

BÖLÜM I

2. DEPREM ETKİSİNDEKİ BİNALARDA HESAP ESASLARI

| | |
|--|--------|
| 2.1. GİRİŞ | I.2/2 |
| 2.2. GENEL KURALLAR | I.2/2 |
| 2.3. DÜZENLİ – DÜZENSİZ BİNALAR | I.2/2 |
| 2.3.1. Planda düzensizlik Durumları | I.2/2 |
| 2.3.2. Düşeyde düzensizlik durumları | I.2/3 |
| 2.4. DAVRANIŞ SPEKTRUMU – ELASTİK DEPREM YÜKLERİNİN BELİRLENMESİ | I.2/4 |
| 2.1. Yönetmelikte Tanımlanan Elastik İvme Spektrumu | I.2/4 |
| 2.2. Elastik Deprem Yükleri | I.2/5 |
| 2.5. ELASTİK DEPREM YÜKLERİNİN AZALTILMASI | I.2/6 |
| 2.5.1. Süneklik Düzeyleri | I.2/6 |
| 2.5.2. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı | I.2/6 |
| 2.6. HESAP YÖNTEMLERİ | I.2/7 |
| 2.6.1. Hesap Yönteminin Seçimi | I.2/7 |
| 2.6.2. Mod Birleştirme Yöntemi | I.2/7 |
| 2.6.3. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi | I.2/8 |
| 2.6.4. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi | I.2/8 |
| 2.7. GÖRELİ KAT ÖTELEMELERİNİN SINIRLANDIRILMASI, İKİNCİ MERTEBE ETKİLERİ VE DEPREM DERZLERİ | I.2/9 |
| 2.7.1. Etkin Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması | I.2/9 |
| 2.7.2. İkinci Mertebe Etkileri | I.2/10 |
| 2.7.3. Deprem Derzleri | I.2/10 |

2.1. GİRİŞ

Bu bölümde, 2007 Deprem Yönetmeliği'nin 2. Bölümü'nde yer alan hesap esasları (Hesap Kuralları) ile ilgili kısa açıklamalara ve bu kurallarla ilgili temel bilgilere yer verilecektir .

2.2. GENEL KURALLAR

Yönetmelik Bölüm 2'nin amacı, deprem bölgelerinde yeni yapılacak tüm yerinde dökme ve prefabrike betonarme binalar ile çelik binalar ve bina türü yapıların depreme dayanıklı olarak hesaplanmasında esas alınacak *deprem yükleri*'nin ve uygulanacak *hesap kuralları*'nın tanımlanmasıdır.

Yönetmelik 2.2.1'de bina taşıyıcı sistemlerine ilişkin genel ilkelere yer verilmiştir. Bu bağlamda taşıyıcı sistemde yeterli düzeyde *rijitlik*, *kararlılık* ve *dayanım* sağlanması, döşeme sistemlerinin kendi düzlemleri içinde deprem yükü aktarma görevlerini sağlıklı bir biçimde yapmaları için yeterli rijitliğe ve dayanıma sahip olmaları gereği, **Yönetmelik Bölüm 3** ve **Bölüm 4**'te tanımlanan sünek tasarım ilkelerine uyulması, düzensiz bina yapımından olabildiğince kaçınılması gibi önemli hususlar tasarımcı mühendise genel bir çerçevede hatırlatılmaktadır. **Yönetmelik 2.2.2**'de ise deprem yüklerinin niteliklerine ilişkin genel kurallara yer verilmiştir.

2.3. DÜZENLİ – DÜZENSİZ BİNALAR

Deprem Yönetmelikleri'nde esas alınan hesap kuralları, her türlü binaya ve taşıyıcı sisteme uygulanmak üzere, olabildiğince basitleştirilerek tanımlanmış genel kurallardır. Gerçekte, bina taşıyıcı sistemlerinin şiddetli depremlerin etkisi altındaki davranışı, her bakımdan yönetmeliklerde tanımlanan davranıştan çok daha karmaşıktır. Yönetmelikler, ortalama bilgi düzeyindeki mühendise hitap ettiklerinden, karmaşık olguları basitleştirmek ve tasarım kurallarını genellikle standart reçeteler halinde sunmak durumundadırlar.

Yukarıda açıklanan nedenlerle, tüm modern deprem yönetmeliklerinde bina taşıyıcı sistemlerinin olabildiğince *düzenli* olarak yapılması için mühendisler için yol gösterilir ve bazı durumlarda *düzensiz* sistemler için cezai yaptırımlar uygulanır. Düzenli sistemleri tanımlamak zor bir iştir. Bu nedenle yönetmeliklerde birtakım *düzensizlik durumları* tanımlanır ve bu tanımların dışında kalan sistemlerin düzenli olduğu varsayılır.

2.3.1. Planda Düzensizlik Durumları

Yönetmelik Tablo 2.1'de tanımlanan *Planda Düzensizlik Durumları*, A1 Düzensizliği olarak adlandırılan *burulma düzensizliği*, A2 Düzensizliği olarak adlandırılan *döşeme süreksizlikleri* ve A3 Düzensizliği olarak adlandırılan *planda çıkıntılar bulunması* durumudur.

Planda düzensizlik durumları içinde A1 *burulma düzensizliği* ortaya çıkardığı sorunlar bakımından en kritik olanıdır. Bu düzensizlik durumunda taşıyıcı sistem, deprem etkisi altında ötelemeler yanında düşey eksen etrafında burulmalara maruz kalır ve bu nedenle taşıyıcı sistem elemanlarında düzenli olmayan yerdeğıştirmeler ve iç kuvvetler oluşur. **Yönetmelik Tablo 2.1**'e göre, herhangi bir katta *burulma düzensizliği katsayısı* adı

verilen büyüklüğün $\eta_{bi} > 1.2$ olması durumunda taşıyıcı sistemde burulma düzensizliğinin bulunduğu sonucuna varılır. **Yönetmelik 2.6** ve **Tablo 2.6**'ya göre, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde toplam bina yüksekliği $H_N \leq 40$ m olmak kaydı ile $\eta_{bi} < 2.0$ olması durumunda *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ile hesaba izin verilmekte, ancak hesapta ek dış merkezlik etkisi arttırılmaktadır. $\eta_{bi} > 2.0$ olması durumunda ise *Mod Birleştirme Yöntemi* ile hesap yapılması zorunlu olmaktadır. Böylece burulmalı titreşim modlarının etkisi doğrudan gözönüne alınabilmektedir.

A2 ve A3 düzensizlikleri olarak adlandırılan *döşeme süreksizlikleri* ve *planda çıkıntılar bulunması* durumları, kütlelerin yığılması dolayısı ile kat döşemelerinde yoğunlaşan deprem yüklerinin taşıyıcı sistemin düşey elemanlarına, diğer deyişle kolon ve perdelerle sağlıklı bir biçimde aktarılabilmesinde sorunlar çıkarabilirler. **Yönetmelik 2.3.2.2**'ye göre birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiğinin hesapla doğrulanması gerekmektedir.

2.3.2. Düşeyde Düzensizlik Durumları

Yönetmelik Tablo 2.1'de tanımlanan *Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları*, B1 Düzensizliği olarak adlandırılan *Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)*, B2 Düzensizliği olarak adlandırılan *Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)* ve B3 Düzensizliği olarak adlandırılan *Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği*'ne ilişkin düzensizliktir.

Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları içinde, B1 Düzensizliği olarak adlandırılan *Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği*, taşıyıcı sistemin herhangi bir kattaki yatay yük taşıma kapasitesinin (dayanımının) bir üstteki kata göre aniden azaltılmasına ve böylece *zayıf kat* adı verilen durumun meydana gelmesine karşı gelir. **Yönetmelik Tablo 2.1**'e göre *Dayanım Düzensizliği Katsayısı* adı verilen büyüklüğün $\eta_{ci} < 0.8$ olması durumunda, taşıyıcı sistemde komşu katlar arası dayanım düzensizliğinin bulunduğu sonucuna varılır. Binaların deprem davranışı bakımından çok sakıncalı olan bu tür düzensizliğin giderilmesi için, **Yönetmelik 2.3.2.3**'de birtakım koşullar getirilmiştir. $0.60 \leq (\eta_{ci})_{min} < 0.80$ aralığında **Tablo 2.5**'te verilen taşıyıcı sistem davranış katsayısının, $1.25 (\eta_{ci})_{min}$ değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanması öngörülmüştür. Ancak hiçbir zaman $\eta_{ci} < 0.60$ olmayacak, aksi durumda, zayıf katın dayanımı ve rijitliği arttırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

B2 Düzensizliği olarak adlandırılan *Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği* ise, kat yatay rijitliklerinin aşağıya veya yukarıya doğru ani olarak azaltılmasına ve böylece *yumuşak kat* adı verilen durumun meydana gelmesine karşı gelmektedir. **Yönetmelik Tablo 2.1**'e göre *Rijitlik Düzensizliği Katsayısı* adı verilen büyüklüğün $\eta_{ki} > 2.0$ olması durumunda, taşıyıcı sistemde komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinin bulunduğu sonucuna varılır. **Yönetmelik 2.6** ve **Tablo 2.6**'ya göre, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde toplam bina yüksekliği $H_N \leq 40$ m olmak kaydı ile $\eta_{ki} < 2.0$ olması durumunda *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ile hesaba izin verilmekte, aksi durumda *Mod Birleştirme Yöntemi* ile hesap yapılması zorunlu olmaktadır.

B3 Düzensizliği olarak adlandırılan *Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği*'ne ilişkin düzensizlik durumu, deprem yüklerinin düşey doğrultuda güvenli

biçimde aktarılması bakımından sakıncalı ve tehlikeli olan durumları tanımlamaktadır. B3 Düzensizliği ile ilgili koşullar **Yönetmelik 2.3.2.4**'de verilmiştir.

2.4. DAVRANIŞ SPEKTRUMU – ELASTİK DEPREM YÜKLERİNİN BELİRLENMESİ

Davranış spektrumu, binaların depreme karşı tasarımında deprem etkisini tanımlayan giriş bilgisi olarak tipik bir spektral büyüklüğün düşey ekseninde, bina doğal titreşim periyodunun ise yatay ekseninde temsil edildiği bir grafik olarak tanımlanabilir. Davranış spektrumunun teorik tanımı, *Bölüm 1 – 1. Deprem Mühendisliğinde Temel Kavramlar* 1.4'de verilmiştir.

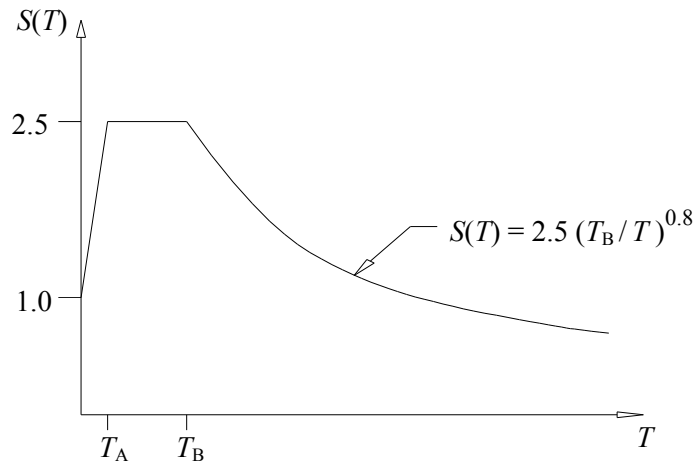
2.1. Yönetmelikte Tanımlanan Elastik İvme Spektrumu

Yönetmeliklerde öncelikle maksimum elastik deprem yüklerinin tanımlanması söz konusu olduğundan, genellikle düşey ekseninde spektral ivmenin temsil edildiği ivme spektrumunun tanımı yapılır. Bu bağlamda %5 sönüm oranı için spektral ivme **Yönetmelik 2.4**'te **Denk.(2.1)** ile verilmiştir:

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad \text{Yönetmelik Denk.(2.1)}$$

$$S_{ae}(T) = A(T) g$$

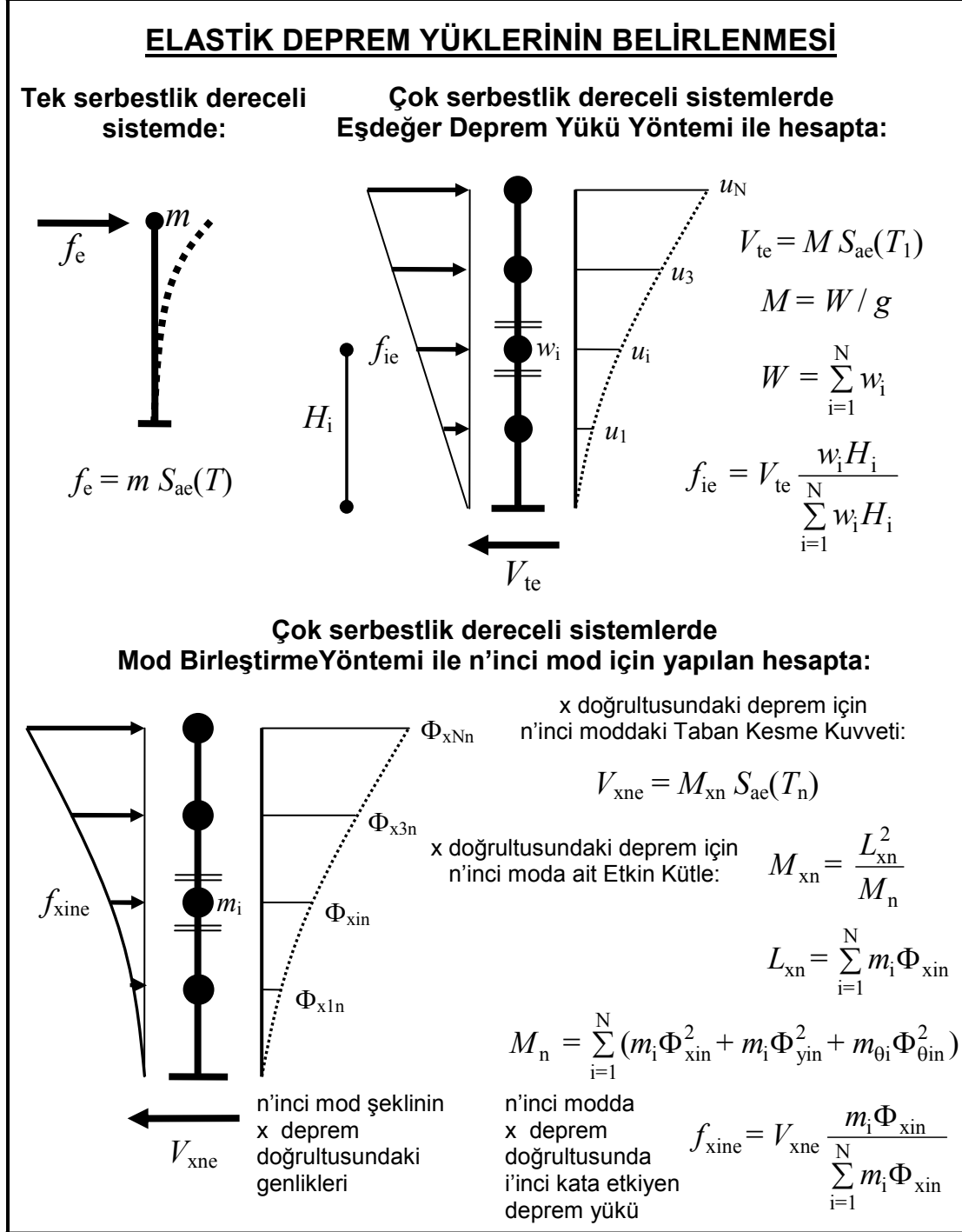
Burada $S_{ae}(T)$, *doğal titreşim periyodu T 'ye bağlı olarak spektral ivme*'yi, g yerçekimi ivmesini (9.81 m/s^2), $A(T)$ ise *Spektral İvme Katsayısı* olarak adlandırılan boyutsuz büyüklüğü göstermektedir. Bu katsayı da üç büyüklüğün çarpımı olarak tanımlanır. Bunlardan A_0 deprem bölgelerine göre değişen ve **Yönetmelik 2.4.1**'de tanımlanan boyutsuz *Etkin Yer İvmesi Katsayısı*'nı, I **Yönetmelik 2.4.1**'de tanımlanan *Bina Önem Katsayısı*'nı, $S(T)$ ise *doğal titreşim periyodu T 'ye bağlı olarak tanımlanan ve aşağıdaki Yönetmelik Şekil 2.5'te gösterilen boyutsuz Spektrum Katsayısı*'nı göstermektedir. Yatay eksen üzerinde görülen T_A ve T_B karakteristik periyodları, **Yönetmelik Tablo 6.2**'de tanımlanan *zemin sınıfları*'na bağlı olarak **Yönetmelik Tablo 2.4**'te verilen *Spektrum Karakteristik Periyodları*'nı göstermektedir. Zemin zayıfladıkça, artan T_B karakteristik periyodunun fonksiyonu olarak spektrum katsayısının, dolayısı ile spektral ivmenin değerleri $T > T_B$ için giderek artan değerler almaktadır.



Yönetmelik Şekil 2.5: Spektrum Katsayısı $S(T)$ 'nin periyod T 'ye göre değişimi

2.2. Elastik Deprem Yükleri

Spektral ivmeden yararlanılarak, tek ve çok serbestlik dereceli sistemlerde elastik deprem yüklerinin nasıl belirlenebileceği aşağıda Şekil 2.1’de özetlenmiştir. Mod Birleştirme Yöntemi ile hesapta kullanılan *etkin kütle*’nin tanımına ilişkin ifadeler Yönetmelik 2.8.3’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Tek serbestlik dereceli ve çok serbestlik dereceli sistemlerde elastik deprem yüklerinin belirlenmesi (Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi’nde tepeye etkiyen fiktif *ek eşdeğer deprem yükü* gösterilmemiştir.)

2.5. ELASTİK DEPREM YÜKLERİNİN AZALTILMASI

2.5.1. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

Dayanım'a Göre Tasarım Yaklaşımı kapsamında *Bölüm 1–1. Deprem Mühendisliğinde Temel Kavramlar* 1.6 ve 1.7'de açıklandığı üzere, deprem etkisi altında taşıyıcı sistemde meydana gelen doğrusal olmayan (nonlinear) yapısal davranışı dikkate almak amacı ile elastik deprem yükleri, taşıyıcı sistemin türüne ve süneklik düzeyine bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile tanımlanan *Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı* $R_a(T)$ 'ye bölünerek azaltılırlar.

$$\begin{aligned} R_a(T) &= 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\ R_a(T) &= R & (T_A < T) \end{aligned} \quad \text{Yönetmelik Denk.(2.3)}$$

Burada T doğal titreşim periyodunu, T_A **Yönetmelik Tablo 2.4**'te tanımlanan *Spektrum Karakteristik Periyodu*'nu, R ise **Yönetmelik Tablo 2.5**'te taşıyıcı sistemin türüne ve süneklik düzeyine bağlı olarak tanımlanan *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı*'nı göstermektedir. *Bölüm 1–1. Deprem Mühendisliğinde Temel Kavramlar* 1.7.2'de belirtildiği üzere *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı* R , *Süneklik (kapasite) Katsayısı* μ ile *Dayanım Fazlalığı Katsayısı* D 'nin çarpımına karşı gelmektedir ($R = D\mu$). Yukarıda verilen **Yönetmelik Denk.(2.3)**'deki birinci bağıntıda *Dayanım Fazlalığı Katsayısı* konservatif bir yaklaşımla $D = 1.5$ olarak alınmıştır.

2.5.2. Süneklik Düzeyleri

Yönetmelik 2.5'te süneklik düzeyi birbirinden farklı iki tür taşıyıcı sistemler tanımlanmıştır: *Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler* ve *Süneklik Düzeyi Normal Taşıyıcı Sistemler*. Bu sistemlere ilişkin tanımlar ve uyulması gerekli koşullar, betonarme binalar için **Yönetmelik Bölüm 3**'te, çelik binalar için ise **Yönetmelik Bölüm 4**'te verilmiştir. *Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler*'de özellikle *Bölüm 1–1. Deprem Mühendisliğinde Temel Kavramlar* 1.7.3'te betonarme sistemler için, *Bölüm 1–4. Deprem Etkisindeki Çelik Binalar* 4.5'te ise çelik binalar için açıklanan *Kapasite Tasarımı İlkeleri*'nin uygulanması zorunludur.

Özellikle deprem etkisinin daha büyük olduğu 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde *süneklik düzeyi yüksek* taşıyıcı sistemlerin kullanılması, depreme dayanıklı tasarımın doğal gereğidir. Bu bağlamda **Yönetmelik 2.5.1**'de bazı binalarda bu uygulama zorunlu hale getirilmiştir. Bu zorunluluk dışında, süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemlerin mimari vb nedenlerle uygulanmadığı durumlarda ve/veya deprem etkisinin büyük olmadığı 3. ve 4. derece deprem bölgelerinde *süneklik düzeyi normal* taşıyıcı sistemlerin kullanılmasına da izin verilmektedir. Ancak bu durumda bile, **Yönetmelik 2.5.1**'de yine de birtakım kısıtlamalar öngörülmüştür.

Bina taşıyıcı sistemlerinde *süneklik düzeyi yüksek* betonarme veya çelik çaprazlı perde kullanımını teşvik etmek amacı ile, süneklik düzeyi normal çerçevelerin bu türlü perdelerle birlikte kullanıldığı *süneklik düzeyi bakımından karma sistemler*'e de, **Yönetmelik 2.5.4**'te verilen koşullara uyulmak kaydı ile, izin verilmektedir.

2.6. HESAP YÖNTEMLERİ

2007 Deprem Yönetmeliği'nde esas olarak iki hesap yöntemi tanımlanmıştır. Bunlar, hiçbir kısıtlama olmaksızın tüm taşıyıcı sistemlere uygulanabilen *Mod Birleştirme Yöntemi* ile bu yöntemin özel hali olarak nitelendirilebilecek olan ve bazı kısıtlamalarla belirli tür sistemlere uygulanabilen *Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi*'dir. Bunların dışında çok daha seyrek olarak, özel durumlarda ve özellikle taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan (nonlinear) davranışını gözönüne almak üzere kullanılan *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi* de Yönetmelik'te yer almaktadır.

2.6.1. Hesap Yönteminin Seçimi

Deprem hesabında uygulanacak hesap yönteminin seçim kriterleri **Yönetmelik 2.6'**da belirtilmiştir. Buna göre, *Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri*, yönetmelik kapsamındaki tüm binalarda kullanılabilir.

Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi'nin kullanımı ise belirli kısıtlamalarla mümkündür. Bu bağlamda 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde A1 türü burulma düzensizliği mevcut olsa bile, birinci koşul olarak her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ikinci koşul olarak B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalarda, toplam bina yüksekliği $H_N \leq 40$ m olmak kaydı ile, *Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi* kullanılabilir. İkinci koşulun sağlanmaması durumunda ise $H_N \leq 25$ m'ye kadar aynı yöntemin kullanılmasına izin verilmektedir. Öte yandan 3. ve 4. derece deprem bölgelerinde *Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi* toplam bina yüksekliği $H_N \leq 40$ m olan tüm binalarda kullanılabilir.

2.6.2. Mod Birleştirme Yöntemi

Hiçbir kısıtlama olmaksızın tüm taşıyıcı sistemlere uygulanabilen *Mod Birleştirme Yöntemi*'nde maksimum iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir. Yöntem, *modların süperpozisyonu* tekniği ile birlikte her titreşim modunda maksimum davranış büyüklüklerini veren *davranış spektrumu*'nun birlikte kullanılması esasına dayanır.

Mod Birleştirme Yöntemi'nde, tipik bir n'inci titreşim modu için *azaltılmış spektral ivme Yönetmelik Denk.(2.13)*'e göre tanımlanır:

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad \text{Yönetmelik Denk. (2.13)}$$

Buna göre, sadece x doğrultusundaki depremin etkisi altında i'inci katta x ve y doğrultularında etkiyen n'inci moda ait azaltılmış deprem yükleri f_{xinR} ve f_{yinR} ile kat kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki azaltılmış deprem burulma momenti $f_{\theta inR}$ aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} f_{xinR} &= m_i \Phi_{xin} \Gamma_{xn} S_{aR}(T_n) \\ f_{yinR} &= m_i \Phi_{yin} \Gamma_{xn} S_{aR}(T_n) \\ f_{\theta inR} &= m_{\theta i} \Phi_{\theta in} \Gamma_{xn} S_{aR}(T_n) \end{aligned} \quad (2.1)$$

Burada m_i ve m_{0i} i'inci katın kütesini ve kütle eylemsizlik momentini; Φ_{xin} , Φ_{yin} , Φ_{0in} i'inci katta n'inci mod şeklinin sırası ile x, y doğrultularındaki ve düşey eksen etrafındaki dönmeye ilişkin genliklerini, Γ_{xn} x doğrultusundaki deprem için n'inci moda ait katkı çarpanını ve $S_{aR}(T_n)$ n'inci titreşim modu için *azaltılmış spektral* ivme'yi göstermektedir. Alternatif olarak Şekil 2.1'de sadece x doğrultusu için gösterildiği gibi, her bir titreşim modu için hesaplanan *elastik deprem yükleri*, o modun doğal titreşim periyoduna bağlı olarak tanımlanan *Deprem Yükü Azaltma Katsayısı* $R_a(T)$ 'ye bölünür.

Azaltılmış deprem yükleri, döşemelerin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit diyafram olarak her katta kütle merkezine ve ayrıca *ek dışmerkezlik etkisi*'nin hesaba katılabilmesi amacı ile, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara etki ettirilirler. Bu azaltılmış yükler altında yapılan analiz sonucunda ilgili titreşim moduna ait tüm maksimum yerdeğiştirme ve iç kuvvet büyüklükleri bulunur.

Hesaba katılması gereken *yeterli titreşim modu sayısı*, gözönüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan *etkin kütle*'lerin (bkz. Şekil 2.1) toplamının hiçbir zaman bina toplam kütesinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir (Bkz. **Yönetmelik 2.8.3**).

Her titreşim modu için hesaplanan ve eşzamanlı olmayan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi için *Karelerin Toplamının Kare Kökü Kuralı* veya daha genel bir kural olan *Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı* uygulanabilir (Bkz. **Yönetmelik 2.8.4**). Bütün durumlarda ikinci kuralın kullanılması, sonuçların duyarlılığı bakımından tercih edilmelidir. Esasen birinci kural, ikincisinin özel haline karşı gelmektedir.

Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen sonuçların mertebe bakımından doğruluğunun sağlanması bakımından, **Yönetmelik 2.8.5**'e göre bu yöntemle elde edilen taban kesme kuvveti, Eşdeğer Deprem Yöntemi ile kolayca hesaplanabilen taban kesme kuvvetinin (sistemdeki düzensizliklerin durumuna göre) en az %80 veya %90'ına eşit olacak şekilde bütün sonuçların ölçeklendirilmesi gerekmektedir.

Taşıyıcı sisteme ayrı ayrı etki ettirilen x ve y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının kendi asal eksen doğrultularında elde edilen iç kuvvetler için **Yönetmelik 2.7.5**'te *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* için verilen *doğrultu birleştirme kuralı* aynen uygulanacaktır.

2.6.3. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, bir anlamda *Mod Birleştirme Yöntemi*'nin basitleştirilmiş, yaklaşık bir özel hali olarak değerlendirilebilir. Bu yöntemde sadece deprem doğrultusundaki hakim titreşim modu hesapta gözönüne alınmakta, bu moda ait mod şekli ise doğrusal (ters üçgen) şeklinde basitleştirilmektedir (bkz. Şekil 2.1). Ancak yüksek modların etkilerinin yaklaşık olarak gözönüne alınmasını sağlamak üzere, **Yönetmelik Denk.(2.8)** ile binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen fiktif bir *ek eşdeğer deprem yükü* tanımlanmıştır.

Hakim titreşim modunda titreşim katılan *etkin kütle*'nin bina toplam kütesinden daha küçük olduğu bilinmesine karşın, *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi*'nde taban kesme

kuvvetinin **Yönetmelik Denk.(2.4)**'e göre hesabında binanın toplam kütlesi (veya ona karşı gelen toplam ağırlığı olan W) gözönüne alınmaktadır. Aynı denklem ile azaltılmış taban kesme kuvvetinin minimum değeri $0.10 A_0 I W$ olarak tanımlanmıştır.

Eşdeğer deprem yükleri her bir katta kat kütle merkezine ve *ek dışmerkezlik etkisi*'nin hesaba katılabilmesi amacı ile, gözönüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun $+\%5$ 'i ve $-\%5$ 'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara uygulanmaktadır. Ayrıca burulma düzensizliği olan binalarda, burulma etkisinin yaklaşık biçimde gözönüne alınmasını sağlamak üzere her bir kata uygulanan $\pm\%5$ ek dışmerkezlik, her iki deprem doğrultusu için **Yönetmelik Denk.(2.10)**'da verilen D_i katsayısı ile çarpılarak büyütülmektedir.

Yöntemde gözönüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim moduna ait doğal titreşim periyodunun hesabı için **Yönetmelik Denk.(2.8)**'de verilen ve ilgili literatürde *Rayleigh Oranı* olarak adlandırılan bağıntıdan yararlanılmaktadır. Teorik bir temele dayanan bu bağıntı, hakim titreşim periyodunun doğru ve yeterince hassas bir biçimde hesabı için yeterlidir. Bu nedenle, 1997 Yönetmeliği'nde yer alan amprik periyod formüllerine 2007 Yönetmeliği'nde yer verilmemiştir.

Taşıyıcı sisteme ayrı ayrı etki ettirilen x ve y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının kendi asal eksen doğrultularında elde edilen iç kuvvetler için **Yönetmelik 2.7.5**'te tanımlanan *doğrultu birleştirme kuralı*'nın bütün taşıyıcı sistemlerde uygulanması gerekmektedir.

2.6.4. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi, binaların doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan (nonlinear) deprem hesabı için kullanılabilecek en kesin ve ileri hesap yöntemidir. Ancak, özel deneyim ve yazılım gereksinimleri nedeni ile uygulamada nadiren kullanılır. Bu yöntemde, *yapay* yollarla üretilen, daha önce *kaydedilmiş* veya *benzeştirilmiş* deprem yer hareketleri kullanılabilir. Hesapta üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınır.

2.7. GÖRELİ KAT ÖTELEMELERİNİN SINIRLANDIRILMASI, İKİNCİ MERTEBE ETKİLERİ VE DEPREM DERZLERİ

2.7.1. Etkin Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Bölüm 1-1. Deprem Mühendisliğinde Temel Kavramlar 1.6.'da açıklanan *Eşit Yerdeğiştirme Kuralı* uyarınca gerçek (nonlinear) davranışa ilişkin yerdeğiştirmelerin ve bunlara bağlı olarak *Etkin Görelî Kat Ötelemeleri*'nin hesabı için, azaltılmış deprem yüklerine göre elde edilen yerdeğiştirmelerin **Yönetmelik 2.10.1**'e göre bu kez *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı* R ile çarpılarak arttırılmaları gerekmektedir.

Her katta, her bir düşey taşıyıcı eleman (kolon veya perde) için bu şekilde hesaplanan *etkin görelî kat ötelemeleri*'nin ilgili kat yüksekliğine oranının 0.02 değerini aşmaması gerekmektedir. Bu koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği arttırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

2.7.2. İkinci Mertebe Etkileri

Eksenel kuvvetlerin şekil değiştirmiş sistem üzerinde meydana getirdikleri ikincil etkileri dikkate alan ve taşıyıcı sistemde *geometrik bakımdan doğrusal olmayan (nonlinear)* davranışa neden olan *ikinci mertebe etkileri*, Yönetmelik'te her bir kat için **Yönetmelik Denk.(2.20)** ile hesaplanan ve İkinci Mertebe Gösterge Değeri (θ_i) olarak adlandırılan bir büyüklük aracılığı ile yaklaşık olarak irdelenmektedir. Bu büyüklük aslında eksenel kuvvetlerin oluşturduğu ikinci mertebe momentlerinin kat düzeyindeki toplamının birinci mertebe momentlerinin toplamına oranını göstermektedir. $\theta_i \leq 0.12$ olması durumunda, ikinci mertebe etkilerinin yürürlükteki betonarme ve çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilmesi öngörülmektedir. Aksi durumda taşıyıcı sistemin rijitliğinin artırılarak hesabın yinelenmesi gerekmektedir.

2.7.3. Deprem Derzleri

Bitişik nizamdaki komşu binaların birbirleri ile çarpışması, depremde önemli hasar nedenlerinden biridir. Özellikle bitişik bir bina dizisinin uçlarında (köşelerde) yer alan binalar, eğer komşu bina ile aralarında yeteri kadar derz boşlukları bırakılmamış ise, tek taraftan gelen çarpma etkisi ile hasar görebilirler, hatta yıkılabilirler. Komşu binaların kat döşemelerinin, bazı katlarda olsa bile, farklı seviyelerde olmaları durumunda hasar ya da göçme olasılığı önemli ölçüde artmaktadır.

Çarpışmaya bağlı hasar veya göçme tehlikesinin önlenmesi için **Yönetmelik 2.10.3**'de bir kural getirilmiştir. Buna göre, komşu blok veya binalar arasında bırakılacak derz boşluğu, komşu blok veya binalar için hesaplanan *azaltılmış* yerdeğiştirmelerin karelerinin toplamının karekökünün, kat döşemelerinin bütün katlarda aynı seviyede olmaları durumunda $R/4$ ile, bazı katlarda olsa bile farklı seviyelerde olmaları durumunda ise $R/2$ ile çarpımından daha az olmayacaktır.

Bu hesaptan bağımsız olarak, bırakılacak minimum derz boşluğunun 6 m yüksekliğe kadar en az 30 mm olması ve bu değere 6 m'den sonraki her 3 m'lik yükseklik için en az 10 mm eklenmesi öngörülmektedir.