

BÖLÜM 16 – DEPREM ETKİSİ ALTINDA TEMEL ZEMİNİ VE TEMELLERİN TASARIMI İÇİN ÖZEL KURALLAR

16.0. SİMGELER

A_c	= Temel altında basınç gerilmelerinin oluştuğu toplam alan [m ²]
BYS	= Bina Yükseklik Sınıfı
B'	= Etkin temel genişliği
b	= Dilim genişliği [m]
b_c, b_q, b_γ	= Temel taban eğimi düzeltme katsayıları
C_B	= Sondaj delgi çapı düzeltme katsayısı
C_E	= Enerji oranı düzeltme katsayısı
C_M	= Tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme katsayısı
C_N	= Kohezyonsuz zeminlerde uygulanan jeolojik gerilme (derinlik) düzeltme katsayısı
CPT	= Koni Penetrasyon Deneyi
C_R	= Tij boyu düzeltme katsayısı
$CRR_{M7.5}$	= Moment büyüklüğü 7.5 olan depreme karşı gelen çevrimsel dayanım oranı
C_S	= Numune alıcı tipi düzeltme katsayısı
c	= Zeminin kohezyon dayanımı [kPa]
c'	= Zeminin efektif (drenajlı) kohezyon dayanımı [kPa]
CU	= Konsolidasyonlu-Drenajlı
c_u	= Drenajsız kayma dayanımı [kPa]
$(c_u)_{30}$	= Üst 30 metredeki ortalama drenajsız kayma dayanımı [kPa]
$c_{u,i}$	= i'inci alt tabakanın drenajsız kayma dayanımı [kPa]
D	= Kazık çapı [mm]
DTS	= Deprem Tasarım Sınıfı
d_c, d_q, d_γ	= Temel derinliği düzeltme katsayıları
d_{su}	= Su altındaki duvar yüksekliği [m]
E_{dev}	= Dayanma yapısını devrilmeye zorlayan etkiler toplamı
E_t	= Statik ve depremi içeren yükleme durumlarına ilişkin tasarım etkileri
F_H	= Şeve etkileyen yatay eylemsizlik kuvveti [kN]
F_V	= Şeve etkileyen düşey eylemsizlik kuvveti [kN]
G_{maks}	= Maksimum kayma modülü [MPa]
g_c, g_q, g_γ	= Zemin eğimi düzeltme katsayıları
H	= Dayanma yapısı toplam yüksekliği [m]

H_b	= Bodrum perdesinin toplam yüksekliği [m]
H_c	= Dilim tabanının orta noktasından dilim merkezine olan düşey uzaklığı [m]
h_i	= i'inci alt tabaka kalınlığı [m]
i_c, i_q, i_γ	= Yükleme eğikliği düzeltme katsayıları
K	= Tipik toplam (statik+dinamik) toprak basıncı katsayısı
K_a	= Toplam (statik+dinamik) aktif toprak basıncı katsayısı
K_p	= Toplam (statik+dinamik) pasif toprak basıncı katsayısı
k_h	= Statik-eşdeğer yatay deprem katsayısı
k_v	= Statik-eşdeğer düşey deprem katsayısı
M_w	= Tasarım depreminin moment büyüklüğü
N	= Standart penetrasyon deneyi (SPT) darbe sayısı
N_b	= Temel bağ kirişi tasarım aksenal kuvveti [kN]
N_c, N_q, N_γ	= Taşıma gücü katsayıları
N_k	= Temel bağ kirişinin bağlandığı kolon veya perdedeki en büyük aksenal kuvvet [kN]
$(N_{60})_{30}$	= Üst 30 metredeki ortalama standart penetrasyon darbe sayısı
$N_{60,i}$	= i'inci alt tabakanın standart penetrasyon darbe sayısı
$N_{1,60}$	= Düzeltilmiş SPT vuruş sayısı
$N_{1,60f}$	= İnce dane içeriğine göre düzeltilmiş SPT vuruş sayısı
PI	= Plastisite indisi
P_t	= Dayanma yapısına etkileyen toplam (statik ve dinamik) toprak basıncının bileşkesi
P_{su}	= Bileşke statik su basıncı [kN/m ²]
P_{tv}	= Temel tabanına etkileyen tasarım düşey basınç kuvveti, kazığa etkileyen düşey tasarım kuvveti [kN]
P_{ty}	= Kazığa etkileyen yanal tasarım kuvveti [kN]
p_{su}	= Statik su basıncı [kN/m ²]
Q_{ks}	= Kazık karakteristik çevre sürtünmesi direnci [kN]
Q_{ku}	= Kazık karakteristik uç direnci [kN]
Q_{ktv}	= Kazık karakteristik toplam taşıma gücü [kN]
Q_s	= Kazık çevre sürtünmesi direnci [kN]
Q_{tv}	= Kazığın düşey tasarım dayanımı [kN]
Q_{ty}	= Kazığın yanal tasarım dayanımı [kN]
Q_u	= Kazık uç direnci [kN]
q	= Ek yük (sürşarj) [kN/m ²]

q_k	= Temel taşıma gücü karakteristik dayanımı [kN/m ²]
q_o	= Temel seviyesinde etkiyen düşey yük, kesme ve moment etkilerinin oluşturduğu temel taban basıncı [kN/m ²]
q_t	= Temel taşıma gücü tasarım dayanımı [kN/m ²]
R_d	= Dairesel göçme yüzeyinin yarıçapı [m]
R_{dev}	= Dayanma yapısında devrilmeye karşı koyan etkiler ve dirençler toplamı
R_k	= Karakteristik dayanım [kN/m ²]
R_{pk}	= Karakteristik pasif direnç [kN/m ²]
R_{pt}	= Tasarım pasif direnci [kN/m ²]
R_t	= Tasarım dayanımı [kN/m ²]
R_{th}	= Tasarım sürtünme direnci [kN/m ²]
r	= Statik-eşdeğer deprem azaltma katsayısı
S_{DS}	= Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
SPT	= Standart Penetrasyon Deneyi
S_T	= Topoğrafik büyütme katsayısı
s	= Kazık sıraları ara uzaklığının kazık çapına oranı
s_c, s_q, s_γ	= Temel şekli düzeltme katsayıları
t	= Çelik boru kazık et kalınlığı [mm]
UU	= Konsolidasyonsuz – Drenajsız
u	= Dilim tabanında etkiyen su basıncı [kN/m ²]
V_S	= Kayma dalgası hızı [m/s]
$(V_S)_{30}$	= Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı [m/s]
$V_{S,i}$	= i'inci alt tabakanın kayma dalgası hızı [m/s]
V_{th}	= Temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvveti [kN]
w	= Doğal su içeriği
W	= Kayan şev kütlelerinin ağırlığı [kN]
W_s	= Dilim ağırlığı [kN]
z	= Su yüzeyinden aşağıya doğru ölçülen yükseklik [m]
\bar{z}	= Statik-eşdeğer dinamik su basıncının bileşkesinin su yüzeyinden ölçülen derinliği
α	= Dilim tabanının yatayla yaptığı açı [derece]
β	= Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı [derece]
β_G	= Kazıklarda grup etkisinin yaklaşık olarak gözönüne alınması için ampirik azaltma katsayısı
ΔP_{su}	= Bileşke dinamik su basıncı [kN/m ²]

Δp	= Depremden meydana gelen ek zemin basıncı [kN/m ²]
$\Delta p_{su}(z)$	= Statik-eşdeğer dinamik su basıncının su derinliği boyunca değişimi [kN/m ²]
δ	= Temel tabanı ile zemin arasındaki sürtünme açısı [derece]
δ_d	= Zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı [derece]
ϕ'	= Zeminin efektif kayma direnci açısı [derece]
ϕ'_d	= Zeminin tasarım kayma direnci açısı [derece]
γ	= Zeminin tabii birim hacim ağırlığı [kN/m ³]
γ_d	= Zeminin suya doymun birim hacim ağırlığı [kN/m ³]
γ_{su}	= Suyun birim hacim ağırlığı [kN/m ³]
γ^*	= Zeminin tipik birim hacim ağırlığı [kN/m ³]
γ_R	= Dayanım katsayısı
γ_{Rc}	= Kohezyon direnci için dayanım katsayısı
γ_{Rdev}	= Dayanma yapısında devrilmeye karşı tasarım güvenlik katsayısı
γ_{Rh}	= Sürtünme direnci dayanım katsayısı
γ_{Rk}	= Kaymaya karşı tasarım güvenlik katsayısı
γ_{Rp}	= Pasif direnç dayanım katsayısı
γ_{Rsb}	= Kazık çevre sürtünme direnci (basınç) dayanım katsayısı
γ_{Rsc}	= Kazık çevre sürtünme direnci (çekme) dayanım katsayısı
γ_{Rt}	= Kazık toplam taşıma gücü (basınç) dayanım katsayısı
γ_{Ru}	= Kazık uç direnci dayanım katsayısı
γ_{Rv}	= Temel taşıma gücü dayanım katsayısı
$\gamma_{R\phi}$	= Sürtünme direnci için dayanım katsayısı
ψ	= Duvar arka yüzeyinin duvar tabanı ile yaptığı açı [derece]
ρ	= Zeminin birim hacim kütlesi [t/m ³]
$\tau_{cy,u}$	= Drenajsız kayma mukavemeti [kPa]
τ_{deprem}	= Zeminde depremden oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesi [kPa]
τ_R	= Zeminin sıvılaşma direnci [kPa]
θ	= Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı [rad]

16.1. KAPSAM

16.1.1 – Deprem etkisi altında tasarımı yapılacak yeni binalar ile deprem performansı değerlendirilecek veya güçlendirilecek mevcut binalar için gerekli zemin araştırmalarının kapsamı, zemin koşullarının, sınıf ve parametrelerinin belirlenmesi, bina temellerinin ve çevre bodrum perdelerinin deprem etkisi altında tasarımı, yapı-zemin etkileşimi analizleri ve zemin

sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi, bu konulardaki yönetmelik ve standartlarla birlikte öncelikle bu Bölüm’de verilen kural ve koşullara uyularak yapılacaktır.

16.1.2 – Zemin dayanma (istinat) yapılarının ve şevlerin deprem etkisi altında tasarım ilkeleri de bu Bölüm’de verilmiştir.

16.1.3 – Gerekli olması durumunda uygulanmak üzere, arazi zemin özelliklerinin yerinde iyileştirilmesine ilişkin genel ilkeler **EK 16D**’de verilmiştir.

16.2. ZEMİN KOŞULLARININ TANIMLANMASI

İnşaat alanı zemin koşullarının tanımlanması, yapısal tasarım için gerekli geoteknik parametrelerin belirlenmesi ve raporlanması için yapılacak çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

16.2.1. Zemin Araştırmaları

16.2.1.1 – Zemin koşullarının belirlenmesi için, arazi ve laboratuvar çalışmalarını içeren zemin araştırmaları yapılacaktır. Zemin araştırmalarının kapsamı, yapı ve bileşenlerinin özellikleri, jeolojik yapı ve zemin birimlerinin özellikleri, civar yapıların durumu, yeraltı suyu durumu ile bölgesel deprem özellikleri ve çevre koşulları dikkate alınarak planlanacak, yeterli sayı ve derinlikte sondaj kuyuları ve/veya muayene çukurları açılacak, gerekli arazi deneyleri yapılacak, örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınarak laboratuvar deneyleri uygulanacaktır.

16.2.1.2 – Zemin araştırmaları **EK 16A**’da tanımlanan kurallara göre yapılacaktır.

16.2.2. Zemin ve Temel Etüd Raporları

Zemin ve Temel Etüd Raporları, zemin araştırmaları sonuçlarının sunulacağı *Veri Raporu* ve tasarıma yönelik olarak hazırlanacak *Geoteknik Rapor*’dan oluşacaktır.

16.2.2.1 – *Veri Raporu*, arazi ve laboratuvarında gerçekleştirilmiş zemin araştırmalarında elde edilen verilerin sunulduğu rapordur. Bu rapor kapsamında, bölgenin jeolojik yapısı ve proje sahasının jeolojik özellikleri, araştırma sondajları ve muayene çukuru logları, zemin kesitleri ve yeraltı su düzeyi, arazi ve laboratuvar deneyleri sonuçları, jeofizik araştırma bulguları vb. zemin araştırma sonuçları sunulacaktır.

16.2.2.2 – *Geoteknik Rapor*, statik, dinamik ve deprem etkileri göz önüne alınarak, arazi zemin modelinin oluşturulduğu, zemin tabakaları için geoteknik tasarım parametrelerinin verildiği, temel tipleri seçimine ilişkin seçeneklerin irdelendiği, mühendislik analizleri ve değerlendirmeler ile temel tasarımına ilişkin önerilerin sunulduğu rapordur. Geoteknik raporun içeriğine ilişkin açıklamalar aşağıda verilmiştir:

(a) Veri raporunda sunulan arazi zemin araştırmaları bulguları değerlendirilerek, arazi zemin modeli oluşturulacak, yapı yükleri ve deprem etkisi altında zemin tabakalarının davranışı irdelenecek, yapının ve temellerinin tasarımına ilişkin geoteknik tasarım parametreleri verilecektir.

(b) Yapı özellikleri ve beklenen performans düzeyi ile uyumlu temel sistemi seçilecek, taşıma gücü ile kısa ve uzun süreli zemin yerdeğiştirme-oturma değerleri verilecek, bu kapsamda zeminlerin şişme davranışı, net temel basınçları ve olası kaldırma kuvvetleri dikkate alınacaktır.

(c) Zemin iyileştirme ve/veya güçlendirmesine gereksinim duyulması halinde, olası yöntemler irdelenecek, önerilen yöntemle ilişkin uygulama esasları tanımlanacak, iyileştirilmiş zemin için hedeflenen zemin özellikleri, temellerin taşıma gücü ve yerdeğiştirme değerleri verilecektir.

(d) Geçici veya kalıcı temel kazılarında uygulanacak iksa sistemlerinin tasarımı için gereken zemin parametreleri verilecektir. Şev duraysızlığı tehlikesi olan eğimli arazilerde inşa edilecek yapılar için, kazı ve inşa adımları dikkate alınarak, şev duraylılık analizleri yapılacak ve kaymaya karşı alınacak uygun önlemler belirlenecektir.

16.3. ZEMİN PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Deprem etkisi altında bina temellerinin tasarımı, yerel zemin sınıflarının tanımlanması ve istinat yapıları ile şevlerin analizlerinde kullanılacak zemin parametrelerinin belirlenmesinde aşağıdaki esaslara uyulacaktır.

16.3.1 – Değerlendirmelerde yüklenme hızı ve saha zeminlerinin geçirimsizlik koşullarına göre belirlenecek drenajlı veya drenajsız koşullarla uyumlu mukavemet parametreleri kullanılacaktır.

16.3.2 – Kohezyonlu zeminlerde, deprem etkisinde oluşabilecek mukavemet kayıpları/yumuşama gözönüne alınarak, toplam gerilme analizlerinde drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değeri kullanılacaktır.

16.3.3 – Kohezyonsuz zeminlerde, deprem etkisinde oluşacak boşluk suyu basıncı artışları ve içsel sürtünme açısı değeri azalışları dikkate alınarak, toplam gerilme analizlerinde drenajsız kayma mukavemeti ($\tau_{cy,u}$) değeri kullanılacaktır.

16.3.4 – Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için geçerli olmak üzere, deprem etkileri altında boşluk suyu basınçlarının belirlenebilmesi durumunda, efektif gerilme parametreleri kullanılarak analizler yapılabilecektir.

16.3.5 – Kayalar için en az tek eksenli basınç mukavemeti q_u , jeolojik mukavemet indisi (GSI) değerleri vb. kaya kütle sınıflandırma parametreleri kullanılarak uygun mukavemet parametreleri belirlenecektir.

16.3.6 – Analizlerde kullanılacak maksimum kayma modülü, G_{maks} **Denk.(16.1)**'den elde edilecektir.

$$G_{maks} = \rho V_S^2 \quad (16.1)$$

Kayma dalgası hızının (V_S) jeofizik yöntemlerle belirlenmesi esastır. Bununla birlikte, standart penetrasyon deneyi (SPT), koni penetrasyon deneyi (CPT) gibi arazi deney sonuçları ve genel kabul gören bağıntılar kullanılarak dolaylı yoldan da hesaplanabilir.

16.3.7 – 16.4'e göre yerel zemin sınıflarının belirlenmesinde kayma dalgası hızı V_S , SPT darbe sayısı N ve kohezyonlu zeminler için c_u değeri kullanılabilir.

16.3.8 – Sahaya özel zemin davranış analizleri ve dinamik zemin-yapı etkileşimi analizlerinde, deprem dalgalarının zemin profili içinde yayılımı sırasında oluşan *kayma birim*

şekildeğiştirmesi ile uyumlu kayma modülü ve eşdeğer histeretik sönüm katsayısı kullanılacaktır (Bkz.16.5.2).

16.4. YEREL ZEMİN SINIFLARININ BELİRLENMESİ

16.4.1 – Bölüm 2’ye göre deprem tasarım spektrumlarının tanımlanmasında esas alınacak yerel zemin sınıfları, bu Bölüm’e göre yapılacak zemin araştırmaları ile belirlenecektir.

(a) *Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler*, ZF sınıfı zeminler olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıftaki zeminlere ilişkin tanımlar **Tablo 16.1**’in son satırında verilmiştir.

(b) ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE olarak tanımlanan diğer yerel zemin sınıflarının belirlenmesi için, bu sınıflara ilişkin özellikler **Tablo 16.1**’in diğer satırlarında verilmiştir.

Tablo 16.1 – Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, 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 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) 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.			

16.4.2 – Tablo 16.1’de verilen zemin parametreleri, zemin profilinin temel veya kazık başlığı alt kotundan itibaren aşağıya doğru en üst 30 m kalınlığındaki kısmı için belirlenecektir. Birbirinden belirgin şekilde farklı zemin ve kaya tabakalarını içeren zemin profillerinde üst 30 metredeki tabakalar, yeteri kadar alt tabakaya ayrılarak en üstte $i = 1$ ve en altta $i = N$ olacak şekilde sıralanacaktır. Üst 30 metredeki *ortalama kayma dalgası hızı* $(V_s)_{30}$, *ortalama standart penetrasyon darbe sayısı* $(N_{60})_{30}$ ve *ortalama drenajsız kayma dayanımı* $(c_u)_{30}$ **Denk.(16.2)** ile hesaplanacaktır:

$$(V_s)_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{h_i}{V_{s,i}} \right)} ; (N_{60})_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{h_i}{N_{60,i}} \right)} ; (c_u)_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{h_i}{c_{u,i}} \right)} \quad (16.2)$$

Burada h_i değeri (i) numaralı alt tabakanın kalınlığını [m], $V_{s,i}$, $N_{60,i}$ ve $c_{u,i}$ değerleri ise, sırası ile, aynı alt tabakanın kayma dalgası hızını [m/s], standart penetasyon deneyi darbe sayısını [darbe/30 cm] ve drenajsız kayma dayanımını [kPa] göstermektedir.

16.4.3 – Yüzeysel temellerde, temel taban kotu ile kaya üst kotu arasında kalınlığı 3 m'den fazla zemin bulunması durumunda ZA ve ZB sınıfı tanımlaması yapılmayacaktır.

16.5. DEPREM ETKİSİ ALTINDA SAHAYA ÖZEL ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZLERİ

16.5.1. Kapsam

16.5.1.1 – *Sahaya özel zemin davranış analizleri*, taban kayasında tanımlanan deprem yer hareketinin zemin tabakaları boyunca değişimini ve zemin yüzeyindeki deprem yer hareketini belirlemek üzere yapılır.

16.5.1.2 – Bina temeli ve yakın çevresinde zemin ortamının yaklaşık olarak yatay tabakalardan oluştuğu durumlarda, sahaya özel zemin davranış analizleri için **16.5.2**'de esas alınan tek boyutlu *yatay tabakalı serbest zemin modeli* kullanılabilir. Aksi durumlarda iki veya üç boyutlu zemin modelleri kullanılacaktır.

16.5.1.3 – **Tablo 16.1**'e göre ZF sınıfı olarak tanımlanan zeminlerin yüzeyindeki deprem yer hareketini belirlemek üzere sahaya özel zemin davranış analizinin yapılması zorunludur.

16.5.1.4 – Sahaya özel *serbest zemin analizleri*'nin sonuçları, kazıklı temeller için **16C.3.2** ve **16C.4.2**'de açıklanan *kinematik etkileşim analizleri*'nde deprem verisi olarak kullanılacaktır.

16.5.2. Doğrusal Olmayan Serbest Zemin Modeli ve Deprem Analizi

16.5.2.1 – Sahaya özel zemin davranış modelinin oluşturulması amacı ile, yatay zemin tabakalarında *kayma birim şekildeğiştirmesi*'ne bağlı olarak *kayma modülleri*'nin ve *eşdeğer histeretik sönüm katsayıları*'nin doğrusal olmayan değişimlerinin tanımlanması gereklidir. Bu parametreler, arazi ve laboratuvar deneylerine ve benzer zemin koşulları için literatürde yer alan ve genel kabul gören bilgilere göre tanımlanacaktır.

16.5.2.2 – Zemin davranış analizleri, yatay tabakalı *serbest zemin modeli* çerçevesinde taban kayasında tanımlanan deprem yer hareketi altında **16.5.2.1**'de tanımlanan *doğrusal olmayan* dinamik zemin parametreleri esas alınarak aşağıdaki analiz yöntemlerinden biri ile yapılacaktır:

(a) Zaman tanım alanında *doğrusal olmayan* analiz,

(b) Kayma birim şekildeğiştirmesinin %1'i aşmaması koşulu ile, frekans tanım alanında *eşdeğer doğrusal hesap modeli* kullanılarak ardışık yaklaşımla *doğrusal olmayan* analiz.

16.5.2.3 – Serbest zemin modeli aşağıdaki şekilde oluşturulacaktır:

(a) **Tablo 16.1**'e göre yerel zemin sınıfı ZA veya ZB olarak tanımlanan zemin tabakası, depremin zemin profiline etki ettirileceği *mühendislik taban kayası* olarak alınacaktır. Bu şekilde tanımlanan mühendislik taban kayasının bina temelinden itibaren derinliği, en büyük bina genişliğinin üç katından ve kazıklı sistemlerde en uzun kazık boyundan daha az olmayacaktır. Bu durumda **2.3.4**'e veya **2.4.1**'e göre tasarım deprem yer hareketini tanımlayan spektral büyüklükler, **Tablo 2.1** ve **Tablo 2.2**'de ZA veya ZB yerel sınıfı için verilen yerel zemin etki katsayıları gözönüne alınarak küçültülecektir.

(b) Ancak, taban kayasının yukarıda verilen alt sınıra oranla çok daha derinlerde olması durumunda tabakalı zemin modeli, **Tablo 16.1**'e göre yerel zemin sınıfı ZC veya ZD olan zemin tabakası ile sonlandırılabilir. Bu durumda deprem etkisi, taban kayası yerine bu tabakanın üstünde tanımlanacak ve **2.3.4**'e veya **2.4.1**'e göre tasarım deprem yer hareketini tanımlayan spektral büyüklükler **Tablo 2.1** ve **Tablo 2.2**'de ZC veya ZD yerel sınıfı için verilen yerel zemin etki katsayıları gözönüne alınarak büyütülecektir. Bu tabaka ve altındaki zemin ortamı, tek boyutlu zemin profili modelinde uygun *geçirgen sınır* koşulu kullanılarak idealleştirilecektir.

(c) Analizin hassasiyeti bakımından zemin tabakaları, yeteri kadar ince alt tabakalara ayrılacaktır. Zemin modelinin toplam derinliğine ilişkin belirsizlikler yanında, dinamik zemin parametrelerindeki belirsizlikler de uygun duyarlılık analizleri ile dikkate alınacaktır.

16.5.2.4 – 16.5.2.3'e göre zemin modeli tabanından tek boyutlu tabakalı zemin modeline etki ettirmek üzere, **2.3.4** veya **2.4.1**'e göre tanımlanan elastik ivme spektrumu ile uyumlu olarak en az onbir deprem kaydı **2.5.3**'e göre tanımlanacaktır.

16.5.2.5 – Zemin yüzeyindeki sahaya özel deprem spektrumunun belirlenmesi bağlamında, her bir spektral periyot için zemin yüzeyi spektral ivmesinin taban kayası spektral ivmesine oranı her bir kayıt için hesaplanacak, daha sonra bu oranların en az onbir kayıt için ortalaması, ilgili periyot için *yerel zemin etki katsayısı* olarak tanımlanacaktır. Bu katsayıların **2.3.4** veya **2.4.1**'de tanımlanan taban kayası spektrumu ile çarpılması sonucunda, zemin yüzeyindeki *sahaya özel deprem spektrumu* belirlenmiş olacaktır. Yerel zemin sınıfı ZF dışındaki zeminlerde, zemin yüzeyinde belirlenen sahaya özel deprem spektrumunun ordinatları, **Tablo 2.1** ve **Tablo 2.2**'ye göre ilgili yerel zemin sınıfı gözönüne alınarak belirlenen spektral ivmelerden daha küçük alınmaz.

16.5.2.6 – 16.6'ya göre sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerde **16.5.2.2(b)**'ye göre eşdeğer doğrusal analiz modeli ile frekans tanım alanında hesap yapılmayacaktır. Bu durumlarda **16.5.2.2(a)**'ya göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılacaktır.

16.6. DEPREM ETKİSİ ALTINDA ZEMİNİN SIVILAŞMA RİSKİNİN DEĞERLENDİRMESİ

16.6.1 – Bölüm 3'e göre *Deprem Tasarım Sınıfı* DTS=1, DTS=1a, DTS=2 ve DTS=2a olan binalar için **Tablo 16.1**'de ZD, ZE veya ZF grubuna giren, sürekli bir tabaka veya kalın mercekler halinde bulunan ve **16.6.6**'da tanımlanan durumlar dışındaki kumlu zeminlerde *sıvılaşma potansiyeli*'nin bulunup bulunmadığının, arazi ve laboratuvar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemleri ile incelenmesi ve analiz sonuçlarının ayrıntılı olarak rapor edilmesi zorunludur.

16.6.2 – Zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesinin altında yer alan ve yüzeyden 20 m derinliğe kadar olan kohezyonsuz ya da düşük kohezyonlu ($PI < 12$) zeminlerin deprem sarsıntısı altında, boşluk suyu basıncındaki artışa paralel kayma mukavemeti ve rijitliğindeki önemli oranda azalış olarak tanımlanacaktır.

16.6.3 – Zemin sıvılaşmasının değerlendirilmesine yönelik olarak yapılacak zemin araştırma çalışmaları en az, standart penetrasyon deneyi, (SPT) ve/veya koni penetrasyon deneyinin (CPT)'nin yapımına ek olarak, ilgili zemin tabakalarındaki dane çapı dağılımı, su muhtevası ve Atterberg limit değerlerinin belirlenmesini içerecektir.

16.6.4 – Potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminler, yeraltı su tablasının altında yer alan kum, çakıllı kum, siltli killi kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımları olarak tanımlanacaktır.

16.6.5 – Temel altı zeminlerinin potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminlerden oluştuğu ve bu zemin tabakalarında düzeltilmiş SPT vuruş sayısının, $N_{1,60}$, 30 darbe / 30 cm değerinden küçük olduğu durumlarda zemin sıvılaşması tetiklenme değerlendirilmesi yapılacaktır.

16.6.6 – *Deprem Tasarım Sınıfı*'nin DTS = 4 olduğu ve aynı zamanda aşağıdakilerden en az birinin sağlandığı durumlarda sıvılaşma tetiklenme analizi yapılmayabilir:

(a) Kil içeriğinin %20'den fazla ve plastisite indisinin %10'dan yüksek olduğu kumlu zeminlerde;

(b) ince dane yüzdesinin % 35'den fazla ve düzeltilmiş SPT vuruş sayısının, $N_{1,60}$, 20 vuruş / 30 cm'den yüksek olduğu kumlu zeminlerde;

16.6.7 – Zemin sıvılaşması değerlendirmesinde sıvılaşma tetiklenmesi riski yanında, sıvılaşma sonrası zemin mukavemeti ve rijitlik kaybı ile temel zemininde oluşabilecek yerdeğiştirmelerin dikkate alınması gereklidir.

16.6.8 – Zemin sıvılaşma değerlendirmesinin SPT deney sonuçları kullanılarak yapılmasına dayanan yöntem **EK 16B**'de verilmiştir. Değerlendirmenin CPT veya kayma dalgası hızına göre yapılması durumunda uygulamada genel kabul gören yöntemler kullanılabilir.

16.6.9 – Sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu **Denk.(16.3)**'te tanımlanmıştır.

$$\frac{\tau_R}{\tau_{\text{deprem}}} \geq 1.10 \quad (16.3)$$

Burada τ_R ve τ_{deprem} , sırası ile, sıvılaşma direncini ve zeminde depremden oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesini ifade etmektedir. **Denk.(16.3)**'te verilen koşulun sağlanamaması durumunda, sıvılaşması beklenen tabakaların dayanım ve rijitlik özelliklerindeki azalma, olası taşıma gücü kayıpları, duraylılık bozuklukları ile oturma ve yanal yayılma türündeki zemin hareketleri değerlendirilecektir.

16.6.10 – Belirlenen sıvılaşma sonrası yerdeğiştirmelerin üstyapı/altyapı davranışına etkileri değerlendirilerek ihtiyaç duyulması halinde üstyapı ve/veya zemin iyileştirmeleri uygulanacaktır.

16.7. TEMELLERİN TASARIMI İÇİN GENEL KURALLAR

16.7.1. Amaç

16.7.1.1 – Deprem etkisi altında bina temel tasarımının amacı, temel taşıma gücünün aşılmaması ve zemin yerdeğiştirmelerinin izin verilebilir sınırlar altında kalmasının sağlanmasıdır. Temel tasarımında aşağıdaki genel ilkelere uyulacaktır.

16.7.1.2 – Temellerin, şevler, heyelan bölgeleri, kazılar, tüneller, yeraltı ve maden kazıları yakınlarında bulunması durumunda, temel genel stabilite ve/veya etkileşim analizleri yapılmalıdır. Genel stabilite analizleri **16.13**'te verilen esaslar uyarınca yapılacaktır. Etkileşim analizlerinin kapsamı ve tasarım koşulları bu Yönetmeliğin kapsamı dışındadır.

16.7.2. Temel Tasarımında Taşıma Gücü İlkesi

Bu yönetmelikte, yüzeysel ve derin temellerin geoteknik tasarımı için *taşıma gücü ilkesi* esas alınmıştır. Temel zeminin, olası göçme mekanizmalarına karşı gelen *tasarım taşıma gücü*'nün yeterliliği **Denk.(16.4)**'te verilen genel ifade ile sağlanacaktır:

$$E_t \leq R_t \quad (16.4)$$

Burada E_t statik ve depremi içeren yükleme durumlarına ilişkin *tasarım etkileri*'ni, R_t ise ilgili göçme mekanizmasına karşı gelen *tasarım dayanımı*'ni ifade etmektedir.

16.7.3. Tasarım Etkileri

16.7.3.1 – Statik yük birleşimleri, ilgili yönetmeliklerden alınacaktır. Deprem etkisini içeren yük birleşimleri ise **4.4.4**'te verilmiştir. Temel zemininde oluşan etkiler, E_t , düşey yük etkileri ile birlikte **4.10.3**'e göre depremde bina taşıyıcı sisteminden temele aktarılan kuvvetler esas alınarak hesaplanacaktır.

16.7.3.2 – Tasarıma esas eksenel kuvvet ve eğilme momenti, temel tabanında düşey doğrultudaki *temel taşıma gücü* ile karşılanacaktır.

16.7.3.3 – Tasarıma esas yatay kesme kuvveti, zemin ile temel tabanı arası *sürtünme direnci* ile birlikte temel yan yüzünde oluşan *pasif toprak basıncı*'nın en çok %30'u dikkate alınarak karşılanacaktır.

16.7.4. Tasarım Dayanımları

Statik ve depremi içeren yükleme durumlarına ilişkin *tasarım dayanımı* R_t , *karakteristik dayanım* R_k 'nin *dayanım katsayısı* γ_R 'ye bölünmesi ile bulunacaktır.

$$R_t = \frac{R_k}{\gamma_R} \quad (16.5)$$

Dayanım katsayısı'nın değerleri temel türüne ve hesaplanan dayanım bileşenine göre **16.8.2** (Tablo 16.2) ve **16.9.3** (Tablo 16.4)'te verilmiştir.

16.8. YÜZEYSEL TEMELLER

16.8.1. Kapsam

Yüzeysel temellerin boyutlandırılmasında aşağıdaki kurallara uyulacaktır. Burada verilen tasarım ilkeleri tekil, sürekli (şerit) ve radye (plak) temelleri kapsamaktadır.

16.8.1.1 – Yüzeysel temellerin taşıma gücü ve yatayda kaymaya karşı gelen tasarım dayanımları hesaplanarak, statik ve depremi içeren yükleme durumlarındaki tasarım etkilerini karşıladığı gösterilecektir.

16.8.1.2 – Depremde aşırı boşluk suyu basıncı artışı meydana gelebilecek zeminlerde, toplam gerilme analizlerinde drenajsız kayma dayanımı üzerinde olası etkiler, efektif gerilme analizlerinde ise boşluk suyu basıncı dikkate alınmalıdır.

16.8.2. Yüzeysel Temeller İçin Dayanım Katsayıları

Yük katsayıları ile çarpılmış tüm yükler için *tasarım dayanımı* R_t , **Tablo 16.2**'de verilen *dayanım katsayısı* γ_R değerleri kullanılarak hesaplanacaktır.

Tablo 16.2. Yüzeysel Temeller İçin Dayanım Katsayıları

Dayanımın Türü	Dayanım Katsayısı Simgesi	Dayanım Katsayısı Değeri
Temel Taşıma Gücü	γ_{Rv}	1.4
Sürtünme Direnci	γ_{Rh}	1.1
Pasif Direnç	γ_{Rp}	1.4

16.8.3. Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü

16.8.3.1 – Statik ve deprem etkisini içeren yükleme durumlarının her birinde **Denk.(16.6)**'daki eşitsizlik sağlanacaktır:

$$q_o \leq q_t \quad (16.6)$$

Burada q_o temel seviyesinde etkiyen düşey yük, kesme ve moment etkilerinin oluşturduğu temel taban basıncıdır. q_t ise tasarım dayanımı R_t 'nin temel taşıma gücüne ilişkin karşılığıdır ve **Denk.(16.7)** ile tanımlanır:

$$q_t = \frac{q_k}{\gamma_{Rv}} \quad (16.7)$$

16.8.3.2 – Temel taşıma gücünün *karakteristik dayanımı* q_k **Denk.(16.8)** ile hesaplanacaktır.

$$q_k = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + q N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 \gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (16.8a)$$

Denk.(16.8a)'da yer alan taşıma gücü katsayıları **Denk.(16.8b)**'de tanımlanmıştır:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 (45 + \phi'/2) \quad ; \quad N_c = (N_q - 1) \cot \phi' \quad ; \quad N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \phi' \quad (16.8b)$$

Denk.(16.8a)'da boyutsuz *düzeltilme katsayıları* olarak yer alan *temel şekli katsayıları* s_c, s_q, s_γ ; *derinlik katsayıları* d_c, d_q, d_γ ; *yükleme eğikliği katsayıları* i_c, i_q, i_γ ; *temel zemini eğimi katsayıları* g_c, g_q, g_γ ve *temel taban eğimi katsayıları* b_c, b_q, b_γ literatüre dayanan ve genel kabul görmüş bağıntılar kullanılarak hesaplanacaktır.

16.8.3.3 – Temel etkili derinliği içinde, temel zemininde değişken özellikte tabakaların ve/veya süreksizliklerin bulunması durumu taşıma gücü hesabında dikkate alınacaktır.

16.8.3.4 – Temel altındaki yerdeğiştirmeler izin verilebilir sınırlar içinde kalacaktır. Bu bağlamda;

(a) Deprem etkisinde yumuşak killer ve suya doymun gevşek-orta sıkı kohezyonsuz zeminlerde, çevrimsel yüklemeler altında boşluk suyu basıncı artışları ile, olası dayanım ve rijitlik kaybı dikkate alınarak temel altı yerdeğiştirmeleri genel kabul gören geoteknik mühendisliği yaklaşımları ile hesaplanacaktır.

(b) Bölüm 13'te tanımlanan yüksek binalarda ZA ve ZB sınıfı dışındaki zeminlerde ve *Deprem Tasarım Sınıfı* DTS = 1, 1a, 2, 2a olan diğer binalarda ise ZA, ZB ve ZC sınıfı dışındaki zeminlerde, yüzeysel temeller altında oluşabilecek doğrusal olmayan zemin davranışı hesaba katılarak kalıcı şekildeğişimler hesaplanacaktır.

16.8.4. Yüzeysel Temellerin Yatayda Kayması

16.8.4.1 – *Yatayda kayma* ile ilgili olarak statik ve depremi içeren yükleme durumlarının her birinde **Denk.(16.9)**'daki eşitsizlik sağlanacaktır:

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt} \quad (16.9)$$

Burada V_{th} temel tabanında etkiyen *tasarım yatay kuvveti*'ni, R_{th} *tasarım sürtünme direnci*'ni, R_{pt} ise *tasarım pasif direnci*'ni göstermektedir.

16.8.4.2 – *Tasarım sürtünme direnci* R_{th} drenajlı durumda **Denk.(16.10)** ile hesaplanabilir:

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma_{Rh}} \quad (16.10)$$

Burada, P_{tv} temel tabanına etkiyen tasarım düşey basınç kuvvetini, δ ise temel tabanı ile zemin arasındaki sürtünme açısını göstermektedir.

16.8.4.3 – Sürtünme katsayısı $\tan \delta$, saha deneyleri ile aksi belirlenmedikçe, **Tablo 16.3**'te verilen değerlerden daha büyük alınmayacaktır.

Tablo 16.3. Yüzeysel Temeller ile Zemin Arasındaki Sürtünme Katsayısı

Sürtünme Ara Yüzeyi	$\tan \delta$
Yerinde Dökme Beton – Sıkıştırılmış Temel Taban Zemini	0.6
Önüretimli Beton – Sıkıştırılmış Temel Taban Zemini	0.4
Yerinde Dökme Beton – Beton	0.5
Beton – Taban Kayası	0.5

16.8.4.4 – *Tasarım sürtünme direnci* R_{th} kohezyonlu zeminlerde (drenajsız durumda) **Denk.(16.11)** ile hesaplanabilir.

$$R_{th} = \frac{A_c c_u}{\gamma_{Rh}} \quad (16.11)$$

Burada, A_c temel altında basınç gerilmelerinin oluştuğu toplam alanı ifade etmektedir.

16.8.4.5 – *Tasarım pasif direnci* R_{pt} , *karakteristik pasif direnç* R_{pk} 'nın *dayanım katsayısı*'na bölünmesi ile hesaplanacaktır:

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \quad (16.12)$$

16.8.4.6 – Yeraltı su seviyesi altındaki temelerde, depremde tasarım sürtünme direnci zeminin drenajsız kayma dayanımı esas alınarak hesaplanacaktır.

16.8.5. Temel Bağ Kirişleri

16.8.5.1 – Betonarme ve çelik binalarda tekil temelleri veya kazık başlıklarını her iki doğrultuda, sürekli temelleri ise kolon veya perde hizalarında birbirlerine bağlayan bağ kirişleri düzenlenecektir. **Tablo 16.1**'e göre yerel zemin sınıfı ZA olan temel zeminlerinde bağ kirişleri yapılmayabilir.

16.8.5.2 – Bağ kirişleri, temel kazısına uygun olarak, temel altından kolon tabanına kadar olan yükseklikteki herhangi bir seviyede yapılabilir.

16.8.5.3 – Bağ kirişinin kesit tasarımında gözönüne alınacak eksenel kuvvet N_b **Denk.(16.13)** ile verilmiştir.

$$N_b = 0.10 S_{DS} N_k \quad (16.13)$$

Burada N_k bağ kirişinin bağlandığı kolon veya perdedeki en büyük eksenel kuvveti, S_{DS} ise *kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı*'nı göstermektedir.

16.8.5.4 – Kesit hesabında bağ kirişlerinin hem basınç, hem de çekme kuvvetlerine çalışacağı gözönünde tutulacaktır. 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 olacaktır.

16.8.5.5 – Bağ kirişleri yerine betonarme döşemeler de kullanılabilir. Bu durumda, döşeme kalınlığı 150 mm'den az olmayacaktır. Döşemenin ve içine konulan donatının, **Denk.(16.13)** ile verilen eksenel yüklere eşit yükleri güvenli biçimde aktarabildiği hesapla gösterilecektir.

16.9. KAZIKLI TEMELLER

16.9.1. Kapsam

Kazıklı temellerin boyutlandırılmasında aşağıdaki kurallara uyulacaktır. Burada verilen tasarım ilkeleri yerinde dökme ve çakma kazıkları kapsamaktadır.

16.9.1.1 – Kazıklı temellerin düşey ve yanal taşıma güçleri hesaplanarak, statik ve depremi içeren yükleme durumlarındaki tasarım etkilerini karşıladığı gösterilecektir.

16.9.1.2 – Kazıklı temellerin taşıma gücü hesabında aşağıdaki yaklaşımlardan biri uygulanabilir. Taşıma gücü;

- (a) Statik yükleme deney sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak hesaplanabilir.
- (b) Zemin araştırmalarından elde edilen zemin özellikleri kullanılarak hesaplanabilir.
- (c) Statik yükleme deneyleri ile geçerliliği sağlanmış dinamik yükleme deneylerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak hesaplanabilir.

16.9.2. Kazıklı Temeller İçin Dayanım Katsayıları

16.9.2.1 – Kazıklı temellerin düşey taşıma gücü hesabında, zemin araştırmaları ve yükleme deneyleri sonuçlarından elde edilen zemin özellikleri kullanılarak hesaplanacak çevre sürtünmesi Q_s ve uç direnci Q_u 'nun hesabında **Tablo 16.4**'te verilen dayanım katsayıları γ_R uygulanacaktır.

16.9.2.2 – **Tablo 16.4**'te kazık yükleme deneyi yapılması durumu için verilen dayanım katsayısı değerleri, her bina altında en az bir adet yükleme deneyi ve proje sahasında kullanılan kazıkların en az %1'i üzerinde yükleme deneyi yapılması durumunda kullanılabilir. Bu minimum sayılardan daha fazla deney yapılması halinde, bölgesel deneyimlerin ışığında dayanım katsayılarında en fazla 0.10 kadar azaltma yapılabilir.

16.9.3. Kazıkların Düşey Taşıma Gücü

16.9.3.1 – Statik ve deprem etkisini içeren yükleme durumlarının her birinde **Denk.(16.14)**'deki eşitsizlik sağlanacaktır:

$$P_{tv} \leq Q_{tv} \quad (16.14)$$

Burada P_{tv} kazığa etkiyen düşey tasarım kuvvetidir. Q_{tv} ise kazığın düşey tasarım dayanımını göstermektedir ve **Denk.(16.15a)** veya **Denk.(16.15b)** ile tanımlanır:

$$Q_{tv} = \frac{Q_{ks}}{\gamma_{Rs}} + \frac{Q_{ku}}{\gamma_{Ru}} \quad (16.15a)$$

veya

$$Q_{tv} = \frac{Q_{ktv}}{\gamma_{Rt}} \quad (16.15b)$$

Burada Q_{ks} ve Q_{ku} kazığın karakteristik çevre sürtünmesi direncini ve karakteristik uç direncini, Q_{ktv} ise karakteristik toplam kazık taşıma gücünü göstermektedir.

Tablo 16.4. Kazıklı Temeller İçin Dayanım Katsayıları

Dayanımın Türü	Dayanım Katsayısı Simgesi	Dayanım Katsayısı Değeri	
		Kazık yükleme deneyi yapılmamış ise	Kazık yükleme deneyi yapılmış ise
Çevre sürtünmesi (basınç)	γ_{Rsb}	1.5	1.3
Çevre sürtünmesi (çekme)	γ_{Rsc}	1.6	1.4
Uç direnci	γ_{Ru}	2.0	1.5
Toplam taşıma gücü (basınç)	γ_{Rt}	—	1.4

16.9.3.2 – Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde birim çevre ve birim uç dirençleri literatüre dayanan ve genel kabul görmüş bağıntılar kullanılarak hesaplanabilir. Taşıma gücü hesabında kazık imalat yönteminin etkisi dikkate alınmalıdır.

16.9.3.3 – Grup davranışı gösterecek kazıklı temelerde taşıma gücü; grup içinde bulunan her bir kazığın toplam taşıma gücü ile kazıklar ve arasında kalan zeminden oluşan bloğun taşıma gücü değerlerinin küçük olanı olarak seçilecektir.

16.9.3.4 – Deprem Tasarım Sınıfı DTS = 1, 1a, 2, 2a olan binaların kazıklı temelerinde, en az iki adet statik yükleme deneyi yapılarak tasarım kabullerinin yerinde doğrulandığı kanıtlanacaktır.

16.9.4. Kazıkların Yanal Taşıma Gücü

16.9.4.1 – Statik ve deprem etkisini içeren yükleme durumlarının her birinde **Denk.(16.16)**'daki eşitsizlik sağlanacaktır:

$$P_{ty} \leq Q_{ty} \quad (16.16)$$

Burada P_{ty} kazığa etkiyen yanal tasarım kuvvetidir. Q_{ty} ise kazığın yanal tasarım dayanımını göstermektedir.

16.9.4.2 – Doğrusal olmayan yük-yerdeğiştirme davranışı göstermesi beklenen yanal yüklü kazıkların tasarımında izin verilebilir yerdeğiştirmelerin ve kazık kesitinin taşıma gücünün aşılmadığı hesapla gösterilecektir.

16.10. KAZIKLI TEMELLERİN DEPREM HESABI

16.10.1. Yapı – Kazık – Zemin Etkileşimi

16.10.1.1 – Deprem etkisi altında üstyapı (bina) ile birlikte taşıyıcı sistem elemanları olarak çalışan kazıklı temellerin, zeminin de etkisi gözönüne alınarak tasarımı için bu kısımda verilen hesap yöntemleri uygulanacaktır.

16.10.1.2 – Kazıklı temellerin deprem hesabı için, dinamik *yapı – kazık – zemin etkileşimi* çerçevesinde, aşağıdaki hesap yaklaşımları kullanılabilir:

(a) Ortak sistem yaklaşımı: Üstyapı (bina), bina temeli, kazıklar ve zeminin taşıyıcı sistemin kısımları olarak birarada modellenip analiz edildiği bu yaklaşımda, tüm kısımların doğrusal olmayan davranışları gözönüne alınabilir.

(b) Altsistem yaklaşımı: Üstyapı-temel altsistemi ile temel-kazık-zemin altsisteminin ayrı ayrı modellenip birbirleri ile etkileşimi de dikkate alınarak analiz edildiği bu yaklaşım, prensip olarak doğrusal davranışı esas alır. Ancak mühendislik pratiğinde bu yaklaşımın belirli yöntemler çerçevesinde temel-kazık-zemin altsisteminin ve üstyapı-temel altsisteminin doğrusal olmayan davranışı için de uygulanmasına izin verilebilir.

16.10.1.3 – Altsistem yaklaşımı çerçevesinde yapı – kazık – zemin etkileşimi iki aşamada ele alınır. *Kinematik etkileşim* ve *eylemsizlik etkileşimi* olarak adlandırılan bu aşamaların ve bu aşamalar için kullanılacak hesap yöntemleri ile tasarım kurallarının ayrıntıları **EK 16C**'de verilmiştir. Yöntem I, Yöntem II ve Yöntem III olarak adlandırılan bu yöntemlerin uygulama alanları *Yerel Zemin Sınıfı*'na, *Deprem Tasarım Sınıfı*'na ve *Bina Yükseklik Sınıfı*'na bağlı olarak **Tablo 16.5**'te tanımlanmıştır. Yapı sahibinin / tasarım mühendisinin tercihinine bağlı olarak Yöntem II yerine Yöntem I, Yöntem III yerine Yöntem II kullanılabilir ve yöntemlerin uygulama alanları genişletilebilir.

16.10.2. Kazıkların Tasarımına İlişkin Özel Koşullar

16.10.2.1 – Kinematik etkileşim kapsamında taşıdıkları hasar riskleri nedeni ile, deprem etkisi altındaki bina temellerinde *eğik kazıklara* izin verilmez.

16.10.2.2 – Betonarme ve öngerilmeli betonarme kazıkların minimum enkesit boyutları 30 cm / 30 cm veya \emptyset 35 cm olacaktır.

Tablo 16.5 – Etkileşim Analiz Yöntemlerinin Uygulama Alanları

Analiz Yöntemi	Deprem Tasarım Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfı	Yerel Zemin Sınıfı
Yöntem I	DTS = 1, 1a, 2, 2a	BYS = 1	ZD, ZE, ZF
Yöntem II	DTS = 1a, 2a	BYS = 2, 3	ZD, ZE, ZF
	DTS = 3, 3a, 4, 4a	BYS = 1	
Yöntem III	DTS = 1a, 2a	BYS \geq 4	ZD, ZE, ZF
	DTS = 1, 2, 3, 3a	BYS \geq 2	

16.10.2.3 – Betonarme kazıklarda kazık başlığının altındaki kazık boyunun, 3 metreden az olmamak üzere, üstten 1/3'ünde boyuna donatı oranı, DTS = 1, 1a, 2, 2a olan binalarda 0.01'den, DTS = 3, 3a, 4, 4a olan binalarda ise 0.008'den az olmayacaktır. Bu bölgeye konulacak spiral donatı (veya dikdörtgen kesitli çakma kazıklar için etriye) çapı DTS = 1, 1a, 2, 2a olan binalarda 10 mm'den, DTS = 3, 3a, 4, 4a olan binalarda ise 8 mm'den az ve spiral adımı (veya etriye aralığı) 200 mm'den fazla olmayacak, ancak üstten en az iki kazık çapı kadar yükseklikte 100 mm'ye indirilecektir.

16.10.2.4 – Çelik boru kazıkların et kalınlıkları **Denk.(16.17)**'deki koşulu sağlayacaktır:

$$\begin{aligned} \text{DTS}=1, 1a, 2, 2a \text{ olan binalarda: } & \frac{D}{t} \leq 60 \\ \text{DTS}=3, 3a, 4, 4a \text{ olan binalarda: } & \frac{D}{t} \leq 80 \end{aligned} \quad (16.17)$$

16.10.2.5 – Çelik kazıkların betonarme temele (kazık başlığına) monolitik bağlantıları, kazıkların tepesinde en az iki kazık çapı derinliğinde düzenlenecek betonarme tıplar ile yapılacaktır. Tıplardaki boyuna donatı, kazık tepesinde hesaplanan eğilme momenti ve eksenel kuvveti betonarme kesit olarak aktaracak şekilde düzenlenecektir. Tıpa yüksekliği boyunca **16.10.2.3**'te tanımlanan spiral enine donatı kullanılacaktır. Kazık eksenel kuvvetinin tıpadan çelik kazık kesitinde güvenle aktarıldığı hesapla gösterilecektir.

16.11. BİNALARIN BODRUM PERDELERİNE ETKİYEN STATİK VE DİNAMİK ZEMİN BASINÇLARI

Zeminin doğrusal olmayan biçimde idealleştirildiği, aşırı boşluk suyu basınçlarının dikkate alındığı ve çevre bodrum perdelerini oluşturan yapısal elemanları içeren duvar-zemin etkileşim modelleri ile hesap yapılmadığı durumlarda, binaların rijit bodrum çevre perdelerine etkileyen zemin basınçları aşağıda verildiği şekilde hesaplanabilir.

16.11.1 – Statik durumda düzgün yayılı olarak uygulanacak zemin basınçları (p) **Tablo 16.6**'da tanımlanmıştır. Burada H_b bodrum perdesinin toplam yüksekliğini, γ zeminin tabii

birim hacim ağırlığını, γ_d suya doymun birim hacim ağırlığını, q ek yükü (sürşarj), z su yüzeyinden aşağıya doğru ölçülen yüksekliğini göstermektedir.

Tablo 16.6. Bodrum Perdelerine Etkiyen Statik Zemin Basınçları

Bodrum Perdesinin Dışındaki Zeminin Cinsi	Basıncın Etkiği Yükseklik	Zemin Basıncı (p)
Kohezyonsuz zemin	Tüm yükseklik boyunca	$0.2(\gamma^*H_b + q)$
Yumuşak – orta katı kohezyonlu zemin	Üst %20 boyunca	$0.2(\gamma^*H_b + q)$
	Alt %80 boyunca	$0.3(\gamma^*H_b + q)$
Katı – sert kohezyonlu zemin	Tüm yükseklik boyunca	$0.3(\gamma^*H_b + q)$

Not: Bodrum perdesi arkasında su olmaması durumunda, $\gamma^* = \gamma$ alınacaktır. Bodrum perdesinin kısmen su altında olması durumunda, su seviyesinin üzerinde $\gamma^* = \gamma$ ve su seviyesinin altında $\gamma^* = (\gamma_d - \gamma_{su})$ alınacak, ayrıca su üst seviyesinden itibaren aşağıya doğru zemin basıncına statik su basıncı ($p_{su} = \gamma_{su}z$) eklenecektir. Statik su basıncı dışında tüm zemin basınçları düzgün yayılı olarak etki ettirilecektir.

16.11.2 – Deprem etkisi altında ek zemin basınçları (Δp) Denk.(16.18) ile hesaplanacaktır:

$$\Delta p = 0.4 S_{DS} \gamma H_b \quad (16.18)$$

Bu basınç duvar yüksekliği boyunca düzgün yayılı olarak etki ettirilecektir.

16.11.3 – Kohezyonsuz zeminlerde, bodrumun kısmen kuruda olması durumunda, su seviyesi ile bodrum tabanı arasında, Tablo 16.6'nın ikinci satırındaki statik su basıncına ek olarak gözönüne alınacak statik-eşdeğer dinamik su basıncının su derinliği boyunca değişimi, $\Delta p_{su}(z)$, Denk.(16.19) ile belirlenecektir:

$$\Delta p_{su}(z) = \frac{7}{8} (0.4 S_{DS}) \gamma_{su} \sqrt{z d_{su}} \quad (16.19)$$

Burada S_{DS} zemin yüzeyinde tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını, d_{su} ise su altındaki duvar yüksekliğini göstermektedir. Denk.(16.19)'un su derinliğince entegre edilmesi ile, bileşke statik-eşdeğer ek dinamik su kuvveti ve bileşkenin su yüzeyinden itibaren derinliği Denk.(16.20) ile elde edilir:

$$\Delta P_{su} = \frac{7}{12} (0.4 S_{DS}) \gamma_{su} d_{su}^2 \quad ; \quad \bar{z} = 0.6 d_{su} \quad (16.20)$$

16.12. DEPREM ETKİSİ ALTINDA DAYANMA YAPILARININ TASARIMI İÇİN KURALLAR

Deprem etkisi altında dayanma yapıları tasarımında hem limit denge (göçme), hem de servis durumları gözönüne alınacaktır. Dayanma yapıları, deprem sonrasında işlevlerine zarar vermeyecek mertebelerde yerdeğiştirmelere izin verilecek şekilde tasarlanabilir.

16.12.1. Dayanma Yapılarının Stabilitesi

Devrilmeye ve yatayda kaymaya zorlayan etkiler (momentler/kuvvetler) ile bunlara karşı koyan etkilerin ve dirençlerin dengesi karşılaştırılacaktır:

16.12.1.1 – Dayanma yapısının devrilmeye karşı güvenliğinin olması için **Denk. (16.21)**'deki koşul sağlanmalıdır:

$$E_{\text{dev}} \leq \frac{R_{\text{dev}}}{\gamma_{\text{Rdev}}} \quad (16.21)$$

Burada, E_{dev} devrilmeye zorlayan etkiler toplamı, R_{dev} devrilmeye karşı koyan etkiler ve dirençler toplamı, γ_{Rdev} ise devrilmeye karşı tasarım güvenlik katsayısıdır. Bu katsayısı $\gamma_{\text{Rdev}} \geq 1.3$ olmak üzere, göçmeden kaynaklanacak riskler gözönüne alınarak projeden sorumlu mühendis tarafından seçilecektir.

16.12.1.2 – Dayanma yapısı temelinde zemin taşıma gücünün aşılması ve yatayda kaymaya karşı tahkikler, **16.8.3** ve **16.8.4**'e göre, toptan göçmeye ilişkin tahkikler ise **16.13**'e göre yapılacaktır.

16.12.2. Toprak Basınçları

16.12.2.1 – Toprak basınçlarının hesabında kullanılacak yatay ve düşey *statik-eşdeğer deprem katsayıları* **Denk.(16.22)**'de tanımlanmıştır:

$$k_h = \frac{0.4S_{\text{DS}}}{r} \quad ; \quad k_v = 0.5k_h \quad (16.22)$$

Denk.(16.22)'de yer alan r katsayısı, değişik dayanma yapısı tipleri için **Tablo 16.7**'de verilmiştir.

16.12.2.2 – Yüksek boşluk suyu basıncı artışları meydana gelebilecek doymun zeminlerin bulunması durumunda, r katsayısının değeri 1'den büyük alınmamalıdır.

Tablo 16.7. Dayanma Yapıları için r katsayıları

Dayanma Yapısının Tipi	r
En fazla $120S_{\text{DS}}$ (mm) yerdeğiştirmeye izin verilen ağırlık tipi duvarlar	2.0
En fazla $80S_{\text{DS}}$ (mm) yerdeğiştirmeye izin verilen ağırlık tipi duvarlar	1.5
Ankrajlı duvarlar, yerdeğiştirmesine izin verilmeyen ağırlık tipi duvarlar	1.0

16.12.2.3 – Dayanma yapısına etkileyen toplam (statik ve dinamik) toprak basıncının bileşkesi **Denk.(16.23)** ile hesaplanacaktır:

$$P_t = K(1 \mp k_v) \left(\frac{1}{2} \gamma^* H^2 + qH \right) + P_{\text{su}} + \Delta P_{\text{su}} \quad (16.23)$$

Burada H duvar yüksekliğini, γ^* zeminin tipik birim hacim ağırlığını, q ek yükü (sürşarj), K toplam (statik+dinamik) aktif (K_a) veya pasif (K_p) toprak basıncı katsayısını, k_v düşey statik-eşdeğer deprem katsayısını, P_{su} ve ΔP_{su} ise bileşke statik ve dinamik su basınçlarını göstermektedir.

16.12.2.4 – Toplam aktif basınç katsayısı **Denk.(16.24)** ile hesaplanacaktır:

(a) $\beta \leq \phi'_d - \theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta_d) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (16.24a)$$

(b) $\beta > \phi'_d - \theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta_d)} \quad (16.24b)$$

16.12.2.5 – Toplam pasif basınç katsayısı, zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı varsayılarak, **Denk.(16.25)** ile hesaplanacaktır:

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin \phi'_d \sin(\phi'_d + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \theta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (16.25)$$

16.12.2.6 – **Denk.(16.24)** ve **Denk.(16.25)**'te ϕ'_d zeminin tasarım kayma direnci açısını, δ_d zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısını, β duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısını, ψ ise duvarın yataya göre (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) ölçülen açısını göstermektedir. Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı θ açısı ve **Denk.(16.23)**'te yer alan zemin birim hacim ağırlığı γ^* 'ın değerleri, dayanma yapısının arkasında su olup olmamasına bağlı olarak **16.12.3**'te verilmiştir.

16.12.2.7 – Statik durumda **Denk.(16.24)** ve **Denk.(16.25)** ile verilen bağıntılarda $\theta = 0$ alınacaktır. Dinamik toprak basınç katsayısı, toplam basınç katsayısından statik basınç katsayısının çıkarılması ile elde edilecektir.

16.12.2.8 – Dinamik toprak basınçlarına ilişkin bileşke kuvvetin etkime noktası, duvar yüksekliğinin orta noktası olarak alınacaktır. Topuğu etrafında serbestçe dönebilecek duvarlarda, dinamik kuvvetin statik kuvvet ile aynı noktada etkiyeceği varsayılabilir.

16.12.2.9 – Statik ve dinamik toprak basınçlarının, duvar arkasının normaline göre, aktif basınç durumunda en fazla $(2/3)\phi'$ açısı ile, pasif durumda ise sıfır eğimle etkideği kabul edilecektir.

16.12.3. Dayanma Yapısı Arkası Su Seviyesinin Etkisi

16.12.3.1 – Dayanma yapısı ile tutulan zemin kütlelerinin drenaj önlemleri ile su tablası altında kalmamasının sağlanması esastır. Bu bağlamda, drenaj sistemi, depremin yol açacağı geçici ve kalıcı yerdeğiştirmelere, işlevine zarar vermeyecek şekilde uyum sağlayacak şekilde düzenlenmelidir.

16.12.3.2 – Dayanma yapısının arkasında su olup olmamasına bağlı olarak, θ açısı ve **Denk.(16.23)**'te yer alan zemin birim hacim ağırlığı γ^* 'ın değerleri aşağıda tanımlanmıştır.

(a) Su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması durumunda ($P_{su} = \Delta P_{su} = 0$);

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 \mp k_v} \right] \quad ; \quad \gamma^* = \gamma \quad (16.26a)$$

Burada γ zemin tabii birim hacim ağırlığını göstermektedir.

(b) Su seviyesinin temel taban seviyesi üstünde olması ve zeminin dinamik olarak geçirimsiz olması durumunda (permeabilite katsayısının 5×10^{-4} m/s'den küçük olduğu zeminlerde):

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\gamma_d}{\gamma_d - \gamma_{su}} \frac{k_h}{1 \mp k_v} \right] \quad ; \quad \gamma^* = \gamma_d - \gamma_{su} \quad (16.26b)$$

Burada γ_d suya doymun zemin birim hacim ağırlığını göstermektedir. $\Delta P_{su} = 0$ alınacaktır.

(c) Su seviyesinin temel taban seviyesi üstünde olması ve zeminin dinamik olarak geçirimli olması durumunda:

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\gamma}{\gamma_d - \gamma_{su}} \frac{k_h}{1 \mp k_v} \right] \quad ; \quad \gamma^* = \gamma_d - \gamma_{su} \quad (16.26c)$$

Bu durumda bileşke statik-eşdeğer ek dinamik su kuvveti ΔP_{su} ve bileşkenin su yüzeyinden itibaren derinliği **Denk.(16.20)** ile hesaplanacaktır.

16.13. DEPREM ETKİSİ ALTINDA ŞEVLERİN DURAYLILIĞI

16.13.1 – Doğal ya da yapay şevlerin üzerinde ve yakınında inşa edilecek yapıların tasarım depremi etkisinde güvenliği ve servis görebilirliğinin korunması için, şevin deprem yükleri etkisinde duraylı ve işlevsel (servis verebilir) kalacağını tahkik edilmesi gereklidir. Deprem Tasarım Sınıfı DTS=4 olan binalar için deprem etkisinde şev duraylılık analizi yapılmayabilir.

16.13.2 – Yapısal elemanlarla destekli şevlerde (örneğin: esnek duvarlar veya kazıklarla destekli şevler, ankrajlı veya çivili şevler vb.) zemin ve yapısal elemanların görece rijitlik farklarının dikkate alındığı zemin-yapı etkileşimi analizlerinin yapılması gerekir.

16.13.3 – Deprem etkisinde şev duraylılık analizlerinde, zemin özellikleri üzerinde *dayanım katsayıları* (kohezyon ve sürtünme direnci için, sırası ile, c'/γ_{Rc} ve $\tan\phi'/\gamma_{R\phi}$) uygulanmalıdır. Şev içinde yer alan kazık veya ankraj benzeri yapısal elemanların tasarımında da, zemin dirençleri aynı şekilde dayanım katsayıları uygulanarak dikkate alınmalıdır.

16.13.4 – Şevlerin duraylılık analizinde zemin cinsine uygun bir göçme modeli kabul edilerek, zemin veya kaya kütesinin dengesi araştırılır. Bir şevin toptan göçmeye karşı güvenliğinin olması için **Denk.(16.27)**'de verilen koşul sağlanacaktır:

$$E_t \leq \frac{R_t}{\gamma_{Rk}} \quad (16.27)$$

Burada, E_t göçmeye zorlayan etkiler toplamı, R_t göçmeye karşı koyan etkiler ve dirençler toplamı, $\gamma_{Rk} (\geq 1.0)$ ise kaymaya karşı *tasarım güvenlik sayısı* olarak tanımlanır.

16.13.5 – Deprem durumunda şevlerin duraylılığı, killi zeminlerde drenajsız kayma mukavemeti (c_u) kullanılarak toplam gerilme analizi, kumlu (kohezyonsuz) zeminlerde efektif gerilme analizi ile hesaplanacaktır.

16.13.6 – Depremlerle yeniden tetiklenme riski olan eski heyelan bölgelerinde, zemin mukavemet parametreleri olarak büyük şekildeğiştirmelerine karşılık gelen değerler

kullanılmalıdır. Çevrimsel boşluk suyu basıncı artışına maruz kalabilecek gevşek-orta sıkı kohezyonsuz zeminlerde, oluşması beklenilebilecek maksimum boşluk suyu basıncı dikkate alınmalıdır.

16.13.7 – Deprem etkisinde şev duraylılık kontrolü, eşdeğer statik limit denge analizleri, sonlu elemanlar yöntemi veya zaman alanında gerçekleştirilecek dinamik davranış analizleri ile yapılabilir. Topoğrafyanın ve zemin tabakalanmasının ani düzensizlikler gösterdiği durumlarda ve çevrimsel yüklemeler etkisinde önemli rijitlik kaybına uğrayabilecek sınırlanabilir veya hassas zeminler için, eşdeğer statik analiz yöntemi kullanılmamalıdır.

16.13.8 – İzin verilebilir yerdeğiştirme kriterlerinin geçerli olduğu durumlarda, Newmark kayan rijit blok yöntemi veya eşdeğer yöntemlerle, dinamik etkilerle uyumlu zemin mukavemet parametreleri kullanılarak kalıcı yerdeğiştirmeler hesaplanabilir. Hesaplarda, artan şekildeğiştirmeler ile oluşacak olan malzeme pekleşme veya yumuşama davranışı ve boşluk suyu basıncı artışının olası etkileri dikkate alınmalıdır.

16.13.9 – Eşdeğer statik analizlerde, zemin kütleline ve şev üzerinde mevcut kuvvetlere, yatay (F_H) ve düşey (F_V) eylemsizlik kuvvetlerinin etkisi **Denk.(16.28)** ile dikkate alınacaktır.

$$F_H = 0.5 W(0.4 S_{DS} S_T) \quad ; \quad F_V = \pm 0.5 F_H \quad (16.28)$$

Burada W kayan kütleline ağırlığı, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını, S_T ise topoğrafik büyütme katsayısını göstermektedir.

16.13.10 – Şev üzerinde ve şev yakınında inşa edilecek, *Deprem Tasarım Sınıfı* DTS = 1, 1a, 2, 2a olan yapılar için yapılacak deprem etkisinde şev duraylılık analizlerinde, topoğrafik büyütme etkisi gözönüne alınacaktır. Topoğrafik büyütme faktörü (S_T) iki boyutlu topoğrafik düzensizliklerin bulunduğu şevlerde (örneğin, uzun vadelerde, yüksekliği 30 m'den yüksek olan tepelerde) ve olası göçme yüzeyinin şev tepesine yakın olarak geçtiği durumlarda kullanılacaktır. Topoğrafik büyütme etkisi, şev açısı $\beta \leq 15^\circ$ olan şevlerde ihmal edilebilir; taç (tepe) genişliği taban genişliğinden daha küçük olan sırtlarda şev açısı $\beta \geq 30^\circ$ olan şevlerde $S_T \geq 1.4$, daha küçük şev açılarında ise $S_T \geq 1.2$ olarak kullanılacaktır. Olası göçme yüzeyinin tabana yakın olarak geçtiği potansiyel heyelan bölgelerinde ise ihmal edilebilir.

16.13.11 – Dilim yöntemine dayanan eşdeğer statik limit denge analizlerinde, kritik yüzeyin belirlenmesi ve kaymaya karşı güvenlik sayısının iteratif yöntemlerle hesaplanmasında, zemin dayanım parametrelerinin güvenlik sayısına bölünmesi ile zemin dirençlerinin mobilize olan değerlerine ulaşıldığı ($\gamma_{Rc} = \gamma_{R\phi} = \gamma_{Rk}$) kabul edilmektedir:

$$\tau_{mob} = \frac{c'}{\gamma_{Rc}} + \frac{\tan\phi'}{\gamma_{R\phi}} = \frac{c'}{\gamma_{Rk}} + \frac{\tan\phi'}{\gamma_{Rk}} \quad (16.29)$$

(a) Statik durumda:

$$\gamma_{Rk} = \frac{1}{\sum W_s \sin\alpha} \sum c'b + \left[\frac{1}{m_\alpha} \left(W_s - \frac{c'b \sin\alpha}{\gamma_{Rk}} - ub \right) \right] \tan\phi' \quad (16.30)$$

(b) Deprem durumunda, kaymaya karşı güvenlik sayısının hesaplanmasında yatay ve düşey eylemsizlik kuvvetlerinin etkisi aşağıdaki şekilde dikkate alınacaktır.

$$\gamma_{Rk} = \frac{1}{\sum W_s(1-k_v)\sin\alpha + k_h W_s\left(\cos\alpha - \frac{H_c}{R_d}\right)} \sum c'b + \left[\frac{1}{m_\alpha} \left(W_s(1-k_v) - \frac{c'b \sin\alpha}{\gamma_{Rk}} - ub \right) \right] \tan\phi' \quad (16.31)$$

Burada, b dilim genişliğini, W_s dilim ağırlığını, α dilim tabanının yatayla yaptığı açığı, u dilim tabanında etkiyen su basıncını, $k_h = 0.2S_{DS}$ ve $k_v = \pm 0.5k_h$ sırası ile yatay ve düşey eşdeğer deprem katsayısını, H_c dilim tabanının orta noktasından dilim merkezine olan düşey uzaklığı, R_d ise dairesel göçme yüzeyinin yarıçapını ifade etmektedir. **Denk.(16.30)** ve **Denk.(16.31)**'de yer alan m_α **Denk.(16.32)**'de verilmiştir:

$$m_\alpha = \cos\alpha \left(1 + \frac{\tan\alpha \tan\phi'}{\gamma_{Rk}} \right) \quad (16.32)$$

(c) Kaymaya karşı güvenlik sayısı (γ_{Rk}) ardışık yaklaşımla elde edilmektedir. Özel riskler içeren durumlar hariç $\gamma_{Rk} \geq 1.10$ toptan kaymaya karşı yeterli güvenlik düzeyi olarak kabul edilebilir.

EK 16A – ZEMİN ARAŞTIRMALARI İÇİN GENEL KURALLAR

Zemin araştırmaları aşağıda tanımlanan genel kurallara göre yapılacaktır.

16A.1. ZEMİN ARAŞTIRMA SONDAJLARI

16A.1.1 – Sondaj kuyuları, zeminlerde burgu, kum veya kil kovası ile darbeli veya dönel (rotary) sistemlerle, kayada ise kaya yüzeyinden itibaren sürekli karot alınarak ilerlenen dönel sistemlerle açılacaktır.

16A.1.2 – Sondaj Sayıları: Zemin koşullarının değişkenliği, yapının taban alanı ve aktardığı yükler ile çevresindeki koşullar dikkate alınarak her 300 m²'lik taban alanı için en az bir adet olmak üzere belirlenecektir. Ancak *Bina Yükseklik Sınıfı* $BYS \leq 3$ olan binaların inşa edileceği alanlarda sondaj sayısı üçten az olmayacaktır. Sondaj sayısı, taban alanı 1000 m²'yi geçen binalarda birer adet bina köşelerinde ve bir adet ortada olmak üzere en az beş adet olacak şekilde planlanacaktır.

16A.1.3 – Sondaj Yerleri: Topoğrafik ve jeomorfolojik koşullar özel yerlere işaret etmiyorsa, en az yapı planının köşeleri ve ortasında sondaj yerleri seçilecektir. Geniş alanlarda yapı tipleri ve yerleri belirli ise, yapı yerleşimine uygun olarak sondaj noktaları seçilecektir. Yerleşimi belirsiz proje sahalarında, bir kareyaj (grid) üzerinden sondaj yerleri planlanacaktır. Şev duraysızlığı potansiyeli olan eğimli arazilerde, sondaj yerleri yamaç duraylılık (stabilite) analizine veri sağlayacak hatlar boyunca planlanacak, yapı alanı dışında da sondaj yerleri seçilecektir.

16A.1.4 – Sondaj Derinlikleri: Sondaj derinliği, bina temelleri için temel tabanından başlayarak yapı genişliğinin en az 1.5 katı veya net temel taban basıncından kaynaklanan zemindeki gerilme artışının ($\Delta\sigma$) zeminin kendi ağırlığından kaynaklanan efektif gerilmenin (σ'_{vo}) % 10'una eşit olduğu derinlikten ($\Delta\sigma = 0.10\sigma'_{vo}$) daha elverişsizi olacak şekilde seçilecektir.

(a) Yüksek dayanıma ve rijitliğe sahip bir tabakanın daha sığ derinliklerde rastlanması durumunda sondaj, bu tabaka içine en az 3 metre girerek tabaka sürekliliğinin belirlenmesi ile sonlandırılabilir.

(b) Kazıklı temel uygulamasının gerekebileceği durumlarda, sondaj derinliği kazık taşıma gücü ve oturma hesaplamalarını yapmaya olanak sağlayacak şekilde seçilecektir.

(c) Sondajlar, şev duraylılığı çalışmalarında olası kayma yüzeyi derinliklerinin yeterince altına kadar, derin kazılarda ise kazı tabanından kazı derinliğinin en az yarısı kadar derinliklere inecektir.

(d) Deprem tasarım sınıfları DTS=1, DTS=1a, DTS=2 ve DTS=1a olan bölgelerde, yeraltı suyu düzeyi temel tabanından itibaren 10 metre derinlikten daha yukarıda ve gevşek yerleşimli iri (kaba) daneli zeminlerin yer aldığı sahalarda, sondaj derinliği zemin yüzünden itibaren en az 20 m olacaktır.

16A.2. ARAZİ DENEYLERİ

16A.2.1 – Sondaj kuyularında zemin koşulları ile uyumlu ve proje gereksinimlerini karşılayacak şekilde uygun aralıklarla (örneğin her 1.50 m'de bir adet) arazi deneyleri (SPT, kanatlı kesici, presiyometre, vb.) yapılacaktır. Zemin profili ve özelliklerinin sürekli ve sağlıklı olarak tayini için, sondajlarla paralel şekilde planlanmış, Koni Penetrasyon Deneyleri (CPT ve boşluk suyu basıncı ölçümlü -CPTu) yapılması yararlı olacaktır.

16A.2.2 – Örnek Alma: Sondaj kuyularında zemin koşulları ile uyumlu ve proje gereksinimlerini karşılayacak şekilde uygun aralıklarla örselenmiş ve örselenmemiş zemin/kaya örnekleri alınacaktır.

16A.2.3 – Örselenmiş Örnekler: Sondaj kuyularında, her cins zeminden, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) sırasında örselenmiş örnekler alınacaktır. Yeraltı su düzeyi altında, iri daneli veya plastik olmayan silt zeminlerde, SPT kaşığından yeterli miktarda örselenmiş örnek elde edilemiyorsa, ağzına zemin tutucu takılmış (sepet-basket tipi) özel tüpler ile incesi yıkanmamış örselenmiş örnekler alınacaktır.

16A.2.4 – Örselenmemiş Örnekler: Sondaj kuyularında, kohezyonlu zeminlerden, **16A.1.4'**de tanımlanan etki derinliği içinde her zemin tabakasının mühendislik özelliklerini belirlemeye yeterli olacak sayıda örselenmemiş örnek alınacaktır. Örselenmemiş zemin örnekleri, zeminin kıvamına uygun olarak ve ince cidarlı (alan oranı=et kalınlığı/iç tüp alanı<10 %) ve iç çapı en az 76 mm olan tüp veya pistonlu tüp kullanılarak alınacaktır. Ayrıca araştırma çukurları ve hendeklerden, uygun şekilde kesilip alınan bloklardan da örselenmemiş örnekler hazırlanabilecektir.

16A.2.5 – Kaya sondajlarında karotiyer ve vidye tipi, litolojik birimlerin özelliklerine göre seçilecek ve karotların çapı en az NX (54 mm) veya NQ (47.6 mm) olacaktır.

16A.2.6 – Yeraltı Su Düzeyinin Ölçülmesi: Sondaj kuyusu içinde yapılacak ölçümlerle yeraltı su seviyesi belirlenecektir. Etüt derinliği içinde kohezyonlu ve kohezyonsuz birden fazla tabaka ve/veya su taşır katman (akifer) seviyenin bulunması durumunda, yeraltı suyu düzeyinin veya basıncının ölçülmesi için standart piyezometrelerden yararlanılması uygun olacaktır. Her durumda sondaj kuyusundaki gözlemler ve ölçümler yeraltı suyu düzeyinin kuyuda dengeye ulaşmasına yetecek kadar uzun bir süre boyunca yapılacaktır.

16A.3. LABORATUVAR DENEYLERİ

16A.3.1 – Laboratuvar deneyleri, araştırma alanındaki zemin özelliklerini en çok 2 m aralıklar ile tanımlamaya yeterli sayı ve derinliklerde, yapı ve zeminin özelliklerine göre projeden sorumlu inşaat mühendisi tarafından planlanacak ve yetkili laboratuvarlarda yapılacaktır.

16A.3.2 – Sınıflandırma Deneyleri: Örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde, tabakaların zemin sınıflandırmasına olanak verecek sayıda kıvam limitleri, doğal su içeriği (korunmuş örnekler üzerinde), elek, pipet/hidrometre ve özgül ağırlık deneyleri yapılacaktır. Örselenmemiş örnekler üzerinde doğal su içeriği ve birim hacim ağırlığı tayini deneyleri de yapılacaktır. Sorunlu zeminlerde (sıvılaşma, şişme, göçme, yumuşama, hassas killer vb.) ilk 15 m'den alınan tüm örnekler üzerinde sınıflandırma deneyleri (pipet/hidrometre dahil) yapılacaktır.

16A.3.3 – Mühendislik Özellikleri Deneyleri: Örselenmemiş örnekler üzerinde, tabakaların mühendislik özelliklerini belirlemeye yönelik olarak mukavemet (tek eksenli basınç, kesme kutusu, üç eksenli basınç-UU/CU) deneyleri yapılacak, proje gereksinimlerine uygun olarak drenajlı ve drenajsız kayma mukavemeti parametreleri belirlenecektir. Ayrıca, oturma hesaplarına yönelik parametrelerin belirlenmesi için, killi zeminlerden alınmış örselenmemiş örnekler üzerinde odometre-konsolidasyon deneyleri yapılacaktır.

EK 16B – BASİTLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN SIVILAŞMA DEĞERLENDİRMESİ

16B.1. KAPSAM

Zemin sıvılaşması tetiklenme analizleri kapsamında, saha zeminlerinin sıvılaşmaya karşı kayma direnci, τ ; eğimsiz sahalar için geliştirilmiş, arazi penetrasyon deneyleri veya kayma dalga hızı değerlerine bağlı ampirik zemin sıvılaşması direnci bağıntı ve eğrileri (gerekli düzeltmeler uygulanarak) kullanılarak bulunacaktır. SPT deney sonuçlarından yararlanılarak sıvılaşma direncinin hesaplanması için önerilen yöntem **16B.3**'de verilmiştir. Deprem sarsıntısı sırasında gelişen kayma gerilmeleri, τ_{deprem} , basitleştirilmiş yöntem kullanılarak hesaplanacaktır.

16B.2. SPT VERİLERİNİN DÜZELTİLMESİ

16B.2.1. Ham SPT Verilerinin Düzeltilmesi

16B.2.1.1 – Araziden elde edilmiş ham SPT verileri, N , **Denk.(16B.1)** kullanılarak $N_{1,60}$ değerine düzeltilecektir.

$$N_{1,60} = NC_N C_R C_S C_B C_E \quad (16B.1)$$

Burada C_N kohezyonsuz zeminlerde uygulanan jeolojik gerilme (derinlik) düzeltme katsayısını, C_R tij boyu düzeltme katsayısını, C_S numune alıcı tipi düzeltme katsayısını, C_B sondaj delgi çapı düzeltme katsayısını, C_E enerji oranı düzeltme katsayısını göstermektedir.

16B.2.1.2 – Derinlik düzeltme katsayısı C_N **Denk.(16B.2)**'de verilen bağıntı ile hesaplanacaktır.

$$C_N = 9.78 \sqrt{\frac{1}{\sigma'_{v0}}} \leq 1.70 \quad (16B.2)$$

Denk.(16B.2)'de verilen bağıntıda deney derinliğindeki efektif düşey gerilme σ'_{v0} (kN/m²), Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapıldığı durumdaki arazi koşullarına göre hesaplanmaktadır. Deney sonrasında yapılan ek dolgu, temel gerilmesi veya zemin kazısı ve benzeri nedenler ile oluşan efektif gerilme değişiklikleri dikkate alınmayacaktır.

16B.2.1.3 – **Denk.(16B.1)**'de yer alan diğer düzeltme katsayıları **Tablo 16B.1**'de verilmiştir.

16B.2.2. SPT Verilerinin İnce Dane İçeriğine Göre Düzeltilmesi

İnce dane içeriğine (IDI) göre düzeltilmiş darbe sayıları $N_{1,60f}$ **Denk.(16B.3a)** ile hesaplanacaktır:

$$N_{1,60f} = \alpha + \beta N_{1,60} \quad (16B.3a)$$

Denk.(16B.3a)'daki α ve β katsayıları **Denk.(16B.3b)**'de verilmiştir:

$$\begin{aligned} \alpha = 0 \quad ; \quad \beta = 1.0 & \quad (IDI \leq \%5) \\ \alpha = \exp[1.76 - (190 / IDI^2)] \quad ; \quad \beta = 0.99 + IDI^{1.5} / 1000 & \quad (\%5 < IDI \leq \%35) \quad (16B.3b) \\ \alpha = 5.0 \quad ; \quad \beta = 1.2 & \quad (IDI \geq \%35) \end{aligned}$$

Tablo 16B.1. SPT Düzeltme Katsayıları

Düzeltilme Katsayısı	Değişken	Değer
C_R	3m ile 4m aralığında	0.75
	4m ile 6m aralığında	0.85
	6m ile 10m aralığında	0.95
	10m'den derin	1.00
C_S	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)	1.00
	İç tüpü olmayan numune alıcı	1.10-1.30
C_B	Çap 65mm-115mm arasında	1.00
	Çap 150mm	1.05
	Çap 200mm	1.15
C_E	Güvenli tokmak	0.60-1.17
	Halkalı tokmak	0.45-1.00
	Otomatik darbeli tokmak	0.90-1.60

16B.3. SIVILAŞMA DİRENCİNİN HESAPLANMASI

16B.3.1 – Sivilaşma direnci τ_R , moment büyüklüğü 7.5 olan depreme karşı gelen çevrimsel dayanım oranının ($CRR_{M7.5}$), tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme katsayısı (C_M) ve efektif düşey gerilme (σ'_{vo}) ile çarpılması ile hesaplanacaktır.

$$\tau_R = CRR_{M7.5} C_M \sigma'_{vo} \quad (16B.4a)$$

16B.3.2 – Çevrimsel dayanım oranı **Denk.(16B.4b)**'de verilen bağıntı ile hesaplanacaktır:

$$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34 - N_{1,60f}} + \frac{N_{1,60f}}{135} + \frac{50}{[10N_{1,60f} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (16B.4b)$$

Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı (C_M), tasarım depremi büyüklüğüne (M_w) bağlı olarak **Denk.(16B.4c)**'deki bağıntı ile hesaplanacaktır.

$$C_M = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \quad (16B.4c)$$

16B.4. DEPREMDE OLUŞAN KAYMA GERİLMESİNİN HESAPLANMASI

16B.4.1 – Zeminde oluşan kayma gerilmesi **Denk.(16B.5)**'deki ilişki ile hesaplanacaktır.

$$\tau_{deprem} = 0.65 \sigma_{vo} (0.4S_{DS}) r_d \quad (16B.5)$$

Burada σ_{vo} sınılaşma değerlendirmesi yapılan derinlikteki toplam dūşey gerilmeyi, r_d ilgili derinlikteki gerilme azaltma katsayısını, S_{DS} ise kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını göstermektedir.

16B.4.2 – Gerilme azaltma katsayısı, r_d incelenen derinliğe (z) bağlı olarak **Denk.(16B.6)**'daki bağıntı ile elde edilecektir.

$$\begin{aligned} r_d &= 1.0 - 0.00765z & z \leq 9.15\text{m} \\ r_d &= 1.174 - 0.0267z & 9.15\text{m} < z \leq 23\text{m} \\ r_d &= 0.744 - 0.008z & 23\text{m} < z \leq 30\text{m} \\ r_d &= 0.50 & z > 30\text{m} \end{aligned} \quad \text{(16B.6)}$$

EK 16C – DEPREM ETKİSİ ALTINDA YAPI – KAZIK – ZEMİN ETKİLEŞİMİ

16C.1. YAPI – ZEMİN ETKİLEŞİMİ

16C.1.1 – Genel olarak *yapı-zemin etkileşimi*, deprem etkisi altında zemin ortamı (ve eğer varsa kazıklar) ile üstyapının birlikte gözönüne alındığı yapı-zemin ortak sisteminde, yapı ve zeminin birbirlerini karşılıklı olarak etkilemesi olarak tanımlanır. Taban kayasında tanımlanan deprem yer hareketinden oluşan ve zemin ortamı içinde yayılarak yapı temeline ulaşan deprem dalgaları kısmen yapı temelinden yansıyarak zemin ortamına geri dönmekte, bir kısmı da üstyapıya geçerek onun titreşimine yol açmakta ve tekrar zemin ortamına geri dönmektedir.

16C.1.2 – Temelin yüzeysel olması durumunda, görelî yumuşak zeminlerde bina türü yapılar için dinamik yapı-zemin etkileşimi genellikle binayı elverişli yönde etkiler ve zeminden binaya geçen deprem dalgalarının meydana getirdiği eşdeğer deprem yüklerini azaltır. Güvenli tarafta kalma tercihi nedeni ile, temeli yüzeysel olan binalarda (bodrumlu binalar dahil olmak üzere) yapı-zemin etkileşimi bu nedenle ihmal edilebilir.

16C.1.3 – Buna karşılık görelî yumuşak zeminlerde kazıklı olarak inşa edilen binalarda *yapı – kazık – zemin etkileşimi*, özellikle kazıkların deprem davranışını önemli derecede etkiler. Taban kayasında tanımlanan deprem yer hareketinden oluşan ve zemin ortamı içinde yayılan deprem dalgalarının etkisi ile kazıklar önemli şekilde değişimlere ve zorlanmalara maruz kalırlar. Buna karşılık kazıklar, bina temelinde oluşan *etkin temel hareketi*'ni de gerek genlik, gerekse frekans içeriği bakımından önemli ölçüde değişikliğe uğratabilirler. Üstyapının eylemsizlik özelliğinin gözönüne alınmadığı *temel – kazık – zemin sistemi*'ndeki bu oluşuma *kinematik etkileşim* adı verilir. Kazıklar ayrıca *eylemsizlik etkileşimi* kapsamında titreşen üstyapıdan kazık-zemin ortamına geri dönen deprem dalgalarından ötürü ek zorlanmalara maruz kalırlar. Bu nedenlerle, zayıf zeminlerde temeli kazıklı olan binalarda yapı – kazık – zemin etkileşiminin gözönüne alınması gereklidir.

16C.1.4 – Temeli kazıklı olan binalar için yapılacak *kinematik etkileşim* ve *eylemsizlik etkileşimi* analizlerinde **16.10**'a göre kullanılacak üç yöntem **16C.2**, **16C.3** ve **16C.4**'te açıklanmıştır.

16C.2. YÖNTEM I İLE YAPI – KAZIK – ZEMİN ETKİLEŞİMİ HESABI

16C.2.1. Yöntem I – Kapsam

Yöntem I, **Tablo 16.5**'teki sınıflandırmaya göre, yerel zemin sınıfının ZD, ZE veya ZF olduğu durumlarda, DTS = 1, 1a, 2, 2a olan kazıklı *Yüksek Binalar* (BYS = 1) için **Bölüm 13**'teki III. Aşamada DD-1 deprem yer hareketinin etkisi altında zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan hesapta uygulanacaktır.

16C.2.2. Yöntem I – Kinematik Etkileşim Hesabı

16C.2.2.1 – Üstyapının eylemsizlik özelliğinin gözönüne alınmadığı *temel – kazık – zemin kinematik etkileşim hesabı modeli* aşağıdaki şekilde oluşturulacaktır:

(a) *Zemin ortamı*, **16.5.2.3**'e göre tanımlanan *mühendislik taban kayası*'nin üzerinde, *ayrık analiz yöntemleri* (sonlu elemanlar veya sonlu farklar) ile analiz edilecek şekilde üç boyutlu olarak modellenecektir. Mühendislik taban kayasının bina temelinden itibaren derinliği, en büyük bina genişliğinin üç katından ve en uzun kazık boyundan daha az olmayacaktır. Sonlu zemin modelinin dış çevresi boyunca ve ZA veya ZB olarak sınıflandırılmayan *mühendislik*

taban kayası'nda, zemin ortamından dışı doğru yayılan dalgaların içeriye yansımalarını önlemek için uygun olarak seçilmiş *geçirgen sınırlar* kullanılacaktır. Geçirgen sınırların binaya yatay uzaklığı, her iki doğrultuda ve her iki tarafta ayrı ayrı olmak üzere, bina temel genişliğinin üç katından daha az olmayacaktır. Zemin ortamının üç boyutlu *doğrusal olmayan* davranışı, deneysel verilerle uyumlu modeller kullanılarak gözönüne alınacaktır. **16.6**'ya göre sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerde, zaman tanım alanında *etkin gerilme* analizi yapılabilmesine olanak sağlayan *doğrusal olmayan* zemin bünye modelleri kullanılacaktır.

(b) Kazıklar, **5.3.1**'de tanımlanan plastik mafsalların derinlik boyunca uygun aralıklarla yerleştirildiği çubuk elemanlar olarak modellenecektir. Kazıklarla zemin ortamı arasında uygun seçilmiş *arayüz elemanları* kullanılacaktır. Deprem hesabından önce, düşey yüklerden kazıklarda oluşan eksenel kuvvetler doğrusal olmayan statik hesap ile belirlenecektir.

(c) Bina temeli, bodrum kat çevre perdeleri ile birlikte (zemin kat seviyesine kadar), kütsüz, sonsuz rijit bir eleman olarak modellenecektir.

(d) Deprem kayıtları, en az onbir (iki bileşenli) çift olmak üzere **2.5.1**'e göre seçilerek **2.5.3**'e göre dönüştürülecek ve mühendislik taban kayasından sisteme etki ettirilecektir.

16C.2.2.2 – Yöntem I'de, zaman tanım alanında yapılacak temel – kazık – zemin kinematik etkileşim analizi sonucunda, aşağıdaki çıktılar elde edilecektir:

(a) Kazıklardaki iç kuvvet ve şekildeğiştirme talepleri, yapılan analizlerin (en az $2 \times 11 = 22$ analiz) her birinden elde edilen sonuçların enbüyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanacaktır.

(b) $2 \times 11 = 22$ analiz için **16C.2.2.1(c)'ye göre modellenen rijit temelin tabanında, iki yatay eksen doğrultusunda ve bu eksenler etrafında dönme olarak tanımlanan serbestlik dereceleri için *etkin temel hareketleri*'ne ilişkin yerdeğiştirmelerin zamana göre değişimleri (*temel seviyesi deprem kayıtları*) ile bunlardan üretilen ivme spektrumları (*temel seviyesi deprem spektrumları*) elde edilecektir. Bu çıktılar, **16C.2.3**'te açıklanan *eylemsizlik etkileşimi hesabı*'nın girdileri olarak kullanılacaklardır.**

(c) Üstyapının eylemsizlik özelliği gözönüne alınmadığı ve bina temeli rijit alındığı için kinematik etkileşimden üstyapıda iç kuvvet meydana gelmez.

16C.2.3. Yöntem I – Eylemsizlik Etkileşimi Hesabı

Yöntem I'de *eylemsizlik etkileşimi* hesabı aşağıdaki şekilde yapılacaktır:

16C.2.3.1 – Temel – kazık – zemin sisteminde **16C.2.2.2(b)**'de etkin temel hareketlerinin tanımlandığı serbestlik derecelerine (rijit temelin tabanında iki yatay eksen doğrultusunda ve bu eksenler etrafında dönme için) ayrı ayrı statik tekil kuvvetler artımsal olarak etki ettirilerek, her bir serbestlik derecesi için doğrusal olmayan *artımsal statik hesap* yapılacaktır. Bu analizlerden, temel – kazık – zemin sistemini temsil eden *etkileşim yayları*'na ait doğrusal olmayan kuvvet – yerdeğiştirme ilişkilerinin iskelet eğrileri elde edilecektir.

16C.2.3.2 – Bina (üstyapı) taşıyıcı sistemi, **16C.2.2.1(c)**'de tanımlanan *bina temeli ve bodrum katları ile birlikte*, ve bunların kütleleri de gözönüne alınarak, **13.6.2**'ye göre modellenecektir. **16C.2.3.1**'de tanımlanmış bulunan *etkileşim yayları* bina temelinin tabanına yerleştirilecek ve bu yaylara uygun birer histeretik davranış modeli uyarlanacaktır. Bu şekilde oluşturan üstyapı-temel sistemine **16C.2.2.2(b)**'de tanımlanmış bulunan *etkin temel hareketleri*'ne ait ivme kayıtları uygulanarak sistemin zaman tanım alanında doğrusal olmayan *eylemsizlik etkileşimi hesabı* yapılacaktır.

16C.2.3.3 – Yöntem I’de *eylemsizlik etkileşimi* hesabı, üstyapı (bina) taşıyıcı sisteminin **5.7**’ye göre yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesabının, *yapı – kazık – zemin etkileşimi*’nin gözönüne alındığı şekline karşı gelmektedir.

16C.2.3.4 – Yöntem I’de *eylemsizlik etkileşimi* hesabı sonucunda aşağıdaki çıktılar elde edilecektir:

(a) Üstyapıda ve üstyapı temelinde (bodrumlar dahil) iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme taleplerinin zamana bağlı değişimleri elde edilecektir.

(b) Temel tabanında tanımlanan yaylarda oluşan *etkileşim yerdeğiştirmeleri*’nin ve *etkileşim kuvvetleri*’nin zamana bağlı değişimleri elde edilecektir. Bunlardan ve **16C.2.3.1**’de yapılmış bulunan *artımsal statik hesap* sonuçlarından yararlanılarak, eylemsizlik etkileşiminde kazıklarda oluşan iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler hesaplanacaktır.

(c) Eylemsizlik etkileşimi hesabı sonucunda kazıklarda elde edilen iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler, kinematik etkileşim hesabından elde edilenlerle **16C.5**’e göre birleştirilecektir. Betonarme ve çelik kazıklar için izin verilen birim şekildeğiştirme ve iç kuvvet sınırları **5.8.3**’te tanımlanmıştır.

(d) Eylemsizlik etkileşim sonucunda üstyapı (bina) taşıyıcı sisteminde oluşan etkilerin, etkileşim dikkate alınmaksızın yapılan bina hesaplarından elde edilenlerden daha elverişli olması durumunda, üstyapı (bina) taşıyıcı sisteminde etkileşim etkileri dikkate alınmayacaktır.

16C.2.4. Yöntem I – Ortak Sistem Yaklaşımı ile Etkileşim Hesabı

Yöntem I’de etkileşim hesabı, bilgisayar donanım ve yazılım olanaklarına bağlı olarak üstyapı, temel, kazıklar ve zemin için **16C.2.2** ve **16C.2.3**’de tanımlanan kinematik etkileşim ve eylemsizlik etkileşimi modellerinin birleştirilmesi ile elde edilen *ortak sistem*’in taban kayasında tanımlanan deprem etkisi altında zaman tanım alanında hesabı olarak da gerçekleştirilebilir.

16C.3. YÖNTEM II İLE YAPI – KAZIK – ZEMİN ETKİLEŞİMİ HESABI

16C.3.1. Yöntem II – Kapsam

Yöntem II, **Tablo 16.5**’teki sınıflandırmaya göre, yerel zemin sınıfının ZD, ZE veya ZF olduğu durumlarda,

(a) DTS = 3, 3a, 4, 4a olan kazıklı *Yüksek Binalar* (BYS = 1) için **Bölüm 13**’teki III. Aşamada DD-1 deprem yer hareketinin etkisi altında zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan hesapta uygulanacaktır.

(b) DTS = 1a, 2a ve BYS = 2, 3 olan kazıklı binalar için **Tablo 3.4(a)** ve **5.1.3.2**’ye göre DD-1 deprem yer hareketinin etkisi altında zaman tanım alanında yapılan doğrusal olmayan hesapta uygulanacaktır.

16C.3.2. Yöntem II – Kinematik Etkileşim Hesabı

16C.3.2.1 – Yöntem II’de, üstyapının eylemsizlik özelliğinin gözönüne alınmadığı *temel – kazık – zemin kinematik etkileşim hesabı modeli* aşağıdaki şekilde oluşturulacaktır:

(a) *Zemin ortamı* için herhangi bir modelleme yapılmayacaktır. Zemin ortamının etkisi, dolaylı olarak, aşağıdaki (d) paragrafında gözönüne alınacaktır.

(b) *Kazıklar*, 5.3.1’de tanımlanan plastik mafsalların derinlik boyunca uygun aralıklarla yerleştirildiği çubuk elemanlar olarak modellenecektir. Her bir kazık düğüm noktasında kazık ile zemin ortamı arasındaki göreceli kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, doğrusal olmayan p-y, t-z yayları ile, kazık ucunda ise Q-Z yayı ile modellenecektir (Bkz.16C.6). p-y yayları, her bir düğüm noktasında ve her iki doğrultuda birer çift *sadece-basınç yayı* olarak tanımlanabilir. Deprem hesabından önce t-z ve Q-Z yayları kullanılarak düşey yüklerden kazıklarda oluşan eksenel kuvvetler hesaplanacaktır. Kazıklarda *grup etkisi*’nin yaklaşık olarak gözönüne alınması için Denk.(16C.1)’de verilen ampirik bağıntı ile hesaplanan azaltma katsayıları β_G , p-y yayları için tanımlanan kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerinin kuvvet (p) eksenine uygulanacaktır:

$$\beta_G = 0.2 [(1 - \beta_{G1})s - (1 - 6\beta_{G1})] \quad (16C.1)$$

Burada s , gözönüne alınan doğrultuda kazık sıraları ara uzaklığının kazık çapına oranını ($s \leq 6$), β_{G1} ise her bir kazık sırası için farklı olarak uygulanacak bir katsayıyı göstermektedir. *Sadece-basınç yayları*’na uygulanmak üzere yanal basınca maruz en öndeki kazık sırası için $\beta_{G1} = 0.7$, onun arkasındaki ikinci kazık sırası için $\beta_{G1} = 0.45$, üçüncü kazık sırası için $\beta_{G1} = 0.3$, dördüncü ve daha arkadaki kazık sıraları için ise $\beta_{G1} = 0.2$ alınacaktır. Ters yöndeki yerdeğiştirmeler için bu katsayılar aynı kazıklara ters sıra ile uygulanacaktır. $s > 6$ için $\beta_G = 1$ alınacaktır.

(c) *Bina temeli*, 16C.2.2.1(c)’deki tanıma göre bodrum katlarını da içermek üzere, kütsüz, sonsuz rijit bir eleman olarak modellenecektir. Bodrum perdeleri ile zemin arasındaki yatay kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisini temsil etmek üzere, perde sonlu eleman düğüm noktalarında perdeye dik doğrultuda literatürden seçilmiş p-y benzeri doğrusal olmayan *sadece-basınç yayları* kullanılacaktır.

(d) *Deprem kayıtları* olarak, 16.5.2’ye göre yapılan serbest zemin davranış analizlerinde taban kayasında her iki yatay doğrultuda ayrı ayrı etkilenen deprem kaydı çiftinden zemin profili boyunca kazık düğüm noktaları hizalarında elde edilen *toplam yerdeğiştirmelerin zamana göre değişimleri* kullanılacaktır (*toplam yerdeğiştirme*, taban kayasının yerdeğiştirmesi ile zeminde meydana gelen rölatif yerdeğiştirmenin toplamıdır). Her bir t anında toplam yerdeğiştirmeler, her iki yatay doğrultuda eş zamanlı olarak, bir uçlarından kazık düğüm noktalarına bağlı olan p-y yaylarının öteki uçlarına basınç yönünde uygulanacaktır (*dinamik yerdeğiştirme yüklemesi*). Bu yerdeğiştirmeler, bodrumlu binalarda bir uçları perde sonlu eleman düğüm noktalarına bağlı p-y benzeri yayların öteki uçlarına da basınç yönünde uygulanacak ve böylece kinematik etkileşim modelinin zaman tanım alanında deprem analizi yapılacaktır.

16C.3.2.2 – Yöntem II’de temel – kazık – zemin kinematik etkileşim analizi sonucunda, aşağıdaki çıktılar elde edilecektir:

(a) Kazıklardaki iç kuvvet ve şekildeğiştirme talepleri, yapılan analizlerin (en az $2 \times 11 = 22$ analiz) her birinden elde edilen sonuçların enbüyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanacaktır.

(b) $2 \times 11 = 22$ analiz için 16C.2.2.1(c)’ye göre modellenen rijit temelin tabanında, iki yatay eksen doğrultusunda ve bu eksenler etrafında dönme olarak tanımlanan serbestlik dereceleri için *etkin temel hareketleri*’ne ilişkin toplam yerdeğiştirmelerin zamana göre değişimleri (*temel seviyesi deprem kayıtları*) ile bunlardan üretilen ivme spektrumları (*temel seviyesi deprem spektrumları*) elde edilecektir. Bu çıktılar, 16C.3.3’te açıklanan *eylemsizlik etkileşimi hesabı*’nın girdileri olarak kullanılacaklardır.

(c) Üstyapının eylemsizlik özelliği gözönüne alınmadığı ve bina temeli rijit alındığı için kinematik etkileşimde üstyapıda iç kuvvet meydana gelmez.

16C.3.3. Yöntem II – Eylemsizlik Etkileşimi Hesabı

16C.3.3.1 – Yöntem II’de eylemsizlik etkileşimi hesabının adımları, Yöntem I için **16C.2.3.1** ve **16C.2.3.2**’de açıklanan hesap adımlarının aynıdır. Farklılık sadece hesap modelindedir. Yöntem I’deki temel-kazık-zemin ortamı modeli yerine Yöntem II’de temel-kazık-zemin yayları (p-y, t-z ve Q-Z yayları) modeli gözönüne alınmaktadır.

16C.3.3.2 – Yöntem II’de *eylemsizlik etkileşimi* hesabı, bina taşıyıcı sisteminin **5.7**’ye göre zaman tanım alanında hesap yöntemi ile yapılan doğrusal olmayan hesabının, *yapı – kazık – zemin etkileşimi*’nin gözönüne alındığı şekline karşı gelmektedir.

16C.3.3.3 – Yöntem II’de *eylemsizlik etkileşimi* hesabı sonucunda aynen Yöntem I için **16C.2.3.4**’de belirtilen çıktılar elde edilecektir.

16C.3.3.4 – Eylemsizlik etkileşimi hesabı sonucunda kazıklarda elde edilen iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler, kinematik etkileşim hesabından elde edilenlerle **16C.5**’e göre birleştirilecektir. Betonarme ve çelik kazıklar için izin verilen birim şekildeğiştirme ve iç kuvvet sınırları **5.8.3**’te tanımlanmıştır.

16C.3.3.5 – Eylemsizlik etkileşim sonucunda üstyapı (bina) taşıyıcı sisteminde oluşan etkilerin, etkileşim dikkate alınmaksızın yapılan bina hesaplarında elde edilenlerden daha elverişli olması durumunda, üstyapı (bina) taşıyıcı sisteminde etkileşim etkileri dikkate alınmayacaktır.

16C.3.4. Yöntem II – Ortak Sistem Yaklaşımı ile Etkileşim Hesabı

Yöntem II’de etkileşim hesabı, bilgisayar donanım ve yazılım olanaklarına bağlı olarak üstyapı, temel, kazıklar ve zemin için **16C.3.2** ve **16C.3.3**’de tanımlanan kinematik etkileşim ve eylemsizlik etkileşimi modellerinin birleştirilmesi ile elde edilen *ortak sistem*’in zaman tanım alanında hesabı olarak da gerçekleştirilebilir. Bu durumda, **16C.3.2.1(d)**’de açıklandığı üzere, serbest zemin davranış analizlerinden elde edilen *toplam yerdeğiştirmeler*, her iki yatay doğrultuda aynı anda, bir uçlarından kazık düğüm noktalarına bağlı olan p-y yaylarının öteki uçlarına basınç yönünde uygulanarak (*dinamik yerdeğiştirme yüklemesi*) ortak sistemin zaman tanım alanında hesap yapılır. Bu tür etkileşim hesabı çoğu durumda pratik bir hesap olarak tercih edilebilir.

16C.4. YÖNTEM III İLE YAPI – KAZIK – ZEMİN ETKİLEŞİMİ HESABI

16C.4.1. Yöntem III – Kapsam

Yöntem III, **Tablo 16.5**’teki sınıflandırmaya göre, yerel zemin sınıfının ZD, ZE veya ZF olduğu durumlarda,

(a) DTS = 1a, 2a ve $BYS \geq 4$ olan kazıklı binalar için **4.7** veya **4.8.2**’ye göre DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında yapılan doğrusal hesapta uygulanacaktır.

(b) DTS = 1, 2, 3, 3a ve $BYS \geq 2$ olan kazıklı binalar için **4.7** veya **4.8.2**’ye göre DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında yapılan doğrusal hesapta uygulanacaktır.

16C.4.2. Yöntem III – Kinematik Etkileşim Hesabı

Yöntem III ile yapılacak temel – kazık – zemin kinematik etkileşim hesabı, 16C.3.2'ye göre Yöntem II ile yapılan hesabın basitleştirilmiş şekline karşı gelmektedir.

16C.4.2.1 – Yöntem III'de, üstyapının eylemsizlik özelliğinin gözönüne alınmadığı temel – kazık – zemin kinematik etkileşim hesabı modeli aşağıdaki şekilde oluşturulacaktır.

(a) *Zemin ortamı* için herhangi bir modelleme yapılmayacaktır. Zemin ortamının etkisi, dolaylı olarak, aşağıdaki (d) paragrafında gözönüne alınacaktır.

(b) *Kazıklar*, gözönüne alınan deprem doğrultusunda doğrusal davranış esas alınarak 4.5.2'ye göre çubuk elemanlar olarak modellenecektir. Her bir kazık düğüm noktasında kazık ile zemin ortamı arasındaki görelî kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi, doğrusal olmayan p-y, t-z yayları ile, kazık ucunda ise Q-Z yayı ile modellenecektir (Bkz.16C.6). p-y yayları, her bir düğüm noktasında ve her iki doğrultuda birer çift *sadece-basınç yayı* olarak tanımlanabilir. Deprem hesabından önce t-z ve Q-Z yayları kullanılarak düşey yüklerden kazıklarda oluşan eksenel kuvvetler hesaplanacaktır. Kazıklarda *grup etkisi*'nin yaklaşık olarak gözönüne alınması için **Denk.(16C.1)**'de verilen ampirik bağıntı kullanılacaktır.

(c) *Bina temeli*, 16C.2.2.1(c)'deki tanıma göre bodrum katlarını da içermek üzere, kütesiz, sonsuz rijit bir eleman olarak modellenecektir. Bodrum perdeleri ile zemin arasındaki yatay kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisini temsil etmek üzere, perde sonlu eleman düğüm noktalarında perdeye dik doğrultuda literatürden seçilmiş p-y benzeri doğrusal olmayan yaylar kullanılacaktır.

(d) 16.5.2'ye göre yapılan tek boyutlu serbest zemin davranış analizlerinde gözönüne alınan deprem doğrultusunda taban kayasından yatay doğrultuda etkililen depremlerden (onbir adet deprem kaydı) her biri için, zemin profili boyunca kazık düğüm noktaları hizalarında elde edilen *toplam yerdeğiştirmeler*'in zamana göre maksimumlarının zarfı alınacaktır. Toplam yerdeğiştirme zarfı, bir uçlarından kazık düğüm noktalarına bağlı olan *doğrusal olmayan* p-y yaylarının öteki uçlarına *basınç yönünde* sıfırdan başlayarak *statik olarak artımsal şekilde* uygulanacaktır (*statik artımsal yerdeğiştirme yüklemesi*). Aynı yerdeğiştirme zarfı, bodrumlu binalarda bir uçları perde sonlu eleman düğüm noktalarına bağlı p-y benzeri yayların öteki uçlarına da *basınç yönünde* uygulanacak ve böylece kinematik etkileşim modelinin yaklaşık *artımsal statik hesabı* yapılmış olacaktır.

16C.4.2.2 – Yöntem III'te temel – kazık – zemin kinematik etkileşim analizi sonucunda, kazıklardaki iç kuvvet talepleri, her bir deprem doğrultusunda onbir deprem kaydı için ayrı ayrı yapılan analizlerin her birinden elde edilen sonuçların enbüyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanacaktır. Bu şekilde elde edilen kazık eğilme momentleri $R = 2.5$ katsayısına bölünerek azaltılacaktır. Kesme kuvvetleri ve eksenel kuvvetler için azaltma yapılmayacaktır.

16C.4.2.3 – Yöntem I ve Yöntem II'de elde edilen *etkin temel hareketleri*'ne ilişkin yerdeğiştirme ve spektrumların, statik kinematik etkileşim hesabına dayalı Yöntem III'te hesaplanması söz konusu değildir. Bunların yerine, yaklaşık olarak 16.5.2'ye göre yapılan serbest zemin davranış analizlerinden temel tabanında elde edilen spektrumların ortalaması, 16C.4.3'te verilen eylemsizlik etkileşimi hesabında *tasarım spektrumu* olarak kullanılabilir. Ancak bu spektrumun ordinatları, temel tabanında 16.4'e göre tanımlanan yerel zemin sınıfı için 2.3.4'te verilen tasarım spektrumunun ordinatlarından daha küçük alınmayacaktır.

16C.4.3. Yöntem III – Eylemsizlik Etkileşimi Hesabı

16C.4.3.1 – Yöntem III’te eylemsizlik etkileşimi hesabı, doğrusal davranış esas alınarak üstyapı-temel-kazık-zemin yaylarından (p-y, t-z ve Q-Z yayları) oluşan *ortak sistem modeli* ile yapılabilir. Ancak bu modelde zemin yaylarının *doğrusal* davranışları (başlangıç rijitlikleri) dikkate alınacaktır. Modelde temelin ve bodrum katlarının kütleleri gözönüne alınacak, kazıkların kütleleri ise alınmayacaktır. Deprem verisi olarak, gözönüne alınan deprem doğrultusunda **16C.4.2.3**’e göre tanımlanan deprem spektrumu kullanılacaktır.

16C.4.3.2 – Yöntem III’de *eylemsizlik etkileşimi* hesabı, bina taşıyıcı sisteminin **4.7** veya **4.8.2**’ye göre yapılan doğrusal deprem hesabının, *yapı – kazık – zemin etkileşimi*’nin gözönüne alındığı şekline karşı gelmektedir.

(a) **3.3.1**’de verilen tanıma göre dıştan rijit perdelerle çevrelenen bodrumların bulunduğu binalarda, **4.7.5** veya **4.8.5**’e göre doğrusal deprem hesabı için uygulanan *iki adımlı hesap yaklaşımı*’nda kazıklar, bodrum elemanları ile birlikte gözönüne alınacak ve bodrumlar için uygulanan *R* ve *D* katsayıları, eylemsizlik etkileşiminden kazıklarda meydana gelen iç kuvvetlere de uygulanacaktır.

(b) Bodrumsuz binalarda ise, bina (üstyapı) taşıyıcı sistemi için uygulanan *R* ve *D* katsayıları, eylemsizlik etkileşiminden kazıklarda meydana gelen iç kuvvetlere aynen uygulanacaktır.

16C.4.3.3 – Eylemsizlik etkileşimi hesabı sonucunda kazıklarda her bir deprem doğrultusu için **16C.4.3.2**’ye göre elde edilen iç kuvvetler, kinematik etkileşim hesabından kazıklar için her bir deprem doğrultusunda **16C.4.2.2**’ye göre elde edilen iç kuvvetlerle **16C.5**’e göre birleştirilecektir. Birbirine dik doğrultulardaki depremlerden oluşan kazık iç kuvvetleri daha sonra **4.4.2**’ye göre birleştirilecektir.

16C.4.3.4 – Eylemsizlik etkileşim sonucunda üstyapı (bina) taşıyıcı sisteminde oluşan etkilerin, etkileşim dikkate alınmaksızın yapılan bina hesaplarında elde edilenlerden daha elverişli olması durumunda, üstyapı (bina) taşıyıcı sisteminde etkileşim etkileri dikkate alınmayacaktır.

16C.5. KAZIKLARDA DEĞERLENDİRMEYE / TASARIMA ESAS ŞEKİLDEĞİŞTİRMELER VE İÇ KUVVETLER

16C.2, **16C.3** ve **16C.4**’te açıklanan yöntemler ile yapılan hesaplar sonucunda kazıklarda değerlendirilmeye / tasarıma esas şekildeğiştirmeler ve iç kuvvetler, kinematik ve eylemsizlik etkileşimi sonuçlarının mutlak değerlerinin toplamı olarak hesaplanacaktır.

16C.6. KAZIK – ZEMİN ETKİLEŞİMİ İÇİN DOĞRUSAL OLMAYAN ZEMİN YAYLARI

16C.6.1. Tanım

Kazık–zemin etkileşiminin modellenmesi amacı ile yanal davranış için doğrusal olmayan p–y yayları, aksenal davranış (çevre sürtünmesi) için t–z yayları ve aksenal kazık uç davranışı için Q–Z yayları kullanılacaktır.

(a) p–y yayları kapsamında yumuşak kil için ($s_u < 50$ kPa) Matlock (1970), su seviyesi altındaki katı kil için Reese ve diğerleri (1975), su seviyesi üstündeki katı kil için Welch and Reese (1972), kum için Reese ve diğerleri (1974) tarafından statik ve tekrarlı yüklemeler için geliştirilen doğrusal olmayan bağıntılar kullanılabilir.

(b) t-z ve Q-Z yayları için ise, American Petroleum Institute API WSD RP-2A (2000)'de tanımlanan nonlinear bağıntılar kullanılabilir.

16C.6.2. p-y Yayları için Kaynaklar

(a) Matlock, H. (1970). "Correlation for design of laterally loaded piles in soft clay." Proc., 2nd Annu. Offshore Technology Conference, Paper No. OTC 1204, Houston, Texas, pp. 577-594.

(b) Reese, L. C. and Welch, R. C. (1975). "Lateral loading of deep foundation in stiff clay." Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 101(7), pp. 633-649.

(c) Reese, L. C., Cox, W. R., and Koop, F. D. (1975). "Field testing and analysis of laterally loaded piles in stiff clay." Proc. 7th Offshore Technology Conference, Paper No. OTC 2321, Houston, Texas, pp. 671-690.

(d) Welch, R. C. and Reese, L. C. (1972). "Laterally loaded behavior of drilled shafts." Research Report 3-5-65-89, Center for Highway Research, University of Texas, Austin.

(e) Reese, L. C., Cox, W. R., and Koop, F. D. (1974). "Analysis of laterally loaded piles in sand." Proc. 6th Offshore Technology Conference, Paper 2080, Houston, Texas, pp. 473-483.

16C.6.3. t-z ve Q-Z Yayları için Kaynak

API WSD RP-2A (2000). Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms, American Petroleum Institute.

EK 16D – ARAZI ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN YERİNDE İYİLEŞTİRİLMESİ

Etkilerin dirençler tarafından karşılanamadığı durumlarla, deprem sırasında zemin sıvılaşmasının tetiklenmesi ve/veya büyük dayanım/rijitlik kaybına uğraması beklenen zeminlerde, zemin özelliklerinin yerinde iyileştirilmesi veya güçlendirmesi yoluna başvurulabilir. Uygun zemin iyileştirme veya güçlendirme yöntemi, *geoteknik* alanında sorumlu inşaat mühendisince aşağıda sıralanan genel ilkelerden yararlanılarak belirlenir.

16D.1 – Gevşek ve orta sıkı kohezyonsuz (iri daneli) zeminlerde, sıklık derecesinin artırılması en etkin iyileştirme yoludur. Sıklık derecesinin artırılmasında zemine titreşimler uygulayan yöntemler daha etkindir. Titreşimli yöntemler; derin kompaksiyon (sıkıştırma), vibroflotasyon, sıkıştırma kazıkları, vibrasyonlu sondalar, patlatma, yüzeyden titreşimli silindirlerle sıkıştırma vb. olarak sayılabilir.

16D.2 – Yumuşak-katı kohezyonlu (ince daneli) zeminlerde, zeminin su muhtevasını azaltıcı, konsolidasyon basıncını artırıcı ve iç yapısını kuvvetlendirici yöntemler ile etkili iyileştirme sağlanabilir. Bu kapsamda, drenaj, yeraltı suyu düzeyini düşürme, konsolidasyon yöntemleri (önyükleme, elektro ozmotik, vakum etkisinde) kullanılabilir. Ayrıca, çimento, kireç gibi bağlayıcı katkı malzemeleri karıştırarak katılaştırma (derin karıştırma) ve enjeksiyon yöntemleri kullanılabilir. Suyu doymun olmayan ve plastisitesi yüksek olmayan kohezyonlu zeminlerde, derin kompaksiyon (sıkıştırma) yönteminden de yararlanılabilir.

16D.3 – Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde, zemin içinde rijit elemanlar (taş kolonlar, jet enjeksiyonu kolonları, beton kolonlar vb.) oluşturulması ile statik ve deprem yüklerinin ağırlıklı olarak bu elemanlar tarafından karşılanması sağlanabilir.

16D.4 – Zemin iyileştirmesi tasarımında, iyileştirilecek zemin özellikleri (sıklık derecesi, kayma dayanımı, sıkışma modülü, vb.) ve hedeflenen iyileşme derecesi açıklıkla belirtilmelidir. Seçilen zemin iyileştirme yönteminin saha uygulaması aletsel gözlemlerle yakından izlenmeli, mevcut duruma göre sağlanan iyileşme derecesi ve tasarımda hedeflenen iyileşmenin gerçekleşme durumu kontrol edilmelidir.

16D.5 – Mevcut bir yapının altında zemin iyileştirmesi için uygulanabilecek önlemler daha sınırlıdır. Yapı temelleri altında çalışmanın zorluğu yanında, iyileştirme yöntemlerinin uygulanması sırasında gelişebilecek olası zemin yerdeğştirmelerinin dikkate alınması gerekir. Bazı durumlarda yapı çevresinde alınan önlemlerle, deprem sırasında oluşabilecek yanal zemin yerdeğştirmelerinin sınırlandırılması yoluna başvurulabilir.

16D.6 – Zemin güçlendirme yöntemleri yerine (veya ile birlikte) temel sisteminin değıştirilmesi (kazıklı veya baret temeller, çevre diyafram duvar, rijit bodrum temel tasarımı vb.) ve üstyapıda tasarım değışiklikleri yapılması yoluna da başvurulabilir.

BÖLÜM 17 – DÜZENLİ YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR İÇİN BASİTLEŞTİRİLMİŞ TASARIM KURALLARI

17.0. SİMGELER

Bu bölümde aşağıdaki simgelerin kullanıldığı boyutlu ifadelerde aksi belirtilmedikçe kuvvetler *kiloNewton* [kN], uzunluklar *metre* [m], alanlar *metrekare* [m²] ve yayılı yükler *kiloNewton/metrekare* [kN/m²] birimindedir.

A_{ci}	= Gözönüne alınan kolonun enkesit alanı
A_g	= Kolon veya perdenin enkesit alanı
A_{pt}	= Bina taban alanı
A_s	= Kiriş enkesitinde çekme etkisi altındaki eğilme donatısı alanı
A_{sg}	= Kolon enkesiti için göz önüne alınan doğrultuda iç sıra boyuna donatıların alanlarının toplamı veya perde enkesiti için perde gövdesindeki boyuna donatı alanlarının toplamı
A_{sh}	= Kolon orta bölgesinde s enine donatı aralığına karşı gelen yükseklik boyunca, tüm etriye kollarının ve çirozların enkesit alanı değerlerinin gözönüne alınan kolon enkesit genişliğine (b) dik doğrultudaki izdüşümlerinin toplamı
A_{su}	= Kolon enkesiti için göz önüne alınan doğrultuda en dış sıra boyuna donatıların alanlarının toplamı veya perde enkesiti için uç bölgelerindeki boyuna donatı alanlarının toplamı
A_{st}	= Kolon enkesitinde toplam boyuna donatısı alanı
A_{sw}	= Kiriş orta bölgesinde s enine donatı aralığına karşı gelen uzunluk boyunca, tüm etriye kollarının ve çirozların enkesit alanı değerlerinin toplamı
a	= Kolon orta bölgesinde etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık
BKS	= Bina Kullanım Sınıfı
b	= Kolon veya perdenin göz önüne alınan doğrultu için enkesit genişliği
b_w	= Kiriş gövde genişliği veya perde kalınlığı
DTS	= Deprem Tasarım Sınıfı
d	= Kiriş, kolon veya perde enkesitinde basınç etkisi altındaki beton yüzeyinden çekme etkisi altındaki eğilme donatısının merkezine olan uzaklık
d'	= Kiriş, kolon veya perde enkesitinde basınç etkisi altındaki beton yüzeyinden basınç etkisi altındaki eğilme donatısının merkezine olan uzaklık
E_d	= Göz önüne alınan yatay doğrultuda tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$	= Düşey doğrultuda deprem etkisi
e_x, e_y	= x ve y doğrultularında kat kütle merkezi ve rijitlik merkezi arasındaki uzaklık
F_i	= Binada i 'nci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü

F_j	= Binada j'nci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
$F_{per,j}$	= Perdeye j'nci katta aktarılan yatay deprem kuvveti
f_{ck}	= Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{cd}	= Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{yk}	= Donatı çeliğinin karakteristik akma dayanımı
f_{yd}	= Donatı çeliğinin tasarım akma dayanımı
G	= Sabit yük etkisi
g	= Göze alınan düşey taşıyıcı elemanın alan payına her bir katta etki eden veya kat geneline etki eden yük katsayılarıyla büyütülmemiş ortalama yayılı sabit yük [kN/m ²]
H	= Yatay zemin itkisi etkisi
H_i	= Binanın i'nci katının temel üstünden ölçülen yüksekliği veya bodrum katta dört taraftan rijit bodrum perdeleriyle çevrili binanın i'nci katının zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen yüksekliği üstünden itibaren toplam kat adedi
H_w	= Herhangi bir perdenin temel üstünden ölçülen toplam yüksekliği veya bodrum katta dört taraftan rijit bodrum perdeleriyle çevrili binada perdenin zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği
H_ℓ	= Bina zemin kat yüksekliği
h	= Kolon veya perdenin göz önüne alınan doğrultu için enkesit yüksekliği
h_i	= Binanın i'nci katının (i'nci kat döşemesi altındaki katın) kat yüksekliği
I	= Bina önem katsayısı
I_i	= Zemin katta tek bir kolonun gözönüne alınan doğrultuda enkesit eylemsizlik momenti
I_{kol}	= Göz önüne alınan doğrultuda kolon enkesitinin eylemsizlik momenti
I_{per}	= Göz önüne alınan doğrultuda perde enkesitinin eylemsizlik momenti
k_T	= Binanın burulma rijitliği
k_x	= Perdenin x doğrultusundaki yatay rijitliği
k_y	= Perdenin y doğrultusundaki yatay rijitliği
ℓ_{kn}	= Döşeme parçasının kısa doğrultusundaki kirişin serbest açıklığı
ℓ_n	= Kiriş serbest açıklığı
ℓ_w	= Perdenin kat planındaki uzunluğu
M_{br}	= Kolon veya perde kesitleri için f_{cd} ve f_{yd} göz önüne alınarak hesaplanan dengeli duruma karşı gelen eğilme momenti

- M_d = Çözümlemeden elde edilen tasarıma esas eğilme momenti
- M_{dev} = Binanın tabanında oluşan toplam devrilme momenti
- M_i = Binanın i'nci katında oluşan toplam devrilme momenti
- M_{kir} = Herhangi bir kiriş kesitinde düşey yüklerden dolayı oluşan eğilme momenti
- $M_{kir,i}$ = Binanın i'nci katındaki herhangi bir kiriş kesitinde deprem etkilerinden dolayı oluşan eğilme momenti
- M_{kol} = Herhangi bir kolon kesitinde düşey yüklerden dolayı oluşan eğilme momenti
- $M_{kol,i}$ = Binanın i'nci katındaki herhangi bir kolon kesitinde deprem etkilerinden dolayı oluşan eğilme momenti
- M_p = Kolon veya kiriş kesitleri için f_{ck}, f_{yk} ve çeliğin dayanım artışı göz önüne alınarak hesaplanan moment dayanımı
- M_{pa} = Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucunda f_{ck}, f_{yk} ve çeliğin dayanım artışı göz önüne alınarak hesaplanan moment dayanımı
- $M_{pü}$ = Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucunda f_{ck}, f_{yk} ve çeliğin dayanım artışı göz önüne alınarak hesaplanan moment dayanımı
- M_{pi} = Kirişin i ucundaki kolon veya perde yüzünde f_{ck}, f_{yk} ve çeliğin dayanım artışı göz önüne alınarak hesaplanan pozitif veya negatif moment dayanımı
- M_{pj} = Kirişin j ucundaki kolon veya perde yüzünde f_{ck}, f_{yk} ve çeliğin dayanım artışı göz önüne alınarak hesaplanan pozitif veya negatif moment dayanımı
- M_{per} = Herhangi bir perdede düşey yüklerden dolayı oluşan eğilme momenti
- $M_{per,dev}$ = Herhangi bir perdenin tabanında deprem etkilerinden dolayı oluşan eğilme momenti
- $M_{per,i}$ = Binanın i'nci katındaki herhangi bir perdede deprem etkilerinden dolayı oluşan eğilme momenti
- M_r = Kolon, kiriş veya perde kesitleri için f_{cd} ve f_{yd} göz önüne alınarak hesaplanan taşıma gücü momenti
- M_{ri} = Kirişin i ucundaki kolon veya perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} göz önüne alınarak hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
- M_{rj} = Kirişin j ucundaki kolon veya perde yüzünde f_{cd} ve f_{yd} göz önüne alınarak hesaplanan pozitif veya negatif taşıma gücü momenti
- M_{ra} = Kolon serbest yüksekliğinin üst ucunda taşıma gücü momenti
- $M_{rü}$ = Kolon serbest yüksekliğinin alt ucunda taşıma gücü momenti
- m = Döşeme parçası için uzun kenar / kısa kenar oranı

N	= Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı veya bodrum katta dört taraftan rijit bodrum perdeleriyle çevrili binada zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısı.
N_{br}	= Kolon veya perde kesitleri için f_{cd} ve f_{yd} göz önüne alınarak hesaplanan dengeli duruma karşı gelen basınç kuvveti
N_d	= Çözümlemeden elde edilen tasarıma esas aksenal kuvvet
N_{tr}	= Kolon veya perde kesitleri için f_{yd} göz önüne alınarak hesaplanan aksenal çekme dayanımı
N_{0r}	= Kolon veya perde kesitleri için f_{cd} ve f_{yd} göz önüne alınarak hesaplanan aksenal basınç dayanımı
n	= Hareketli yük katılım katsayısı
$n_{iç}$	= Binada göz önüne alınan doğrultudaki iç kolon sayısı
$n_{dış}$	= Binada göz önüne alınan doğrultudaki dış kolon sayısı
p	= Kata etki eden yayılı sabit ve hareketli yüklerin toplamı ($g+q$)
Q	= Hareketli yük etkisi
q	= Göze alınan düşey taşıyıcı elemanın alan payına her bir katta etki eden veya kat geneline etki eden yük katsayılarıyla büyütülmemiş ortalama yayılı hareketli yük [kN/m ²]
R_a	= Deprem yükü azaltma katsayısı
S	= Kar yükü etkisi
S_{DS}	= Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
s	= Kolon veya kiriş orta bölgesinde enine donatı ve çiroz aralığı
T_i	= Binanın i 'nci katında oluşan toplam burulma momenti
$T_{kat,j}$	= Binada j 'nci kata etkiyen burulma momenti
T_t	= Binanın tabanında oluşan toplam burulma momenti
V_{dy}	= Basit kiriş kesme kuvveti
V_e	= Kolon, kiriş ve perdeler için tasarıma esas kesme kuvveti
V_i	= Binanın i 'nci katında oluşan kat kesme kuvveti
V_{kir}	= Herhangi bir kiriş kesitinde düşey yüklerden dolayı oluşan kesme kuvveti
$V_{kol,i}$	= Binanın i 'nci katındaki herhangi bir kolonda deprem etkilerinden dolayı oluşan kesme kuvveti
$V_{per,i}$	= Binanın i 'nci katındaki herhangi bir perdede deprem etkilerinden dolayı oluşan kesme kuvveti
V_t	= Binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)

W	= Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
w	= Döşemeden herhangi bir kirişe aktarılan düzgün yayılı (çizgisel) düşey yük
w_i	= Binanın i 'nci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
x	= Herhangi bir perdenin enkesit geometrik merkezinin referans noktasından x doğrultusundaki uzaklığı
y	= Herhangi bir perdenin enkesit geometrik merkezinin referans noktasından y doğrultusundaki uzaklığı
\bar{x}	= Kat rijitlik merkezinin referans noktasından x doğrultusundaki uzaklığı
\bar{y}	= Kat rijitlik merkezinin referans noktasından y doğrultusundaki uzaklığı
ρ	= Kiriş üst veya alt boyuna donatı oranı
ρ_{sh}	= Kolon orta bölgesinde enine donatı oranı
ρ_t	= Kolon toplam boyuna donatı oranı
ρ_w	= Kiriş orta bölgesinde enine donatı oranı
$\Delta V_{T,i}$	= Binanın i 'nci katındaki herhangi bir perdede kattaki burulma etkilerinden dolayı oluşan ek kesme kuvveti
$\sum A_{ci}$	= Zemin katta kolon enkesit alanlarının toplamı
$\sum A_{pi}$	= Bina kat alanlarının toplamı
$\sum A_{wi}$	= Gözönüne alınan doğrultuda çalışan perde veya perde kolu enkesit alanlarının toplamı
$\sum A_{0i}$	= Gözönüne alınan kolon için tüm katlar boyunca biriken alan paylarının toplamı
$\sum (I_i / H_i^2)$	= Zemin katta göze alınan doğrultuda (kolon enkesit eylemsizlik momenti / kat yüksekliği ²) değerlerinin toplamı
$\sum V_{kol,i}$	= Binanın i 'nci katındaki kolonlarda deprem etkilerinden dolayı oluşan kesme kuvvetlerinin toplamı

17.1. KAPSAM

17.1.1 – Bodrum katı üç veya dört taraftan rijit bodrum perdeleri ile çevrili *bodrumlu binalar*'da **3.3.1**'e göre *bina tabanı*'nın bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde tanımlanması, bodrumsuz binalarda veya bodrum katı iki taraftan rijit bodrum perdeleri ile çevrili *bodrumlu binalar*'da ise **3.3.1**'e göre *bina tabanı*'nın temel üst kotunda tanımlanması suretiyle, DTS=1,2 için $BYS \geq 6$ ve DTS=3,4 için $BYS \geq 7$ olacak şekilde, bodrumsuz veya bir bodrum kata sahip yerinde dökme betonarme binalardan, **17.2**'deki koşulları sağlayan binaların yatay yük taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımında, bu konuda yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklerle birlikte, bu bölümde tanımlanan basitleştirilmiş hesap (yapısal çözümleme) ve tasarım kuralları, yapı sahibi ve projeden sorumlu mühendisin tercihinine bağlı olarak kullanılabilir.

17.1.2 – Bu bölümde tanımlanan kural ve koşullar yalnızca bu bölüm kapsamında yapılan tasarım amaçları için kullanılabilir.

17.1.3 – Bu bölümde tanımlanmış olan kuralların uygulama kapsamı **Tablo 3.1**'de verilmiş olan Bina Kullanım Sınıfı'nın BKS=3 olarak tanımlandığı konut veya işyeri türü binalar ile sınırlıdır.

17.1.4 – Bu bölümde tanımlanan basitleştirilmiş hesap (yapısal çözümleme) ve tasarım kurallarının kullanılmadığı, ancak **17.1.1**'de tanımlandığı şekilde DTS=1,2 için $BYS \geq 5$ ve DTS=3,4 için $BYS \geq 6$ olacak şekilde, bodrumsuz veya bir bodrum kata sahip ve Bina Kullanım Sınıfı'nın BKS=3 olarak tanımlandığı konut veya işyeri türü binalar için, **17.3** ve **17.4**'te tanımlanmış olan boyutlandırma kuralları ile enkesit ve donatı alt sınır koşulları, yapı sahibi ve projeden sorumlu mühendisin tercihine bağlı olarak ön tasarım amacıyla kullanılabilir. Ancak bu tür binaların kesin tasarımında, bu konuda yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklerle birlikte bu yönetmeliğin diğer bölümlerinde tanımlanan hesap ve tasarım kurallarının kullanılması zorunludur.

17.2. GENEL KURALLAR

Bu bölümde tanımlanmış olan tasarım kurallarının uygulama sınırları aşağıda tanımlanmıştır:

17.2.1 – Bu bölümün kapsamı içindeki betonarme binaların yatay yük taşıyıcı sistemi, sadece süneklik düzeyi yüksek çerçevelerden veya süneklik düzeyi yüksek boşluksuz perdeler ile süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin birlikte kullanımından oluşacaktır.

17.2.2 – Bu bölümde tanımlanan tasarım kurallarının uygulama kapsamı, deprem etkileri ve düşey yükler altında taşıyıcı sistem elemanlarında (perde, kolon ve giriş) yeterli moment taşıma gücü ve yeterli kesme dayanımı sağlamak amacı ile taşıyıcı eleman enkesitlerinin boyutlandırılması ve donatılarının belirlenmesi ile sınırlıdır. Bu bölümde tanımlanan tasarım kurallarının kapsamı dışında kalan dayanıma göre tasarım kuralları, detaylandırma kuralları, geometrik kurallar, minimum koşullar ve üst sınır koşulları, **Bölüm 7** ve yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklerde verilen kuralların tümüne tabidir. Ancak, bu bölümdeki tasarım kurallarının uygulandığı binalar için deprem etkileri altında görelî kat ötelemelerinin hesaplanması ve görelî kat öteleme oranlarının sınır değerlerle karşılaştırılması gerekmemektedir.

17.2.3 – Bu bölümde tanımlanan tasarım kurallarının taşıyıcı sistemi yalnızca çerçevelerden oluşan binalar için kullanıldığı durumda, gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarlar veya cephe elemanları ile çerçeve elemanları arasında **4.9.1.3(b)**'ye göre esnek derz veya bağlantılar oluşturulmalıdır.

17.2.4 – Bina dikdörtgene yakın bir kat planına sahip olmalıdır. Kat planında binanın uzun kenarı en fazla 30 m uzunluğunda, uzun kenarın kısa kenara oranı ise en fazla 4 olmalıdır. Bina taşıyıcı sistemi (çerçeve ve perdeler) kat planında birbirine dik doğrultulu (ortogonal) eksenler boyunca oluşturulmalı, taşıyıcı sistem eksenlerinde süreksizlik veya eksen dışına kayma bulunmamalıdır.

17.2.5 – Bina kat planındaki en büyük açıklık 7.5 m, en küçük açıklık ise 3 m olmalıdır. Taşıyıcı sistemin her bir doğrultusunda en az iki açıklık bulunmalıdır. Asansör veya merdiven çevresinde oluşturulabilecek U veya C enkesitli perdelerin serbest uçları arasındaki açıklık hariç olmak üzere, her bir doğrultuda komşu iki açıklık arasındaki fark, iki açıklıktan uzun

olanın 1/5'inden fazla olmamalıdır. Binada konsol kirişler varsa, konsol uzunluğu 2 m'den ve komşu açıklığın 1/3'ünden fazla olmamalıdır.

17.2.6 – Binada 4 m'den daha yüksek kat bulunmamalı, katlar arası yükseklik değişimi yüksek olan katın yüksekliğinin 1/5'inden fazla olmamalıdır.

17.2.7 – Binada **Tablo 3.6**'te tanımlanmış olduğu üzere A2 – Döşeme Süreksizlikleri, A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması, B1 – Komşu Katlar Arasında Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) ve B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği düzensizlikleri bulunmamalıdır.

17.2.8 – Kısmi bodrum katı hariç olmak üzere bütün katlarda her bir deprem doğrultusu için **17.5.1**'e göre hesaplanan binanın kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki dış merkezlik, binanın ilgili doğrultuya dik doğrultudaki kat planı uzunluğunun 1/5'inden fazla olmamalıdır. Taşıyıcı sistemde betonarme perdeler kullanıldığı durumda bina planında kat kütle merkezinin her iki tarafında en az bir olmak üzere her bir doğrultuda toplam en az iki dikdörtgen perde veya perde kolu bulunmalıdır.

17.2.9 – Düşey taşıyıcı eleman (kolon, perde) enkesitlerinde bina yüksekliği boyunca küçültme yapılmayacak, binanın farklı katlarında farklı kiriş enkesitleri kullanılmayacak ve herhangi bir yatay taşıyıcı sistem eksenini boyunca kiriş enkesitlerinde değişiklik yapılmayacaktır.

17.2.10 – Binada kirişli plak döşeme sistemi kullanıldığı durumda döşeme kalınlığı en az 150 mm olmalıdır. Dişli veya dolgulu (asmolen) döşeme sistemleri kullanıldığı durumda, plak kalınlığı en az 70 mm olmalı, düşey taşıyıcı elemanlar arasındaki kirişler süneklik düzeyi yüksek çerçeve kirişi olarak boyutlandırılmalı ve donatılmalıdır. Bu tür döşemelerdeki dişler, dikdörtgen perdeler veya perde kollarına kuvvetli doğrultuda saplanan ve deprem yüklerini döşemeden perdelerle aktaran çerçeve kirişlerine dik doğrultuda oluşturulmalıdır.

17.2.11 – Bina temeli, taşıyıcı sistemin çerçevelerden oluştuğu durumda radye veya sürekli temel, taşıyıcı sistemin perde ve çerçevelerden oluştuğu durumda ise radye temel olarak oluşturulmalıdır.

17.2.12 – Bu bölümdeki hesap kuralları, yalnızca $G+Q+0.2S \pm E_d$ ve $0.9G \pm E_d$ yük birleşimleri için uygulanmak üzere tanımlanmıştır. Kar yükü S , binanın çatı katına etkiyen hareketli yük değerine ilave edilebilir. Düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$ hesapta gözetilmeyebilir. Yatay deprem etkilerinde doğrultu birleştirmesi uygulanmayacaktır.

17.2.13 – *Deprem Tasarım Sınıfı* DTS=1 ve DTS=2 olan binaların yatay yük taşıyıcı sisteminde süneklik düzeyi yüksek boşluksuz perdelerin kullanımı zorunludur. Bu tür binaların tasarımında, binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünün tamamının süneklik düzeyi yüksek perdeler tarafından, %33'ünün ise süneklik düzeyi yüksek çerçeveler tarafından karşılandığı koşulu hesaplarda gözetilmektedir. Yatay yük taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek çerçevelerden oluşan binalarda, binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünün tümü çerçeveler tarafından karşılanmaktadır.

17.2.14 – İki taraftan rijit bodrum perdeleri ile çevrili bir bodrum katlı binalarda, *bina tabanı*'nın temel üst kotunda tanımlanması nedeniyle, bodrum kat yapısal çözümlemede zemin kat olarak gözönüne alınacak, bodrum kattaki taşıyıcı sistem elemanlarında deprem etkilerinden dolayı oluşan iç kuvvet değerleri, bir üst kattaki taşıyıcı sistem elemanları için de geçerli olacaktır.

17.2.15 – Üç veya dört taraftan rijit bodrum perdeleri ile çevrili bir bodrum katlı binalarda, *bina tabanı*'nın bodrum perdelerinin üst kotundaki kat döşemesi seviyesinde tanımlanması nedeniyle, bodrum katın bir üst katı yapısal çözümlemede zemin kat olarak gözönüne alınacak, zemin kattaki taşıyıcı sistem elemanlarında deprem etkilerinden dolayı oluşan iç kuvvet değerleri, bodrum kattaki taşıyıcı sistem elemanları için de geçerli olacaktır.

17.2.16 – Yatay zemin itkisi etkileri (H), bu bölümde tanımlanmış olan hesap kurallarında gözletilmemiştir. Bu nedenle bodrum katında iki taraftan dengelenmemiş yatay zemin etkilerine maruz binalarda, zemin itkisi etkilerinin temele güvenle aktarıldığı ayrıca gösterilmelidir.

17.2.17 – Bu bölümde tanımlanan kurallar uyarınca tasarımı yapılacak binalarda C25'ten düşük veya C50'den yüksek dayanımlı beton sınıfı ve **7.2.5.3**'te tanımlanan B420C veya S420 sınıfları dışında donatı çeliği kullanılamaz.

17.2.18 – Bu bölümde tanımlanan kurallar uyarınca tasarımı yapılacak binalardaki tüm taşıyıcı elemanlarda boyuna donatının kenetlenme boyu ve bindirme boyu, donatı çapının 50 katından daha az, 90 dereceli kancaların kenetlenme boyu ise donatı çapının 25 katından az olamaz.

17.2.19 – Bu bölümde tanımlanan kurallar uyarınca tasarımı yapılacak binalarda, perde kritik yüksekliği bodrumsuz binalarda temel üstünden itibaren en az bir kat; iki, üç veya dört taraftan bodrum perdeleriyle çevrili bodrumlu binalarda ise temel üstünden itibaren en az iki kat boyunca devam ettirilecektir.

17.2.20 – Bu bölümde tanımlanan hesap ve tasarım kurallarının uygulanacağı binaların **17.3** ve **17.4**'te tanımlanmış olan kuralları sağlaması gereklidir.

17.3. DÜŞEY TAŞIYICI ELEMANLARININ BOYUTLANDIRILMASI

Düşey taşıyıcı elemanların enkesit alanlarının **17.3.1** ve **17.3.2**'de verilen denklemlerle belirlenmesinde kullanılacak ortalama yayılı sabit yük ve ortalama yayılı hareketli yük değerlerinin toplamı olan ($g+q$) değeri 15 kN/m^2 'den, ($g+0.3q$) değeri ise 13 kN/m^2 'den az alınmayacaktır. Yayılı sabit yük değerleri, döşeme yükleriyle beraber yatay ve düşey taşıyıcı elemanların (kiriş, kolon, perde) ve taşıyıcı olmayan elemanların (bölme duvar) ağırlığını da içermelidir. Binanın çatı katına etki eden hareketli yük, 0.2 değerindeki yük katsayısıyla azaltılmış kar yükünü de içermelidir.

17.3.1. Taşıyıcı Sistemi Çerçvelerden Oluşan Binalar

17.3.1.1 – Kolonlarda oluşan aksenal basınç gerilmelerinin sınırlandırılması için her bir kolonun enkesit alanı A_{ci} , **Denk.(17.1)**'deki koşulu sağlayacaktır. Denklemdaki g ve q değerleri, göze alınan kolonun alan payına her bir katta etki eden ortalama sabit ve hareketli yayılı yük, $\sum A_{0i}$ değeri ise göze alınan kolon için kolonun taşıdığı tüm katlar boyunca biriken alan paylarının toplamıdır.

$$A_{ci} \geq 0.00014(g + q) \sum A_{0i} \quad (17.1)$$

17.3.1.2 – Kolonların yeterli kesme kuvveti dayanımına sahip olmaları için her bir kolonun enkesit alanı A_{ci} , **Denk.(17.2)**'deki koşulu sağlamalıdır. Denklemdaki S_{DS} değeri, kısa periyot bölgesi için tanımlanmış olan tasarım spektral ivme katsayısıdır.

$$A_{ci} \geq 0.00022S_{DS}(g + 0.3q) \sum A_{0i} \quad (17.2)$$

17.3.1.3 – Taşıyıcı sistemin yeterli yanal rijitliğe sahip olması için bina zemin kat kolonlarının enkesit eylemsizlik momentinin kat yüksekliğinin karesine oranının değerlerinin toplamı olan $\sum(I_i / H_i^2)$ değeri, binanın her iki doğrultusunda **Denk.(17.3)**'teki koşulu sağlayacaktır. Denklemdeki $\sum A_{pi}$ değeri, bina kat alanlarının toplamıdır.

$$\sum(I_i / H_i^2) \geq 4.44 \times 10^{-7} S_{DS} (g + 0.3q) \sum A_{pi} \quad (17.3)$$

17.3.2. Taşıyıcı Sistemi Perdeler ve Çerçevelerden Oluşan Binalar

17.3.2.1 – Kolonlarda oluşan aksenal basınç gerilmelerinin sınırlandırılması için her bir kolonun enkesit alanı A_{ci} , **Denk.(17.4)**'teki koşulu sağlayacaktır.

$$A_{ci} \geq 0.00012(g + q) \sum A_{oi} \quad (17.4)$$

17.3.2.2 – Kolonların yeterli kesme dayanımına sahip olmaları için her bir kolonun enkesit alanı A_{ci} , **Denk.(17.5)**'teki koşulu sağlayacaktır.

$$A_{ci} \geq 0.0001 S_{DS} (g + 0.3q) \sum A_{oi} \quad (17.5)$$

17.3.2.3 – Boşluksuz perdelerin yeterli kesme dayanımına sahip olmaları için binanın her bir doğrultusunda çalışan dikdörtgen perde veya perde kolu enkesit alanlarının toplamı olan $\sum A_{wi}$ değeri, binanın her iki doğrultusunda **Denk.(17.6)** ve **Denk.(17.7)**'deki koşulların her ikisini de sağlayacaktır. Denklemdeki $\sum A_{pi}$ değeri bina kat alanlarının toplamı, A_{pt} değeri ise bina taban alanıdır.

$$\sum A_{wi} \geq 0.0002 S_{DS} (g + 0.3q) \sum A_{pi} \quad (17.6)$$

$$\sum A_{wi} \geq 0.0007 S_{DS} (g + 0.3q) A_{pt} \quad (17.7)$$

17.3.2.4 – Bina taşıyıcı sisteminin tabanda yeterli kesme kuvveti dayanımına sahip olması için zemin kat kolonlarının enkesit alanlarının toplamı ile binanın her bir doğrultusunda çalışan dikdörtgen perde veya perde kolu enkesit alanlarının toplamının birbiriyle toplanması sonucunda elde edilen $(\sum A_{ci} + \sum A_{wi})$ değeri, binanın her iki doğrultusunda **Denk.(17.8)**'teki koşulu sağlayacaktır.

$$\sum A_{ci} + \sum A_{wi} \geq 0.0003 S_{DS} (g + 0.3q) \sum A_{pi} \quad (17.8)$$

17.4. ENKESİT VE DONATI ALT SINIRLARI

17.4.1. Taşıyıcı Sistem Elemanları için Enkesit Alt Sınırları

17.4.1.1 – En küçük kare kolon enkesiti 300 mm×300 mm boyutlarında olacaktır. Dikdörtgen kolon enkesitlerinde kısa kenar en az 300 mm uzunluğunda olacak, uzun kenar boyutunun kısa kenara oranı 2'den fazla olmayacaktır.

17.4.1.2 – En küçük kiriş enkesiti 300 mm genişliğinde ve 500 mm yüksekliğinde olacaktır. Kiriş yüksekliği, taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan binalarda açıklığın 1/11'inden, taşıyıcı sistemi perde ve çerçevelerden oluşan binalarda ise açıklığın 1/12'sinden az olmayacaktır. Kiriş yüksekliği ayrıca serbest açıklığın 1/4'ünden fazla olmayacaktır.

17.4.1.3 – Dikdörtgen perde kalınlığı veya L, T, U, C enkesitli perdelerdeki perde kolu kalınlıkları, bodrum kat çevre perdeleri hariç olmak üzere, perdenin plandaki uzunluğunun 1/25'inden ve 250 mm'den az olmayacaktır. Bodrum kat çevre perdelerinin kalınlığı 200 mm'den az olmayacaktır.

17.4.1.4 – Dikdörtgen perdelerin veya L, T, U, C enkesitli perdelerdeki perde kollarının bina planındaki uzunluğu, binanın zemin katından itibaren ölçülen yüksekliğinin 1/8'inden az olmayacaktır.

17.4.2. Taşıyıcı Sistem Elemanları için Donatı Alt Sınırları

17.4.2.1 – Kare enkesitli kolonlarda toplam düşey donatı alanının kolon enkesit alanına oranı ρ_t , 0.01'den az olmayacaktır. Uzun kenarın kısa kenara oranı 2 olan dikdörtgen enkesitli kolonlarda bu oran en az 0.015 olacaktır. Uzun kenar / kısa kenar oranının ara değerleri için düşey donatı oranı alt sınırının doğrusal olarak değiştiği kabul edilebilir.

17.4.2.2 – Kare enkesitli kolonlarda 7.3.4.2'de tanımlanmış olan kolon orta bölgesindeki enine donatı oranı $\rho_{sh} = A_{sh} / (sb)$, 0.00165'ten az olmayacaktır. Uzun kenarın kısa kenara oranı 2 olan dikdörtgen enkesitli kolonlarda bu oran en az 0.0025 olacaktır. Uzun kenar / kısa kenar oranının ara değerleri için enine donatı oranı alt sınırının doğrusal olarak değiştiği kabul edilebilir. Her durumda kolon orta bölgesindeki etriye ve çiroz aralığı, kolonun en küçük enkesit boyutunun yarısından ve 200 mm'den fazla olmayacak, etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık a , etriye çapının 25 katından fazla olmayacaktır.

17.4.2.3 – Kirişlerin kolonlar veya perdelerle birleştiği kiriş mesnet kesitlerinde, kiriş üst ve alt boyuna donatı oranları $\rho = A_s / (b_w d)$, sırasıyla 0.006 ve 0.004'ten az olmayacaktır.

17.4.2.4 – 7.4.4'te tanımlanmış olan kiriş orta bölgesindeki enine donatı oranı $\rho_w = A_{sw} / (sb_w)$, 0.0025'ten az olmayacak, bu bölgedeki etriye ve çiroz aralığı, kirişin faydalı yüksekliğinin yarısından fazla olmayacaktır.

17.5. BASİTLEŞTİRİLMİŞ YAPISAL ÇÖZÜMLEME

17.5.1. Deprem Etkilerinin Hesabı

17.5.1.1 – Göz önüne alınan her bir doğrultu için binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (zemin katta oluşan taban kesme kuvveti), katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri, katlarda oluşan kat kesme kuvvetleri, katlarda oluşan toplam devrilme momentleri ve bina tabanında (zemin kat tabanında) oluşan toplam devrilme momenti, **Denk.(17.9–17.13)** ile hesaplanacaktır (**Şekil 17.1**). Toplam eşdeğer deprem yükü hesabında *deprem yükü azaltma katsayısı* için $R_a = 4$ değeri, binanın toplam ağırlığı hesabında *hareketli yük katılım katsayısı* için $n = 0.30$ değeri kullanılacaktır. Bina ağırlığı hesabında kullanılacak sabit yük değerleri, döşeme yükleriyle beraber yatay ve düşey taşıyıcı elemanların (kiriş, kolon, perde) ve taşıyıcı olmayan elemanların (bölme duvar) ağırlığını da içermelidir. Binanın çatı katına etki eden hareketli yük, 0.2 değerindeki yük katsayısıyla azaltılmış kar yükünü de içermelidir.

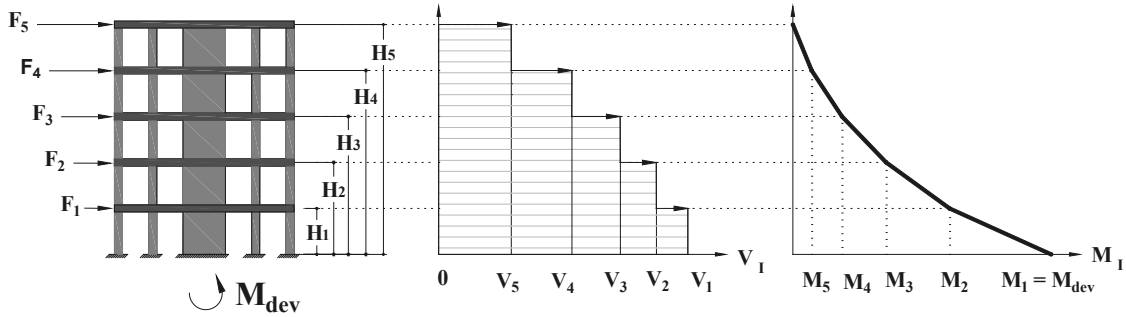
$$V_t = \frac{S_{DS}W}{R_a} \quad (17.9)$$

$$F_i = V_i \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (17.10)$$

$$V_i = \sum_{j=i}^N F_j \quad (17.11)$$

$$M_i = \sum_{j=i}^N [F_j (H_j - H_{i-1})] \quad (17.12)$$

$$M_1 = M_{\text{dev}} = \sum_{j=1}^N [F_j H_j] \quad (17.13)$$



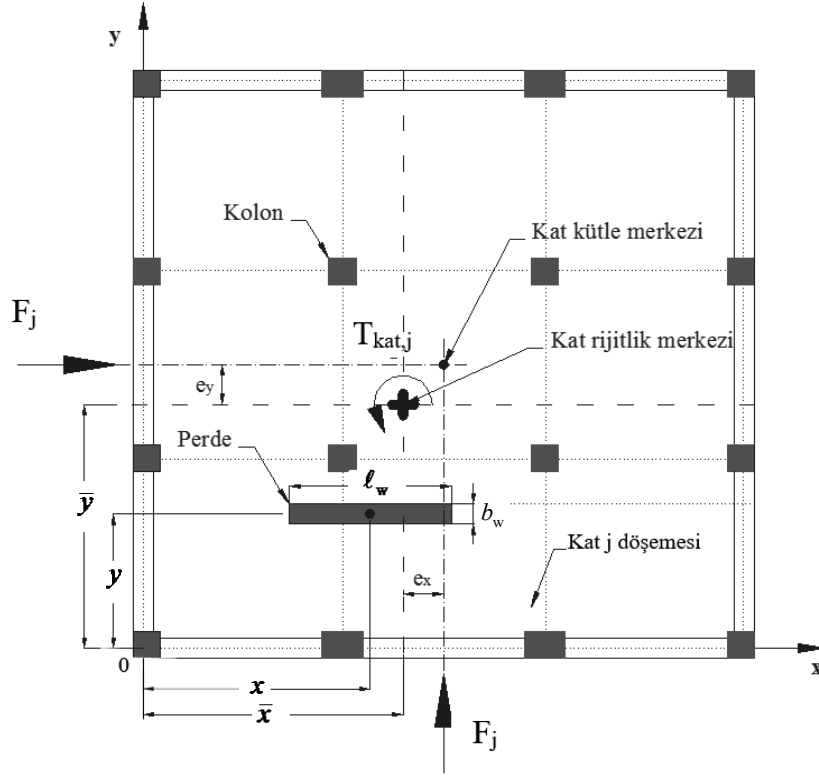
Şekil 17.1

17.5.1.2 – Bina katlarına etkiyen burulma momentlerinin hesaplanabilmesi amacıyla bina kat rijitlik merkezinin planda seçilen bir referans noktasından x ve y doğrultularındaki uzaklığı (Şekil 17.2), Denk.(17.14) ile hesaplanacaktır. Denk.(17.14)'teki k_x ve k_y rijitlik değerleri, x doğrultusundaki dikdörtgen enkesitli perdeler için Denk.(17.15), y doğrultusundaki dikdörtgen enkesitli perdeler için ise Denk.(17.16) ile hesaplanacaktır. Perde bulunmayan binalarda kat rijitlik merkezinin kat kütle merkeziyle örtüşeceği varsayılacaktır.

$$\bar{x} = \frac{\sum (k_{yi} x_i)}{\sum k_{yi}} \quad \bar{y} = \frac{\sum (k_{xi} y_i)}{\sum k_{xi}} \quad (17.14)$$

$$k_x = (b_w \ell_w^3) / h_i \quad k_y = (\ell_w b_w^3) / h_i \quad (17.15)$$

$$k_x = (\ell_w b_w^3) / h_i \quad k_y = (b_w \ell_w^3) / h_i \quad (17.16)$$



Şekil 17.2

17.5.1.3 – Binanın j 'nci kat döşemesine etkiyen burulma momenti, **Denk.(17.17)** ile hesaplanacaktır. **Denk.(17.17)**'deki x ve y doğrultularındaki dış merkezlik değerleri, kat kütle merkezi ile kat rijitlik merkezi arasındaki uzaklıklardır (**Şekil 17.2**). Kat kütle merkezi kat döşemesinin geometrik merkezi olarak kabul edilecek ve döşemede bulunan 2.0 m'den büyük kenarlı boşluklar kat kütle merkezi hesabında göz önüne alınacaktır. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri kat kütle merkezine etki ettirilecektir. Perde bulunmayan binalarda katlara etkiyen burulma momentlerinin hesaplanmasına gerek yoktur.

$$T_{kat,j} = \max \left[(F_j e_x), (F_j e_y) \right] \quad (17.17)$$

17.5.1.4 – Binanın i 'nci katında ve binanın tabanında oluşan toplam burulma momenti, **Denk.(17.18)** ve **Denk.(17.19)** ile hesaplanacaktır.

$$T_i = \sum_{j=i}^N T_{kat,j} \quad (17.18)$$

$$T_t = \sum_{j=1}^N T_{kat,j} \quad (17.19)$$

17.5.1.5 – Binanın burulma rijitliği, **Denk.(17.20)** ile hesaplanacaktır.

$$k_T = \left[\sum (k_{y_i} x_i^2 + k_{x_i} y_i^2) \right] - \left[\bar{x}^2 \sum k_{y_i} \right] - \left[\bar{y}^2 \sum k_{x_i} \right] \quad (17.20)$$

17.5.1.6 – Binanın i 'nci katında, göz önüne alınan yükleme doğrultusuna paralel doğrultudaki bir perdede deprem etkilerinden dolayı oluşan kesme kuvveti, **Denk.(17.21)** ile hesaplanacaktır. **Denk.(17.21)**'de kat kesme kuvvetlerinin perdelerle eylemsizlik momentleri oranında dağıldığı

varsayılmış ve burulma etkilerinden dolayı perdelerde oluşacak ek kesme kuvvetleri göz önüne alınmıştır. Burulma etkilerinden dolayı perdelerde oluşan ek kesme kuvvetlerinin hesabında, x doğrultusundaki perdeler için **Denk.(17.22)**, y doğrultusundaki perdeler için **Denk.(17.23)** kullanılacaktır (**Şekil 17.2**).

$$V_{\text{per},i} = V_i \frac{b_w \ell_w^3}{\sum b_w \ell_w^3} + \Delta V_{T,i} \quad (17.21)$$

$$(\Delta V_{T,i})_x = T_i \frac{|y - \bar{y}| k_x}{k_T} \quad (17.22)$$

$$(\Delta V_{T,i})_y = T_i \frac{|x - \bar{x}| k_y}{k_T} \quad (17.23)$$

17.5.1.7 – Binanın i 'nci katında, göz önüne alınan yükleme doğrultusuna paralel doğrultudaki bir perdede deprem etkilerinden dolayı oluşan eğilme momenti **Denk.(17.24)** ile, perdenin tabanındaki devrilme momenti ise **Denk.(17.25)** ile hesaplanacaktır. **Denk.(17.24)** ve **Denk.(17.25)**'deki F_{per} kuvveti, o katta döşemeden perdeye aktarılan yatay yükü temsil etmektedir. Binanın i 'nci katında veya çatı katında (N 'nci katta) perdeye aktarılan yatay yük, komşu katlarda perdede oluşan kesme kuvvetlerinin farkı olarak, **Denk.(17.26)** veya **Denk.(17.27)** ile hesaplanacaktır (**Şekil 17.3**).

$$M_{\text{per},i} = \sum_{j=i}^N [F_{\text{per},j} (H_j - H_{i-1})] \quad (17.24)$$

$$M_{\text{per},1} = M_{\text{per, dev}} = \sum_{j=1}^N [F_{\text{per},j} H_j] \quad (17.25)$$

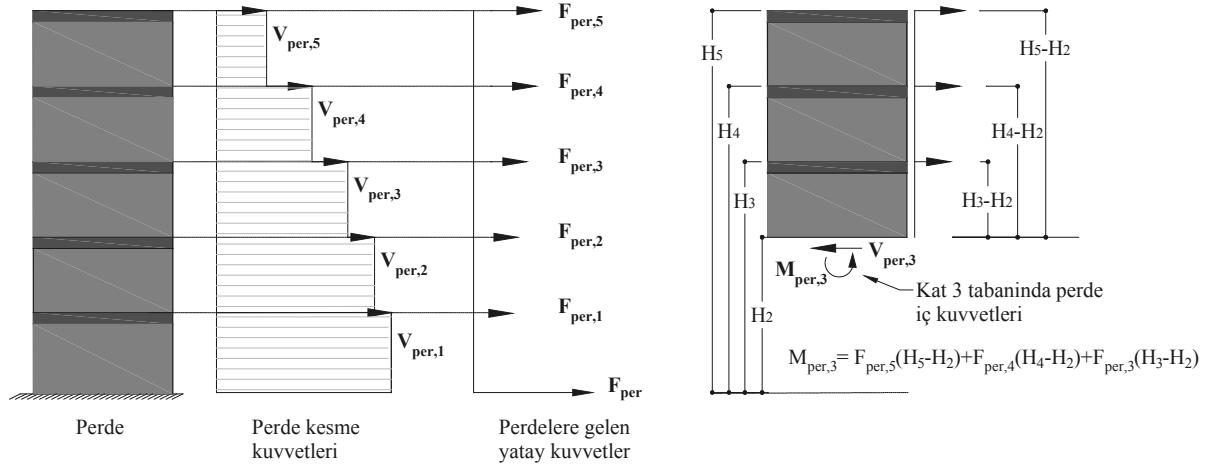
$$F_{\text{per},j} = V_{\text{per},j+1} - V_{\text{per},j} \quad (17.26)$$

$$F_{\text{per},N} = V_{\text{per},N} \quad (17.27)$$

17.5.1.8 – Taşıyıcı sistemi perde ve çerçevelerden oluşan binalarda göz önüne alınan yükleme doğrultusunda binanın i 'nci katındaki kolonlarda oluşan kesme kuvvetlerinin toplamı, **Denk.(17.28)** ile hesaplanacaktır. Taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan binalarda ise bu toplam, **Denk.(17.29)**'da belirtildiği üzere, binada göz önüne alınan doğrultuda oluşan kat kesme kuvvetlerine eşit olacaktır.

$$\sum V_{\text{kol},i} = (1/3) V_i \quad (17.28)$$

$$\sum V_{\text{kol},i} = V_i \quad (17.29)$$



Şekil 17.3

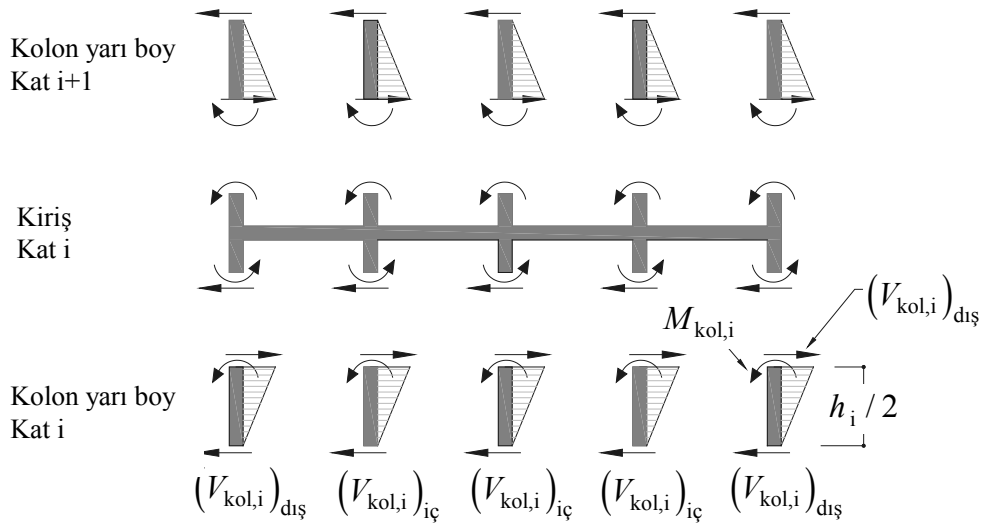
17.5.1.9 – Göz önüne alınan yükleme doğrultusu için binanın i 'nci katındaki herhangi bir kolonda oluşan kesme kuvveti, ilgili doğrultudaki iç kolonlar için **Denk.(17.30)** ile, dış kolonlar için ise **Denk.(17.31)** ile hesaplanacaktır (Şekil 17.4).

$$V_{kol,i} = \frac{2\sum V_{kol,i}}{2n_{iç} + n_{dış}} \quad (17.30)$$

$$V_{kol,i} = \frac{\sum V_{kol,i}}{2n_{iç} + n_{dış}} \quad (17.31)$$

17.5.1.10 – Göz önüne alınan yükleme doğrultusu için binanın i 'nci katındaki herhangi bir kolonda oluşan eğilme momenti, **Denk.(17.32)** ile hesaplanacaktır (Şekil 17.4).

$$M_{kol,i} = V_{kol,i} h_i / 2 \quad (17.32)$$

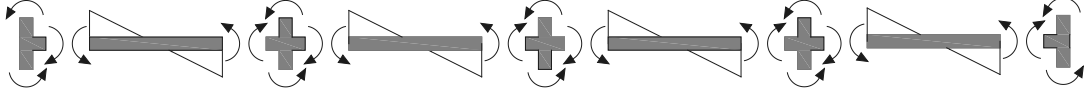


Şekil 17.4

17.5.1.11 – Göz önüne alınan yükleme doğrultusu için binanın i 'nci katındaki herhangi bir kiriş kesitinde oluşan eğilme momenti, kiriş – iç kolon birleşimlerinde **Denk.(17.33)** ile, kiriş – dış kolon birleşimlerinde ise **Denk.(17.34)** ile hesaplanacaktır (Şekil 17.5). En üst kat kirişlerinde **Denk.(17.33)** ve **Denk.(17.34)** ile hesaplanan eğilme momenti değerleri yarıya düşürülecektir.

$$M_{kir,i} = \frac{4}{5} M_{kol,i} \quad (17.33)$$

$$M_{kir,i} = \frac{8}{5} M_{kol,i} \quad (17.34)$$



Şekil 17.5

17.5.1.12 – Kiriş – perde birleşimlerindeki kiriş kesitlerinde deprem etkilerinden dolayı oluşan eğilme momenti hesaplanmayacaktır. Bu kesitlerde kirişe yerleştirilecek olan üst ve alt boyuna donatı 17.4.2.3'deki alt sınır koşullarını sağlayacak ve düşey yüklerden dolayı oluşan eğilme momentlerini karşılayacak miktarda olacaktır.

17.5.2. Düşey Yük Etkilerinin Hesabı

17.5.2.1 – Herhangi bir kirişe her bir çift doğrultuda çalışan döşeme parçasından aktarılan düzgün yayılı (çizgisel) düşey yük (w), daha detaylı bir hesap yapılmadığı durumda, döşeme parçasının kısa doğrultusundaki kiriş için Denk.(17.35) ile, döşeme parçasının uzun doğrultusundaki kiriş için ise Denk.(17.36) ile hesaplanacaktır. Tek doğrultuda çalışan plak (veya dişli) döşeme parçalarından aktarılan yükün tümü, plak döşeme parçasının uzun doğrultusundaki kirişe (veya döşeme dişlerinin saplandığı kirişe) aktarılacaktır. Denk.(17.35) ve Denk.(17.36)'daki p , döşemeye etki eden yayılı sabit ve hareketli yüklerin yük katsayıları göz önüne alınarak hesaplanmış toplam ($g+q$ veya $1.4g+1.6q$) değeridir. Kiriş üzerinde bölme duvar varsa, bölme duvarın yarattığı yayılı yük kiriş yüküne (w) yüküne ilgili yük katsayısı göz önüne alınarak eklenir.

$$w = \frac{p \ell_{kn}}{3} \quad (17.35)$$

$$w = \frac{p \ell_{kn}}{3} \left(1.5 - \frac{0.5}{m^2} \right) \quad (17.36)$$

17.5.2.2 – Herhangi bir kiriş kesitinde düşey yüklerden dolayı oluşan kesme kuvveti ve eğilme momenti için hesap değerleri, daha detaylı bir hesap yapılmadığı sürece, Tablo 17.1'de verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanabilir.

17.5.2.3 – Kolon – kiriş veya kolon – perde birleşimlerinde kiriş uçlarında oluşan dengelenmemiş düşey yük eğilme momentleri (ΔM_{kir}) (Şekil 17.6), üst ve alt kat kolon veya perdelerine Denk.(17.37) ve Denk.(17.38)'de tanımlandığı üzere, üst ve alt kat kolon veya perde rijitlikleri oranında dağıtılacaktır. En üst kattaki kolon veya perdelerin üst uçlarındaki eğilme momentinin hesabında Denk.(17.39) kullanılacaktır.

$$M_{kol,üst} = \Delta M_{kir} \frac{(I_{kol}/h_i)_{üst}}{(I_{kol}/h_i)_{üst} + (I_{kol}/h_i)_{alt}} \quad (17.37)$$

$$M_{kol,alt} = \Delta M_{kir} \frac{(I_{kol}/h_i)_{alt}}{(I_{kol}/h_i)_{üst} + (I_{kol}/h_i)_{alt}}$$

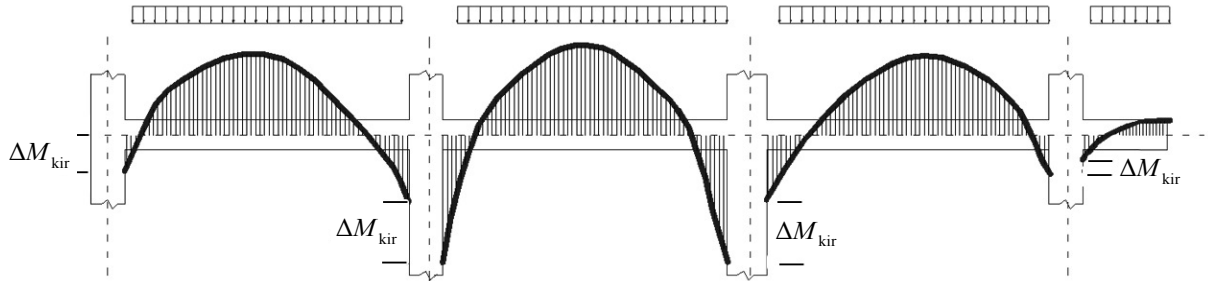
$$M_{\text{per,üst}} = \Delta M_{\text{kir}} \frac{\left(I_{\text{per}}/h_i\right)_{\text{üst}}}{\left(I_{\text{per}}/h_i\right)_{\text{üst}} + \left(I_{\text{per}}/h_i\right)_{\text{alt}}} \quad (17.38)$$

$$M_{\text{per,alt}} = \Delta M_{\text{kir}} \frac{\left(I_{\text{per}}/h_i\right)_{\text{alt}}}{\left(I_{\text{per}}/h_i\right)_{\text{üst}} + \left(I_{\text{per}}/h_i\right)_{\text{alt}}}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{kol}} &= \Delta M_{\text{kir}} \\ M_{\text{per}} &= \Delta M_{\text{kir}} \end{aligned} \quad (17.39)$$

Tablo 17.1 – Düşey Yük İçin Kirişlerde Hesap Değerleri

<i>İç Kuvvet</i>	<i>Hesap Değeri</i>
Dış açıklık kirişinde ilk iç kolon veya perde yüzünde kesme kuvveti	$V_{\text{kir}} = 1.15 \frac{w\ell_n}{2}$
Konsol kiriş hariç diğer tüm kolon veya perde yüzlerinde kesme kuvveti	$V_{\text{kir}} = \frac{w\ell_n}{2}$
Konsol kiriş mesnetinde kesme kuvveti	$V_{\text{kir}} = w\ell_n$
Dış açıklıkta açıklık momenti	$M_{\text{kir}}^+ = + \frac{w\ell_n^2}{14}$
İç açıklıkta açıklık momenti	$M_{\text{kir}}^+ = + \frac{w\ell_n^2}{16}$
Dış kolon veya dış dikine perde yüzünde mesnet momenti	$M_{\text{kir}}^- = - \frac{w\ell_n^2}{16}$
İç kolon veya iç dikine perde yüzünde mesnet momenti (iki açıklık durumunda)	$M_{\text{kir}}^- = - \frac{w\ell_n^2}{9}$
İç kolon veya iç dikine perde yüzünde mesnet momenti (ikiden fazla açıklık durumunda)	$M_{\text{kir}}^- = - \frac{w\ell_n^2}{10}$
Perdeye kuvvetli doğrultuda saplanan kirişte perde yüzünde mesnet momenti	$M_{\text{kir}}^- = - \frac{w\ell_n^2}{12}$
Konsol kiriş mesnet momenti	$M_{\text{kir}}^- = - \frac{3w\ell_n^2}{4}$



Şekil 17.6

17.5.2.4 – Kolon veya perdelerde düşey yüklerden dolayı oluşan eksenel kuvvetler, katlara etki eden sabit ve hareketli yayılı yük ($g + q$) değerleri ve göz önüne alınan kolon veya perdenin taşıdığı tüm katlar boyunca biriken alan paylarının toplamı kullanılarak hesaplanabilir. Bu durumda hesapta gözetilecek yayılı sabit yük değerleri, döşeme yükleriyle beraber yatay ve düşey taşıyıcı elemanların (kiriş, kolon, perde) ve taşıyıcı olmayan elemanların (bölme duvar) ağırlığını da içerecektir. Binanın çatı katına etki eden hareketli yük, 0.2 değerindeki yük katsayısıyla azaltılmış kar yükünü de içermelidir.

17.6. TASARIMA ESAS İÇ KUVVETLER

17.6.1 – Perdelerin uç ve gövde bölgelerindeki düşey donatının tasarımı, perdede düşey yüklerden dolayı oluşan eksenel kuvvet ile perdenin rijit doğrultusunda düşey yüklerin ve deprem etkilerinin oluşturduğu hesap eğilme momentlerinin toplamının ortak etkisi için yapılacaktır. $H_w / \ell_w \leq 2.0$ olan perdelerde, deprem etkilerinden dolayı oluşan eğilme momentleri, $[3 / (1 + H_w / \ell_w)]$ katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir. Ancak bu katsayı 2'den büyük alınmayacaktır.

17.6.2 – Kolonlardaki boyuna donatının tasarımı, kolonda düşey yüklerden dolayı oluşan eksenel kuvvet ile düşey yüklerin ve deprem etkilerinin oluşturduğu eğilme momentlerinin toplamının ortak etkisi için yapılacaktır.

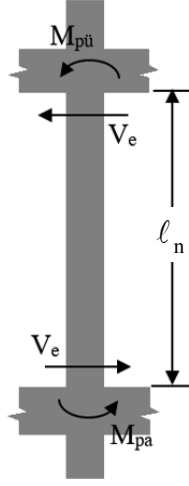
17.6.3 – Kirişlerdeki eğilme donatısının tasarımı, kirişte düşey yükler ve deprem etkilerinden dolayı oluşan eğilme momentlerinin toplamı için yapılacaktır.

17.6.4 – Perdelerdeki yatay gövde donatısının tasarımına esas kesme kuvveti, **Denk.(17.40)** ile hesaplanacaktır.

$$V_e = 2V_{per,i} \quad (17.40)$$

17.6.5 – Kolonların orta bölgesindeki enine donatı tasarımına esas kesme kuvveti V_e , **Denk.(17.41)**'de verilen kapasite tasarımı yaklaşımı ile hesaplanacaktır (**Şekil 17.7**). Kolon serbest yüksekliğinin alt ve üst uçlarındaki M_{pa} ve $M_{pü}$ değerleri, kolon kesitinin taşıma gücü momentinin 1.4 katı olarak alınacaktır ($M_p = 1.4M_r$). Ancak V_e için kolonda deprem etkilerinden dolayı oluşan hesap kesme kuvvetinin 2 katından ($2V_{kol,i}$) daha büyük bir değer alınması gerekmez.

$$V_e = (M_{pa} + M_{pü}) / \ell_n \quad (17.41)$$



Şekil 17.7

17.6.6 – Kirişlerin orta bölgesindeki enine donatı tasarımına esas kesme kuvveti V_e , **Denk.(17.42)**'de verilen ve **Şekil 7.9**'da gösterilen kapasite tasarımı yaklaşımı ile hesaplanacaktır. Kirişin sol ve sağ uçlarında kolon veya perde yüzündeki M_{pi} ve M_{pj} değerleri, kiriş kesitinin taşıma gücü momentinin 1.4 katı olarak alınacaktır ($M_p = 1.4M_r$).

$$V_e = V_{dy} \pm (M_{pi} + M_{pj}) / l_n \quad (17.42)$$

$$V_{dy} = \frac{w l_n}{2}$$

17.6.7 – Temel tasarımı ve zemin tahkiklerinde temele bağlanan düşey taşıyıcı elemanların alt uçlarında oluşan iç kuvvetler göz önüne alınacak, perde alt uçlarındaki eğilme momenti değerleri ($M_{per,dev}$), bodrumsuz binalarda 2, bodrum katın dört taraftan perdelerle çevrili olduğu binalarda 1.5, bodrum katın iki veya üç taraftan perdelerle çevrili olduğu binalarda ise 1.75 katına arttırılacaktır.

17.7. BASİTLEŞTİRİLMİŞ KESİT TAŞIMA GÜCÜ KURALLARI

17.7.1 – Kiriş kesitlerinin taşıma gücü momenti, kesitte basınç donatısı yoksa **Denk.(17.43)** ile, kesitte basınç donatısı varsa **Denk.(17.44)** ile hesaplanabilir.

$$M_r = A_s f_{yd} (0.85d) \quad (17.43)$$

$$M_r = A_s f_{yd} (d - d') \quad (17.44)$$

17.7.2 – Kolon kesitlerinde düşey yükler ($g+q$) altında oluşan aksenal basınç kuvveti $N_{d,max} = 0.35 f_{ck} b h$ değerinden, perde kesitlerinde ise düşey yükler altında oluşan aksenal basınç kuvveti ise $N_{d,max} = 0.30 f_{ck} b h$ değerinden daha büyük olmayacaktır.

17.7.3 – Kolon ve perde kesitlerinin aksenal basınç ve çekme dayanımları, **Denk.(17.45)** ve **Denk.(17.46)** ile hesaplanacaktır.

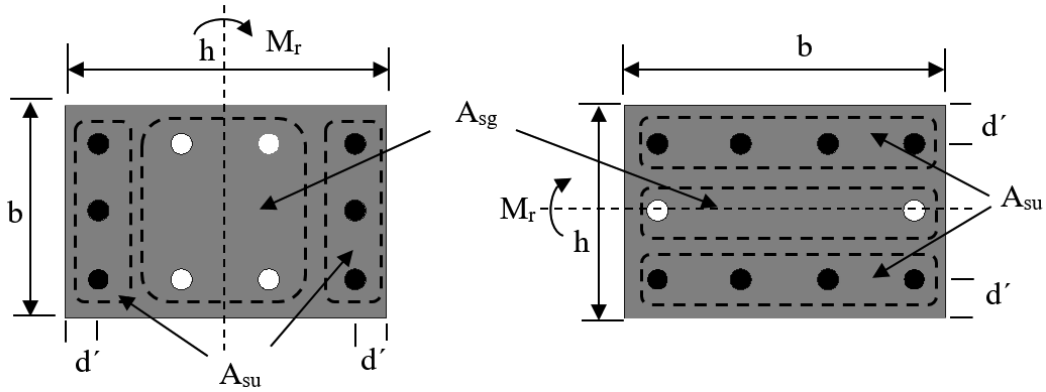
$$N_{0r} = 0.85 f_{cd} (A_g - A_{st}) + A_{st} f_{yd} \quad (17.45)$$

$$N_{tr} = A_{st} f_{yd} \quad (17.46)$$

17.7.4 – Kolon ve perde kesitlerinde dengeli duruma karşı gelen basınç kuvveti ve eğilme momenti değerleri, **Denk.(17.47)** ve **Denk.(17.48)** ile hesaplanacaktır. **Denk.(17.48)**'deki A_{su} değeri, kolon kesitinde göz önüne alınan doğrultuda en dış sıra boyuna donatıların alanlarının toplamı veya perde kesitinde uç bölgelerindeki boyuna donatı alanlarının toplamı, A_{sg} değeri ise kolon kesitinde göz önüne alınan doğrultuda iç sıra boyuna donatıların alanlarının toplamı veya perde kesitinde perde gövdesindeki boyuna donatıların alanlarının toplamıdır (**Şekil 17.8**). A_{su} ve A_{sg} değerlerinin toplamı, kolon veya perde kesitindeki toplam boyuna donatı alanına eşittir.

$$N_{br} = 0.42 f_{cd} b h \quad (17.47)$$

$$M_{br} = N_{br} 0.32 h + [0.6 A_{su} + 0.15 A_{sg}] f_{yd} [0.5 h - d'] \quad (17.48)$$



Şekil 17.8

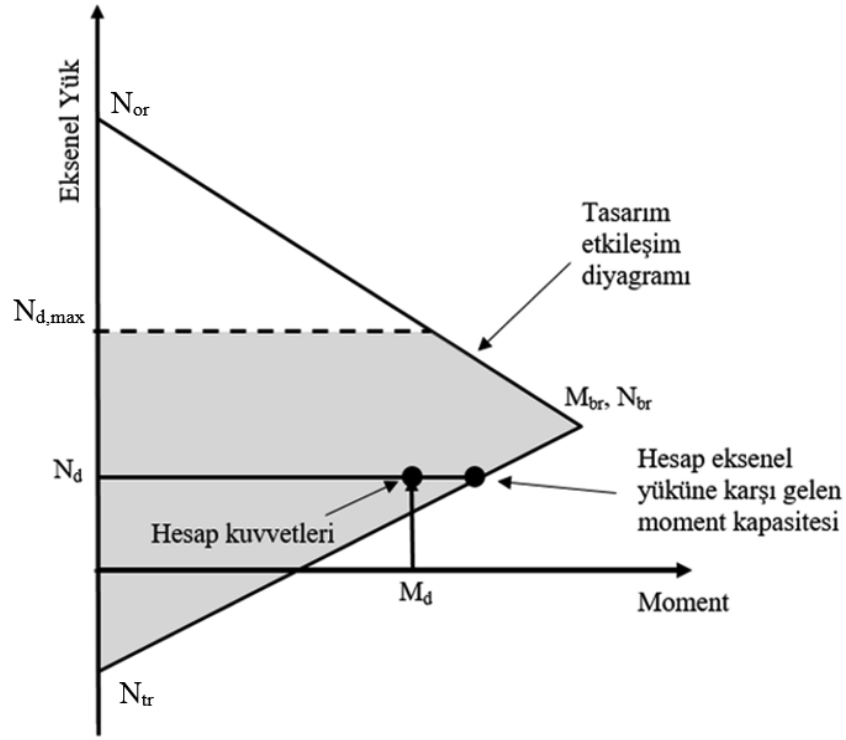
17.7.5 – Kolon ve perde kesitlerinde çözümlenmeden elde edilen tasarıma esas eğilme momenti değeri (M_d), tasarıma esas aksenal basınç kuvvet değerinin dengeli basınç kuvveti değerinden büyük olduğu durumda ($N_d \geq N_{br}$) **Denk.(17.49)** ile verilen koşulu, küçük olduğu durumda ise ($N_d \leq N_{br}$) **Denk.(17.50)** ile verilen koşulu sağlayacaktır (**Şekil 17.9**).

$$M_d \leq M_r = \frac{N_{0r} - N_d}{N_{0r} - N_{br}} M_{br} \quad (17.49)$$

$$M_d \leq M_r = \frac{N_d + N_{tr}}{N_{br} + N_{tr}} M_{br} \quad (17.50)$$

17.7.6 – Köşe kolonlarda **Denk.(17.51)** ile verilen koşul sağlanacaktır.

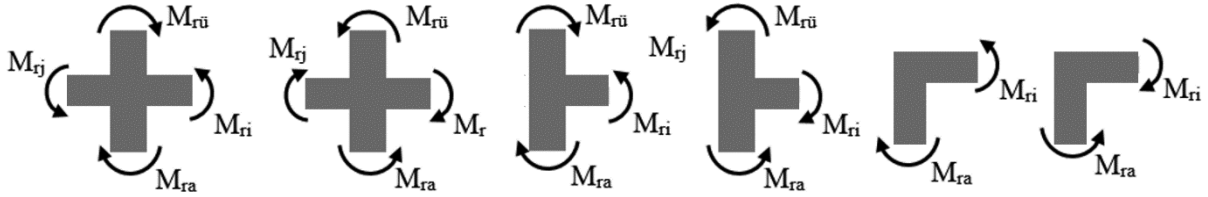
$$\frac{(M_d)_x}{(M_r)_x} + \frac{(M_d)_y}{(M_r)_y} \leq 1.0 \quad (17.51)$$



Şekil 17.9

17.7.7 – Kolon kesitleri, temel (veya zemin kat döşemesi) üstündeki kesit ve en üst kat kirişi altındaki iç kolon kesiti hariç olmak üzere, diğer tüm kolon-kiriş birleşim bölgelerinde (Şekil 17.10), Denk.(17.52)'de tanımlanan kolonların kirişlerden daha güçlü olma koşulunu sağlayacaktır.

$$(M_{ra} + M_{rü}) \geq 1.2(M_{ri} + M_{rj}) \quad (17.52)$$



Şekil 17.10

17.8. DİKDÖRTGEN ENKESİTE SAHİP OLMAYAN PERDELER

17.8.1 – L, T, U, ve C enkesitli perdeler içeren binalarda yapısal çözümlenme ve perde tasarımı için tanımlanmış olan özel kurallar, bu bölümde verilmektedir.

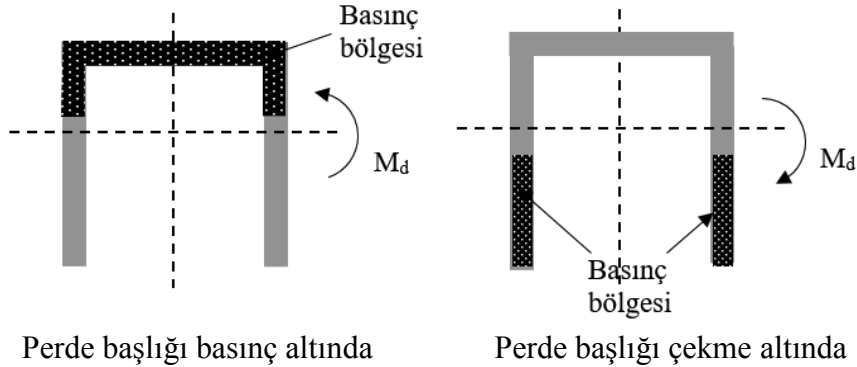
17.8.2 – U ve C enkesitli perdelerin yanal doğrultuda yalnızca bir ucundan tutulu kolları, aynı uzunlukta olacaktır.

17.8.3 – Taşıyıcı sistemin çözümlenmesinde bu perdeler, enkesit geometrik merkezlerinde konumlanmış olan ve her iki doğrultuda yatay rijitliğe sahip olan çubuk elemanlar olarak kabul edilecektir. Perde yatay rijitliği, kat rijitlik merkezi, kat burulma momenti, kat burulma rijitliği

ve perde kesme kuvvetlerinin hesabında, bu tür perdelerin enkesit geometrik merkezine göre her iki doğrultuda hesaplanan eylemsizlik momenti değerleri kullanılacaktır.

17.8.4 – Bu tür perdelerin kesme kuvveti dayanımının hesabında, yalnızca göz önüne alınan perde kesme kuvvetiyle aynı doğrultuda olan perde kolları göz önüne alınacaktır.

17.8.5 – Bu tür perdelerin taşıma gücü momentinin hesabında, perde başlığının eğilme etkisinden dolayı çekme altında bulunduğu durumda (Şekil 17.11), perdenin taşıma gücü momenti, dikdörtgen perde kesitleri için 17.7.4 ve 17.7.5'te verilmiş olan yöntem ile hesaplanacaktır. Bu hesapta b , perde gövdesinin toplam genişliği olarak, A_{su} ise başlıkta bulunan toplam boyuna donatı alanı olarak alınacaktır. Perde başlığının eğilme etkisinden dolayı basınç altında bulunduğu (Şekil 17.11) veya perde başlıklarının birinin çekme diğerinin basınç altında bulunduğu durumlarda ise, perdenin taşıma gücü momenti, kiriş kesitleri için 17.7.1'de verilmiş olan yöntem ile hesaplanacak, eksenel yükün perde taşıma gücü momentine etkisi göz önüne alınmayacaktır.



Şekil 17.11

17.9. DÖŞEMELERDEN PERDELERE DEPREM YÜKÜ AKTARIMI

17.9.1 – Bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yükleri, döşemelerden perdelere (veya perde kollarına), perdenin kuvvetli doğrultusunda saplanan kirişler tarafından aktarılacaktır.

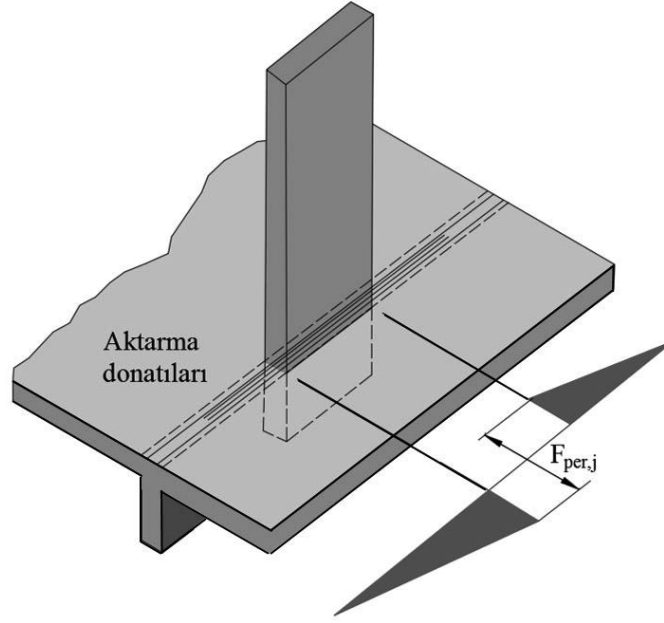
17.9.2 – j 'nci katta herhangi bir perdeye kuvvetli doğrultuda saplanan kirişin perde yüzü kesitindeki eksenel çekme dayanımı, perdeye j 'nci katta aktarılan yatay deprem kuvvetinden ($F_{per,j}$) az olmamalıdır. Bu kuvvet, 17.5.1.7'de tanımlanmış olduğu üzere, j katının üst ve altındaki perde kesitlerinde oluşan kesme kuvveti değerlerinin farkı olarak hesaplanmaktadır.

17.9.3 – Perdeye kuvvetli doğrultuda her iki uçtan iki kirişin saplandığı durumda $F_{per,j}$ kuvveti, perdeye saplanan iki kirişe, kirişlerin kat planındaki uzunlukları ile orantılı olarak paylaşılır.

17.9.4 – Bu amaçla kirişlere yerleştirilecek olan boyuna donatıların (aktarma donatıları), perde uzunluğu boyunca sürekliliği sağlanacak veya bu donatılara perde uzunluğu içerisinde bindirmeli ek yapılacaktır.

17.9.5 – Perde yüzünde hesaplanmış olan aktarma donatısı miktarında kirişin kat planında son bulunduğu noktaya kadar sıfır değerine doğru doğrusal olarak değişen azaltma yapılabilir (Şekil 17.12).

17.9.6 – Kirişin herhangi bir kesitinde kenetlenme koşullarını sağlayan ve kirişin eğilme dayanımı için gerekli olandan arta kalan donatılar, hesaplarda aktarma donatısı olarak göz önüne alınabilir.



Şekil 17.12