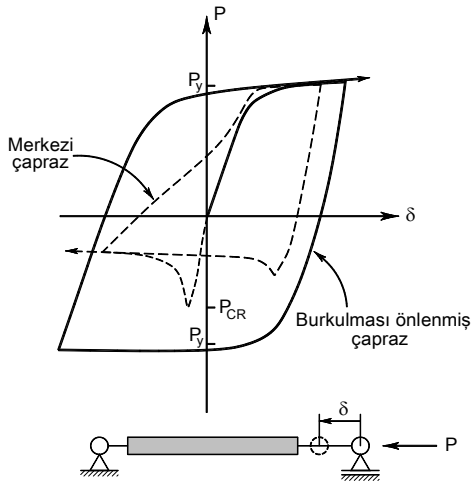
$$F_{cr} = \left(0.658^{F_y/F_e}\right) F_y = 280.8MPa$$

$$A_g = 17100mm^2$$

$$P_n = 4802kN$$

YDKT	GKT
$P_u = 2499.6kN$	$P_a = 1771.5kN$
$\phi_c P_n = 0.9 \cdot 4802 = 4321kN > 2499.6kN$	$P_n / \Omega_c = 4802 / 1.67 = 2875kN > 1771.5kN$
Kesit uygundur.	Kesit uygundur.

6.12. Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçeveseler

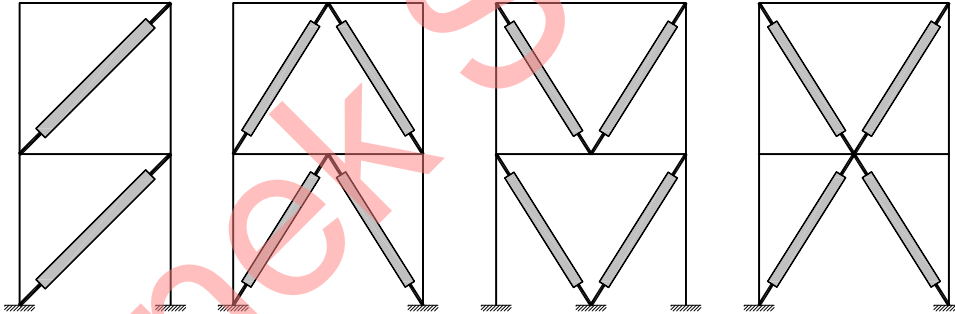


Şekil 6-27 Merkezi çapraz ve burkulması önlenmiş çapraz sistemlerin davranışları

Merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerde çaprazların, çekme ve basınç kuvveti etkisinde simetrik olmayan çevrimsel davranış göstermeleri ve basınç etkisinde burkulma nedeniyle güç tükenmesine ulaşmaları sistemin sünekliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuzluğu gidermek üzere çevrimsel etkiler altında simetrik davranış gösterebilen burkulması önlenmiş çapraz sistemler geliştirilmiştir. İki sistemin çevrimsel yük etkisindeki yük-yerdeğiştirme grafiği Şekil 6-27’de gösterilmektedir.

Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeveseler, özel olarak üretilen burkulması önlenmiş çapraz elemanların kirişlere veya kiriş-kolon birleşim bölgelerine merkezi olarak bağlanmasıyla oluşturulmaktadır. Tipik örnekleri Şekil 6-28’de gösterilmektedir. Çekme ve basınç etkisinde çapraz elemanların davranışı birbirine yakın olduğundan burkulması önlenmiş çaprazlı sistemlerde tek çapraz eleman kullanımına izin verilmektedir.

Bu sistemler, plastik şekil değiştirmelerin çekme ve basınç etkileri altında çapraz elemanlarda oluşması sağlanacak şekilde boyutlandırılırlar.



Şekil 6-28 Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve sistem örnekleri

Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeveseler, çekme ve basınç kuvvetleri etkisinde simetrik ve sünek davranış göstermeleri, yapı sistemi için büyük yatay rijitlik sağlamaları ve yüksek enerji yutma özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir, Şekil 6-29.

Burkulması önlenmiş çapraz elemanlar esas olarak çelik çekirdek, kılıf ve kılıf ile çelik çekirdek arasındaki bağlantıyı engelleyen katmandan oluşmaktadır. Bağlantıyı engelleyen katman, çelik çekirdek ile kılıfı birbirinden ayırmaktadır. Böylece çapraz elemana etkiyen eksenel kuvvet yalnızca çelik çekirdek tarafından taşınması sağlanmaktadır. Tüm eksenel kuvveti karşılayan çelik çekirdekte plastikleşmenin orta bölümde oluşmasını sağlamak için uç bölgelerde kesit alanı arttırılmaktadır.

uyumlu iç kuvvetlerin hesabı için, çapraz elemanların iç kuvvetleri Denk.(6.33) ve Denk. (6.34) ile belirlenir.

$$T = \omega R_y P_{y_{sc}} \quad (6.33)$$

$$P = \beta \omega R_y P_{y_{sc}} \quad (6.34)$$

Burada ω pekleşme etkisi düzeltme katsayısı, β basınç dayanımı düzeltme katsayısı ve $P_{y_{sc}}$ çelik çekirdeğin eksenel akma dayanımını göstermektedir.

6.12.1. Çaprazlar

Çelik çekirdek, çapraz elemana etkileyen eksenel kuvvetin tamamını karşılayacak şekilde boyutlandırılır. Çapraz elemanın eksenel dayanımı Denk. (6.35) ile hesaplanır.

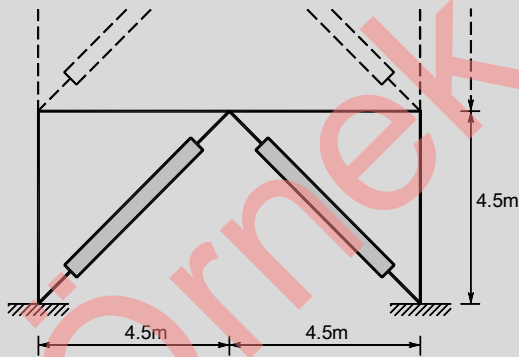
$$P_{y_{sc}} = F_{y_{sc}} A_{sc} \quad (6.35)$$

Burada A_{sc} çelik çekirdeğin akma şekildeğiştirmesi gösteren enkesit alanını göstermektedir.

Tasarım eksenel kuvvet dayanımı $\phi P_{y_{sc}}$ (YDKT) veya güvenli eksenel kuvvet dayanımı $P_{y_{sc}} / \Omega$ (GKT) $\phi = 0.90$ (YDKT) , $\Omega = 1.67$ (GKT) alınarak hesaplanır.

Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçevelerde K şeklinde çapraz düzenine izin verilmemektedir. V ve ters V şeklindeki çapraz sistemlerinde, kirişler kolonlar arasında sürekli olmalı ve yanal doğrultuda mesnetlenmelidir.

Örnek 6-6



Yandaki şekilde çok katlı burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve bir sistemin en alt katı gösterilmektedir. Çapraz elemana etkileyen iç kuvvetler

$$P_G = 90kN \quad P_Q = 45kN \quad P_E = 900kN$$

olarak hesaplanmıştır.

Çapraz elemanların çelik çekirdeğinin gerekli alanını belirleyiniz.

Kat yatay yerdeğiştirmesi/kat yüksekliği=0.01

Kiriş düşey yerdeğiştirmesi/Kiriş uzunluğu=1/500

olarak hesaplanmıştır. $F_{y_{sc}} = 275MPa$, $S_{DS} = 1.0$

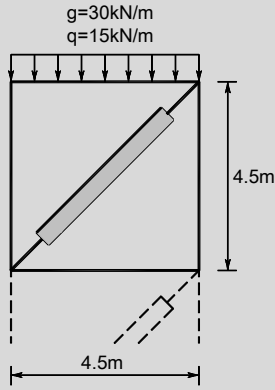
$\beta = 1.15$, $\omega = 1.35$

Çözüm:

$$1.2G + Q \mp E_d$$

$$P_u = 1.4 \cdot 90 + 45 + 900 = 1071kN$$

Örnek 6-7



Yandaki şekilde çok katlı burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeve bir sistemin en üst katı gösterilmektedir. Çapraz elemanın eksenel kuvvet dayanımı $P_{ysc} = 450kN$ olarak belirlenmiştir.

Ön yeterlilik testlerinde pekleşme etkisi düzeltme katsayısı $\omega = 1.35$ olarak elde edilmiştir.

Kiriş-kolon birleşimleri moment aktaran birleşim türündedir ve kirişin karakteristik plastik eğilme dayanımı $M_p = 270kNm$ 'dir. Kiriş üzerinde $g = 30kN/m$, $q = 15kN/m$ yayılı yükleri bulunmaktadır. Kolonlar için, P_u gerekli eksenel kuvvet dayanımını belirleyiniz.

Çözüm:

$$P_{düşey} = (1.4 \cdot 30 \cdot 4.5 + 15 \cdot 4.5) / 2 = 128.25kN$$

Plastik mafsalların kiriş uçlarında oluştuğu durumda uçlarda kesme kuvveti değeri

$$P_m = 2(1.1R_y M_p) / L_n \quad \text{S355 çeliği için } R_y = 1.25$$

$$L_n \cong 4.5m$$

$$P_m = 2(1.1 \cdot 1.25 \cdot 270) / 4.5 = 165kN$$

Akma durumu ile uyumlu çapraz eleman eksenel kuvveti

$$T_{maks} = \omega R_y P_{ysc} = 1.35 \cdot 1.0 \cdot 450 = 607.5kN$$

Çapraz eleman nedeniyle kolonda oluşan eksenel kuvvet

$$P_b = T_{maks} \sin \theta = 607.5 \cdot \sin 45^\circ = 429.6kN$$

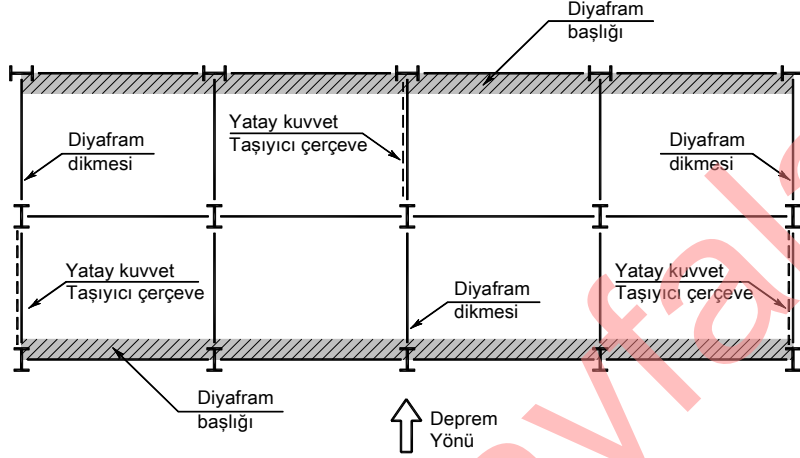
Gerekli eksenel kuvvet dayanımı

$$P_u = P_{düşey} + P_m + P_b = 128.5 + 165 + 429.6 = 723.1kN$$

6.13. Diyafram Tasarımı

Diyaframlar, normal kat ve çatı düzlemleri içinde oluşturulan ve kat döşemelerine etkileyen yatay deprem kuvvetlerinin, deprem kuvveti taşıyıcı sistemini oluşturan düşey taşıyıcı elemanlara aktarılmasını sağlayan taşıyıcı sistemlerdir. Döşeme sistemi içersindeki diyafram başlıkları ve diyafram dikmeleri (yük aktarma elemanları) diyafram sistemini oluştururlar. Diyafram elemanları, çelik bina taşıyıcı sisteminin katlarındaki kütlelere etkileyen deprem kuvvetlerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılmasını sağlayacak dayanım ve rijitliğe sahip olacak şekilde boyutlandırılırlar.

Diyafraam başlıkları, döşeme düzlemindeki yatay kuvvetlerin düşey taşıyıcı elemanlara aktarılması sırasında oluşan eğilme etkilerini temsil eden, çekme ve basınç kuvvetleri çifti gözönüne alınarak boyutlandırılır. Diyafraam başlığı çekme kuvvetinin, betonarme döşeme içine yerleştirilecek ek çekme donatısı veya yapısal çelik elemanlar ile güvenle taşınması sağlanır.



Şekil 6-32 Diyafraam başlığı ve dikme (yük aktarma) elemanları

Diyafraam dikmeleri ve birleşimleri, deprem kuvveti taşıyıcı sistemin dışındaki yapı bölümlerine etkileyen atalet kuvvetlerinin deprem kuvveti taşıyıcı sistemin elemanlarına güvenle aktarılmasını sağlayacak şekilde boyutlandırılırlar ve boyutlandırmada dayanım fazlalığı katsayısı D ile büyütülen deprem etkilerini içeren yük birleşimleri esas alınır.

KAYNAKLAR

- [1] <https://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mag-intensity/>
- [2] ATC/SEAOC Joint Venture, Built to Resist Earthquakes Briefing Papers
- [3] SAP2000, CSI Inc., Berkeley, USA, 2010.
- [4] Yapı Dinamiği , Z. Celep, İstanbul, 2014.
- [5] Betonarme Yüksek Binalar, K. Özden, N. Kumbasar, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul 1993.
- [6] U. Ersoy, G. Özcebe; “Sarılımış Betonarme Kesitlerde Moment-Eğrilik İlişkisi Analitik Bir İrdeme”, İMO Teknik Dergi, 1799-1827, 1998.
- [7] Betonarme Çokkatlı Yapılar, Z. Hasgür, A. N. Gündüz, Beta Basım Yayım, İstanbul, 1996.
- [8] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. Başbakanlık AFAD, 2018.
- [9] Deprem Mühendisliği, A. Mertol, H. C. Mertol, Kozan Ofset, Ankara, 2002.
- [10] Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, T. Paulay , M. J. N. Priestley ,Wiley-Interscience; 1992
- [11] Displacement Based Seismic Design of Structures M.J.N. Priestley, G.M. Calvi, M.J. Kowalsky, IUSS Press, 2007.
- [12] Fundamental Concepts of Earthquake Engineering, R. Villaverde CRC Press; 2009.
- [13] Design of Concrete Structures, A. Nilson, D. Darwin, C. Dolan, McGraw-Hill, 2009.
- [14] Earthquake Resistant Concrete Structures, A. Kappos, G.G. Penelis, Spon Press;1996.
- [15] 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.
- [16] Earthquake Engineering: Application to Design, C. K. Erdey, Wiley, 2007.
- [17] Wind and Earthquake Resistant Buildings: Structural Analysis and Design, B. S. Taranath, CRC Press, 2004.
- [18] Structural Dynamics: Theory and Computation, M. Paz , W. Leigh, Springer; 5th ed., 2003.
- [19] International Handbook Of Earthquake Engineering: Codes, programs, and examples, Mario Paz Springer; 1995.
- [20] Depremde Çökmeyen Bina Nedir? Nasıl Projelendirilir, Ergin Atımtay, Ankara, 2009.
- [21] Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Z. Celep, Beta Yayın Dağıtım A.Ş., 2008.
- [22] Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Z. Celep, N. Kumbasar, İstanbul 2004.
- [23] Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, E. Atımtay, Ankara, 2000.
- [24] Çerçevesiz ve Perdeli Betonarme Sistemlerinin Tasarımı Temel Kavramlar ve Hesap Yöntemleri, Ergin Atımtay.
- [25] Seismic and Wind Design of Concrete Buildings, S.K. Ghosh, Q. Shen, ICC, 2008.
- [26] Seismic Design using Structural Dynamics, S.K. Ghosh, J. Kim, F.H. Shad, ICC, 2009.
- [27] The Seismic Design Handbook, Farzad Naeim (Editor), Springer, 2001.
- [28] Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeler, E. Canbay, U. Ersoy, G. Özcebe, H. Sucuoğlu, S. T. Wasti, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, 2008.
- [29] Concrete Structures in Earthquake Regions E. Booth, Longman Scientific & Technical, 1994.
- [30] The Philosophy and Application of Capacity Design, Thomas Paulay ,Scientia Iranica, Vol. 2, No. 2, 1995.
- [31] Dynamics of Structures, A. K. Chopra, Prentice Hall, 2006
- [32] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Açıklamalar ve Örnekler Kitabı, M. N. Aydınoglu, Z. Celep, E. Özer, H. Sucuoğlu, 2009.
- [33] Seismic Detailing of Concrete Buildings, D. Fanella, PCA, 2007.
- [34] 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.
- [35] Earthquake Resistant Design of Structures, P. Agarwal, M. Shrikhande, PHI Learning ,2011.

- [36] Yapı Elemanı Olarak Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar, Z. Celep, TMMOB İMO İstanbul Şubesi Yapı Tasarım Kursları, 2007.
- [37] TS500: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara, 2000.
- [38] Zemin Mekaniği, K. Özaydın, Birsen Yayınevi, 2011.
- [39] Baker, J. W., (2011), "Conditional Mean Spectrum: Tool for ground motion selection", Journal of Structural Engineering, 137 (3), 322-331.
- [40] Deprem Etkisi Altında Betonarme Binaların Tasarımı, Z. Celep, 2018, İMO İstanbul Seminer Notları
- [41] Deprem Etkisi Altında Çelik Binaların Tasarımı , E. Özer, 2018, İMO İstanbul Seminer Notları
- [42] Steel Structures Design for Lateral and Vertical Forces, Alan Williams, 2016, McGraw-Hill Education
- [43] Seismic and Wind Forces: Structural Design Examples, 3rd Ed., Alan Williams, 2007, International Code Council
- [44] Concrete Structures in Earthquake Regions E. Booth, Longman Scientific & Technical,1994.
- [45] Seismic Principles, Paul W. Richards, Createspace Publishing, 2017.
- [46] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Eğitim El Kitabı , Açıklamalar ve Uygulama Örnekleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 2018.

DİZİN

A	
Açısal doğal frekans.....	11
Açısal Frekans.....	10
Agrega.....	212
Asal basınç gerilmesi.....	233
Aşılma olasılığı.....	4
Atalet kuvvetleri.....	4
B	
Bağ Kirişi.....	351
Bağ kirişleri.....	259
Berkitme Levhaları.....	350
Beton.....	125
Beton örtüsü.....	212
Bina ömrü.....	4
Bindirmeli ek.....	214
Birleşim bölgesi.....	223, 273, 276, 277
Kesme kuvveti.....	274
Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Çerçevesel.....	361
Burulma rijitliği.....	241
Burulma stabilitesi.....	241
Ç	
Çapraz donatı.....	260
Çapraz-Kiriş-Kolon Birleşim Detayları.....	352
Çatlak.....	240
Çatlama Momenti.....	94, 96
Çekme dayanımı.....	94
Çekme donatısı.....	108
Çiroz.....	207
Çok Serbestlik Dereceli Sistemler.....	44
D	
D'Alembert Prensibi.....	12
Deprem.....	4
Büyüklik.....	3
Derz.....	187
ivmesi.....	34
Kayıtları.....	6
Kuvvetleri.....	4
Şiddet.....	3
Deprem Etriyeleri.....	207
Derz.....	187
Dış yük.....	24
Dışmerkez Çelik Çaprazlı Sistemler.....	345
Dinamik büyütme katsayısı.....	255
Diyafram.....	365
Doğal periyot.....	11
Donatı demetleri.....	260
Dönüş periyodu.....	4
Döşeme.....	281
Transfer döşemesi.....	291
Düğüm noktası.....	230
Düzensizlikler	
Burulma düzensizliği.....	115
Döşeme Süreksizlikleri.....	116
Düşey Elemanlarının Süreksizliği.....	119
Planda çıkıntıların bulunması.....	116
Yumuşak Kat.....	118
Zayıf Kat.....	117
E	
Eğilme rijitliği.....	93
Eğrilik.....	92
Eksenel basınç.....	241
Eksenel kuvvet.....	110
Eksenel yük.....	222
En büyük yer ivmesi.....	Bkz. PGA
Enerji.....	3
Episantr.....	Bkz. Merkez üssü
Esnek döşeme.....	290
Esneklik.....	12
Etriye.....	111, 207
Ezilme.....	111
F	
Fay.....	2
Faz açısı.....	21, 23
Faz farkı.....	25
Filiz donatısı.....	256
Frekans.....	10
G	
Geçici Titreşim.....	25
Genlik.....	21

GKT	307
Gövde donatısı	209

H

Harmonik hareket.....	20
Harmonik yük	25
Hiposantr.....	Bkz. Odak

i

İçsel sürtünme açısı	297
İvme	7
İvme kaydı	7
İvme spektrumu	
Azaltılmış	167

K

Kanca	213
Kapasite	251
Kapasite tasarımı ilkesi	69
Karakteristik akma gerilmesi	275
Kararlı Titreşim.....	25
Kazık.....	304
Kazık çapı	304
Kenetlenme	213
Düz.....	214
Kenetlenme boyu	213
Kesme-sürtünme donatısı.....	253
Kısa kolon	234
Kiriş	208, 214
Gövde genişliği	209
Kesme Güvenliği	216
Sarılma bölgesi.....	214
Kolon	222, 229, 237
Sarılma bölgesi.....	229
Kolon-Kiriş Birleşimi	273, 274, 278
Kritik Perde Yüksekliği	243
Kritik sönüm	19
Kuşatılmamış birleşim bölgesi.....	276
Kuşatılmış birleşim bölgesi.....	276
Kütle.....	11

M

Manşonlu ek.....	215
Mercalli Şiddet Cetveli	5

Merkez üssü	2
Merkezi Çelik Çaprazlı Sistemler	334
Mod.....	46
Şekilleri	45
Moment Aktaran Çelik Çerçeve Sistemler	312

N

Newmark.....	34
Newton.....	12
Normalizasyon	47

O

Odak.....	2
Odak derinliği	2
Ortogonalite özelliği	47

P

Perde	240, 241
Gövde bölgesi	246
Kesme güvenliği	249, 251
Uç bölgesi	246
Periyot.....	10, 22
PGA	7

R

Rezonans	24
Richter ölçeği	3
Rijit diyafram	290
Rijitlik	11
Rüzgar Yükleri.....	5

S

SAP2000	27, 40, 99
Sargı donatısı	110
Sargı Etkisi.....	223
Sarılma bölgesi.....	229
serbestlik derecesi	9
Serbestlik derecesi.....	9
Sönüm	18
Coulomb.....	19
Çevrimsel	19
kritik	19
Kritik sönüm	21

Viskoz	19
Sönüm oranı	21
Sönümsüz sistem.....	20
Spiral donatı	229, 237
Süneklik	86, 108

Ş

Şekildeğiştirme	215
Şiddet	4

T

Tarafsız eksen	110
Tasarım Eğilme Momentleri	249
Taşıyıcı sistem	70
Taşıyıcı Sistem.....	87
Temel	296

Temel Bağ Kirişi.....	300
Titreşim	
Geçici	25
Kararlı	25
Toplayıcı	284
TS500.....	109

Y

Yapı.....	1
Ağırlık.....	16
Periyot.....	144
Yatak katsayısı	303
YDKT	307

Z

Zorlanmış Titreşim.....	23
-------------------------	----

Örnek Sayfalar