

TBDY-2018, Kısım 16
DEPREM ETKİSİ ALTINDA TEMEL ZEMİNİ VE
TEMELLERİN
TASARIMI İÇİN ÖZEL KURALLAR

26.01.2023 İMO,
Ankara

Sunum İçeriği



- 2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar
- Zemin koşullarının ve parametrelerinin tanımlanması
- Yerel zemin sınıflarının belirlenmesi
- Sahaya özel zemin davranış analizleri
- Sıvılaşma riskinin değerlendirilmesi
- Temellerin tasarımı
- Kazıklı temeller
- Bodrum perdeleri
- Dayanma yapılarının tasarımı
- Şevlerin duraylılığı
- Zemin özelliklerinin iyileştirilmesi

2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Yerel zemin sınıfı tanımı (2007)

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar....	—	—	> 1000	> 1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl.....	> 50	85–100	—	> 700
	3. Sert kil ve siltli kil.....	> 32	—	> 400	> 700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar....	—	—	500–1000	700–1000
	2. Sıkı kum, çakıl.....	30–50	65–85	—	400–700
	3. Çok katı kil ve siltli kil....	16–32	—	200–400	300–700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar.....	—	—	< 500	400–700
	2. Orta sıkı kum, çakıl.....	10–30	35–65	—	200–400
	3. Katı kil ve siltli kil.....	8–16	—	100–200	200–300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın altıvyon tabakaları.....	—	—	—	< 200
	2. Gevşek kum.....	< 10	< 35	—	< 200
	3. Yumuşak kil, siltli kil.....	< 8	—	< 100	< 200

Yerel Zemin Sınıfı	Tablo 6.1'e Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Yerel zemin sınıfı tanımı (2019)

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 ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 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 (sıvılaştırılabilir 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.			

2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

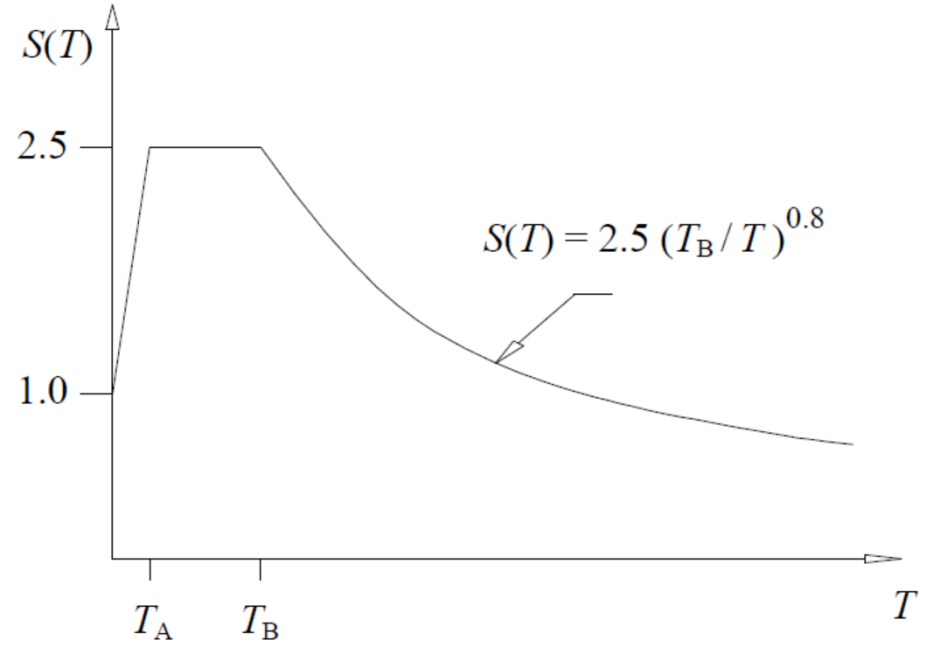
Deprem yer hareketinin tanımı (2007)

$$S(T) = 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B)$$

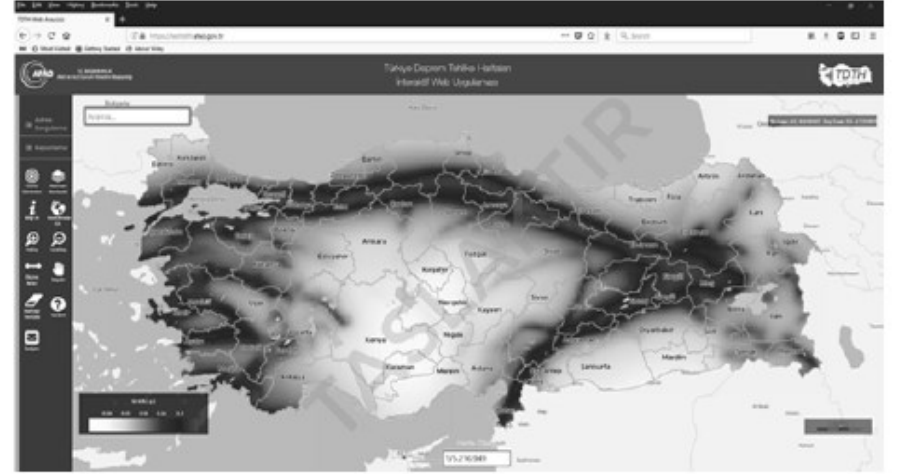
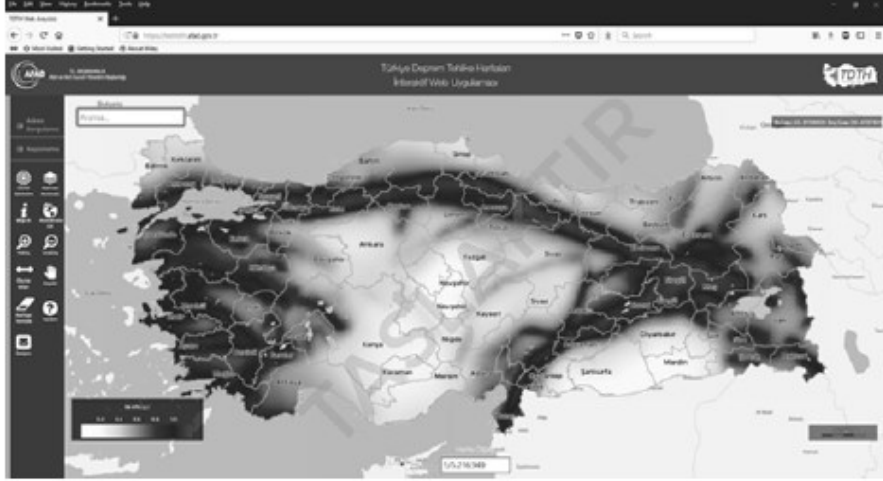
$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad (T_B < T)$$

Tablo 6.2'ye göre Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90



2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Deprem yer hareketinin tanımı (2019)



Deprem Tehlike Haritasından öngörülen deprem yer hareketi düzeyi için **Spektral ivme katsayıları S_s ve S_1 'in belirlenmesi**

2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Deprem yer hareketinin tanımı (2019)

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

$$S_{DS} = S_S F_S$$

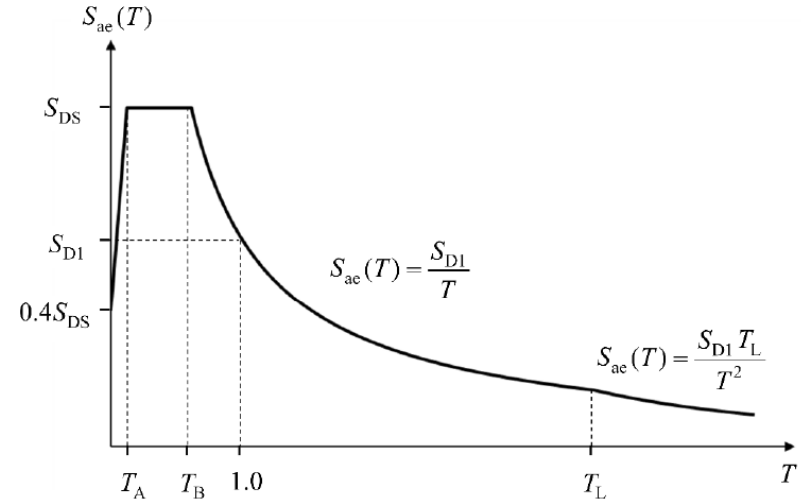
$$S_{D1} = S_1 F_1$$

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T)$$



2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Sıvılaşma potansiyeli (2007)

Bütün deprem bölgelerinde, yeraltı su seviyesinin zemin yüzeyinden itibaren 10 m içinde olduğu durumlarda, D grubuna giren zeminlerde *Sıvılaşma Potansiyeli*'nin bulunup bulunmadığının, saha ve laboratuvar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemleri ile incelenmesi ve sonuçların belgelenmesi zorunludur.

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıklık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar.... 2. Çok sıkı kum, çakıl..... 3. Sert kil ve siltli kil.....	— > 50 > 32	— 85–100 —	> 1000 — > 400	> 1000 > 700 > 700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar.... 2. Sıkı kum, çakıl..... 3. Çok katı kil ve siltli kil...	— 30–50 16–32	— 65–85 —	500–1000 — 200–400	700–1000 400–700 300–700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar..... 2. Orta sıkı kum, çakıl..... 3. Katı kil ve siltli kil.....	— 10–30 8–16	— 35–65 —	< 500 — 100–200	400–700 200–400 200–300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları.... 2. Gevşek kum..... 3. Yumuşak kil, siltli kil....	— < 10 < 8	— < 35 —	— — < 100	< 200 < 200 < 200

2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Sıvılaşma potansiyeli (2019)

- Deprem Tasarım Sınıfı **DTS=1, DTS=1a, DTS=2 ve DTS=2a** olan binalar için **ZD, ZE veya ZF** grubuna giren 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.**
- 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 (kivam) limit değerlerinin belirlenmesini içerecektir.
- Düzeltilmiş SPT vuruş sayısının, **$N_{1,60}$, 30 darbe / 30 cm** değerinden küçük olduğu durumlarda zemin sıvılaşması tetiklenme değerlendirmesi yapılacaktır.

2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Zemin emniyet gerilmeleri (2007)

Temel zemini olarak (A), (B) ve (C) gruplarına giren zeminlerde, statik yüklere göre tanımlanan zemin emniyet gerilmesi ve kazıklı temellerde kazığın yatay ve eksenel yükler için emniyetli taşıma yükü, **deprem durumunda en fazla %50 arttırılabilir.**

2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Zemin emniyet gerilmeleri (2019)

Temellerin, şevler, heyelan bölgeleri, kazılar, tüneller, yeraltı ve maden kazıları yakınlarında bulunması durumunda, temel genel stabilite ve/veya etkileşim analizleri yapılmalıdır. Genel stabilite analizleri yapılacaktır.

$$E_t \leq R_t \quad R_t = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

E_t : statik ve depremi içeren tasarım etkileri

R_t : ilgili göçme mekanizmasına karşı gelen tasarım dayanımı

γ_R : dayanım katsayısı

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.

2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Kazıklı temeller (2007)

- Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde eğimleri $1/6$ 'dan daha fazla olan eğik kazıklar kullanılmayacaktır.
- Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, dökme fore kazıklarda, 3 metreden az olmamak üzere, kazık başlığının altındaki kazık boyunun üstten $1/3$ 'ünde boyuna donatı oranı 0.008'den az olamaz. Bu bölgeye konulacak spiral donatı çapı 8 mm'den az ve spiral adımı 200 mm'den fazla olmayacak, ayrıca üstten en az iki kazık çapı kadar yükseklikte spiral donatı adımı 100 mm'ye indirilecektir.
- Betonarme prefabrike çakma kazıklarda boyuna donatı oranı 0.01'den az olamaz. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kazık başlığının altındaki kazık boyunun üstten $1/3$ 'ünde enine donatının çapı 8 mm'den az olmayacaktır. Bu bölgede, etriye aralığı veya spiral donatı adımı 200 mm'den fazla olmayacaktır.

2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Kazıklı temeller (2019)

- Eğik kazıklara **izin verilmemektedir**.
- Statik yükleme deneyleri, zemin araştırmalarında elde edilen özellikleri kullanılarak, veya dinamik yükleme deneylerinden **elde edilen sonuçlar** kullanılarak taşıma gücü hesaplanmalıdır.
- Tasarım dayanımları, karakteristik dayanımların dayanım katsayılarına bölünmesiyle elde edilir.

- DTS = 1, 1a, 2, 2a olan binaların kazıklı temellerinde, **en az iki adet statik yükleme deneyi** yapılmalıdır.
- Kazıklı temellerin deprem hesabı için, **dinamik yapı – kazık – Zemin etkileşimi analizleri** yapılmalıdır.

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 ≥ 4	ZD, ZE, ZF
	DTS = 1, 2, 3, 3a	BYS ≥ 2	

2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Temel bağ kirişleri (2007)

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 etriye çapı 8 mm'den az ve etriye aralığı 200 mm'den fazla olmayacaktır.

KOŞULUN TANIMI	Deprem Bölgesi	Zemin Grubu (A)	Zemin Grubu (B)	Zemin Grubu (C)	Zemin Grubu (D)
1. Bağ kirişinin minimum aksenal kuvveti ⁽¹⁾	1, 2 3, 4	%6 %4	%8 %6	%10 %8	%12 %10
2. Minimum enkesit boyutu (mm) ⁽²⁾	1, 2 3, 4	250 250	250 250	300 250	300 250
3. Minimum enkesit alanı (mm ²)	1, 2 3, 4	62500 62500	75000 62500	90000 75000	90000 75000
4. Minimum boyuna donatı	1, 2 3, 4	4Ø14 4Ø14	4Ø16 4Ø14	4Ø16 4Ø16	4Ø18 4Ø16

2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Temel bağ kirişleri (2019)

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.

$$N_b = 0.10 S_{DS} N_k$$

N_k : bağ kirişinin bağlandığı kolon veya perdedeki en büyük aksenal kuvveti

S_{DS} : kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı

2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Dayanma yapıları (2007)

Düşeyde serbest konsol olarak çalışan zemin dayanma (istinat) yapılarında

Yatay doğrultuda bina döşemeleri veya ankrajlarla mesnetlenmiş zemin dayanma (istinat) yapı ve elemanlarında

Yatay eşdeğer deprem katsayısı

$$C_h = 0.2 (I + 1) A_0$$

$$C_h = 0.3 (I + 1) A_0$$

A_0 : Etkin yer ivmesi katsayısı

I : Bina önem katsayısı

Düşey eşdeğer deprem katsayısı

$$C_v = \frac{2C_h}{3}$$

2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Dayanma yapıları (2019)

Yatay eşdeğer deprem katsayısı $k_h = \frac{0.4S_{DS}}{r}$

Düşey eşdeğer deprem katsayısı $k_v = 0.5k_h$

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
 r : Statik-eşdeğer deprem azaltma katsayısı

Tablo 16.7. Dayanma Yapıları için r katsayıları

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

2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Şevlerin duraylılığı (2019)

- Doğal ya da yapay şevlerin üzerinde ve yakınında inşa edilecek yapıların tasarım depremi etkisinde güvenliği ve servis görübilirliğinin korunması için, şevin deprem yükleri etkisinde duraylı ve işlevsel (servis verebilir) kalacağıının tahkik edilmesi gereklidir.
- 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.

2007 ve 2019 Yönetmelikleri arasındaki temel farklılıklar

Dört yeni ek (2019)

EK 16A – ZEMİN ARAŞTIRMALARI İÇİN GENEL KURALLAR

EK 16B – BASİTLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN SIVILAŞMA DEĞERLENDİRMESİ

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

EK 16D – ARAZİ ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN YERİNDE İYİLEŞTİRİLMESİ

Zemin koşullarının ve parametrelerinin tanımlanması

Zemin araştırmaları için genel kurallar

- Kuyular burgu, kum veya kil kovası ile darbeli veya dönel (rotary) sistemlerle, kayada ise kaya yüzeyinden itibaren sürekli karot alınarak
- Her 300 m²'lik taban alanı için en az bir adet (Bina Yükseklik Sınıfı $BYS \leq 3$ için en az üç adet), 1000 m²'yi geçen binalarda birer adet bina köşelerinde ve bir adet ortada olmak üzere en az beş adet
- Topoğrafik ve jeomorfolojik koşullar özel yerlere işaret etmiyorsa, en az yapı planının köşeleri ve ortasında
- Şev duraysızlığı potansiyeli olan eğimli arazilerde, duraylılık analizine veri sağlayacak hatlar boyunca

Zemin koşullarının ve parametrelerinin tanımlanması

Zemin araştırmaları için genel kurallar

- Sondaj derinliği, yapı genişliğinin en az 1.5 katı veya net temel taban basıncından kaynaklanan zemindeki gerilme artışıının ($\Delta\sigma$) zeminin kendi ağırlığından kaynaklanan **efektif gerilmenin % 10'una eşit olduğu derinlikten** daha elverişsizi olacaktır
- Yüksek dayanıma sahip bir tabakanın bulunması durumunda sondaj, bu tabaka içine en az **3 metre** girmelidir
- Kazıklı temel uygulamasının gerekebileceği durumlarda, sondaj derinliği kazık taşıma gücü ve oturma hesaplamalarını yapmaya olanak sağlayacak şekilde seçilecektir.
- 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**.

Zemin koşullarının ve parametrelerinin tanımlanması

Zemin araştırmaları için genel kurallar

- Uygun aralıklarla (örneğin her 1.50 m'de bir adet) arazi deneyleri (SPT, kanatlı kesici, presiyometre, vb.) yapılacaktır.
- Her cins zeminden, Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) sırasında örselenmiş örnekler alınacaktır.
- Kohezyonlu zeminlerden, yeterli sayıda örselenmemiş örnek alınacaktır.
- Kaya sondajlarında karotların çapı en az NX (54 mm) veya NQ (47.6 mm) olacaktır.
- Sondaj kuyusu içinde yapılacak ölçümlerle yeraltı su seviyesi belirlenecektir. Etüt derinliği içinde kohezyonlu ve kohezyonsuz birden fazla tabaka ve/veya su taşıyıcı katman (akifer) seviyenin bulunması durumunda, yeraltı suyu düzeyi ölçülecektir.

Zemin koşullarının ve parametrelerinin tanımlanması

Zemin araştırmaları için genel kurallar

- Laboratuvar deneyleri, **en çok 2 m aralıklarla** yeterli sayı ve derinliklerde yetkili laboratuvarlarda yapılacaktır.
- Örselenmiş ve örselenmemiş örneklerde yeterli 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 ilk 15 m'den alınan tüm örnekler üzerinde sınıflandırma deneyleri (pipet/hidrometre dahil) yapılacaktır.
- Örselenmemiş örnekler üzerinde, mukavemet (tek eksenli basınç, kesme kutusu, üç eksenli basınç-UU/CU) deneyleri yapılacak, drenajlı ve drenajsız kayma mukavemeti parametreleri belirlenecektir.
- Killi zeminlerde konsolidasyon deneyleri yapılacaktır.

Zemin koşullarının ve parametrelerinin tanımlanması

Veri Raporu ve Geoteknik Rapor

- ***Veri Raporu***, arazi ve laboratuvarda gerçekleştirilmiş zemin araştırmalarında elde edilen verilerin sunulduğu rapordur. Rapor bölgenin jeolojik yapısını ve proje sahasının jeolojik özelliklerini, araştırma sondajlarını ve muayene çukuru loglarını, zemin kesitlerini ve yeraltı su düzeyini, arazi ve laboratuvar deneyleri sonuçlarını, jeofizik araştırma bulgularını vb. zemin araştırma sonuçlarını sunulacaktır.
- ***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.

Zemin koşullarının ve parametrelerinin tanımlanması

Veri Raporu

Arazi zemin modeli oluşturulacak, yapı yükleri ve deprem etkisi altında zemin tabakalarının davranışı irdelenecek, yapının ve temellerinin tasarımına ilişkin geoteknik tasarım parametreleri verilecektir.

Zemin koşullarının ve parametrelerinin tanımlanması

Geoteknik Rapor

- Yapı ile uyumlu temel sistemi seçilecek, taşıma gücü ile kısa ve uzun süreli zemin yerdeğıştirme-oturma değerleri verilecek, zeminlerin şişme davranışı, net temel basınçları ve olası kaldırma kuvvetleri dikkate alınacaktır.
- Zemin iyileştirme ve/veya güçlendirmesine gereksinim duyulması halinde, önerilen yöntemle ilişkin uygulama esasları tanımlanacak, iyileştirilmiş zemin için hedeflenen zemin özellikleri, temellerin taşıma gücü ve yerdeğıştirme değerleri verilecektir.
- İksa sistemlerinin tasarımı için gereken zemin parametreleri verilecektir. Şev duraysızlığı tehlikesi olan eğimli arazilerde inşa edilecek yapılar için, şev duraylılık analizleri yapılacak ve kaymaya karşı alınacak uygun önlemler belirlenecektir.

Zemin koşullarının ve parametrelerinin tanımlanması

Zemin parametrelerinin belirlenmesi

- Drenajlı veya drenajsız koşullarla uyumlu mukavemet parametreleri kullanılacaktır.
- Kohezyonlu zeminlerde, deprem etkisinde oluşabilecek mukavemet kayıpları/yumuşama gözönüne alınarak, **toplam gerilme analizlerinde drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değeri kullanılacaktır.**
- 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.**

Yerel zemin sınıflarının belirlenmesi

Yerel zemin sınıflarının belirlenmesinde kayma dalgası hızı V_S , SPT darbe sayısı N ve kohezyonlu zeminler için c_u değeri kullanılabilir.

$$G_{\text{maks}} = \rho V_S^2$$

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 ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 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.			

Yerel zemin sınıflarının belirlenmesi

Zemin profillerinde üst 30 metredeki tabakalar, yeteri kadar alt tabakaya ayrılarak en üstte $i = 1$ ve en altta $i = N$ olacak şekilde sıralanacaktır.

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

h_i : (i) numaralı alt tabakanın kalınlığını [m]

$V_{S,i}$: kayma dalgası hızı [m/s]

$N_{60,i}$: standart penetrasyon deneyi darbe sayısı [darbe/30 cm]

$c_{u,i}$: drenajsız kayma dayanımını [kPa]

Yerel zemin sınıflarının belirlenmesi

Harita spektral ivme katsayıları S_S ve S_1 , tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} 'e dönüştürülür

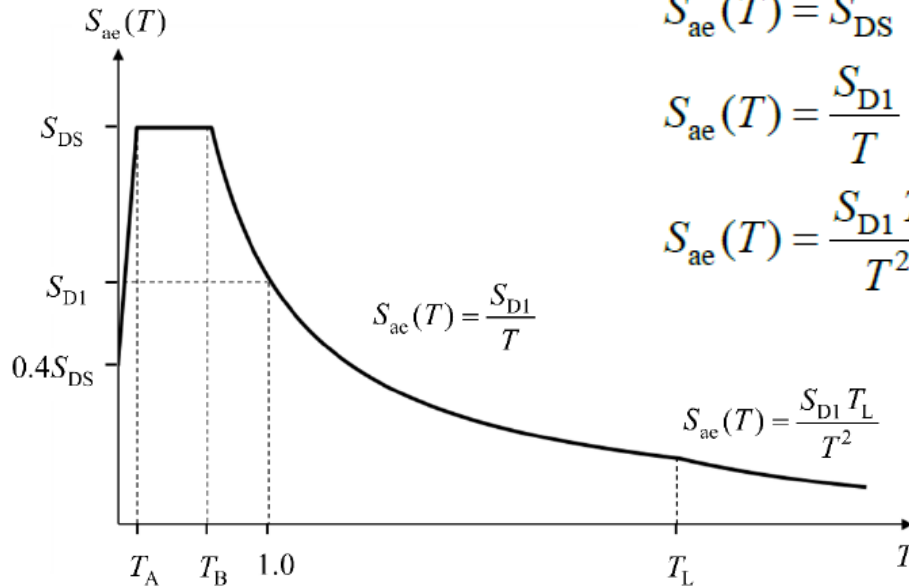
$$S_{DS} = S_S F_S$$

$$S_{D1} = S_1 F_1$$

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).</i>					

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).</i>					

Yerel zemin sınıflarının belirlenmesi



$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T)$$

Sahaya özel zemin davranış analizleri

ZF sınıfı olarak tanımlanan zeminlerin yüzeyindeki deprem yer hareketini belirlemek üzere **sahaya özel zemin davranış analizinin** yapılması zorunludur.

yatay tabakalardan oluştuğu durumlarda, sahaya özel zemin davranış analizleri için tek boyutlu yatay tabakalı serbest zemin modeli kullanılabilir. Aksi durumlarda **iki veya üç boyutlu** zemin modelleri kullanılacaktır.

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.			

Sahaya özel zemin davranış analizleri

Doğrusal Olmayan Serbest Zemin Modeli ve Deprem Analizi

Yatay zemin tabakalarında kayma birim şekildeğiştirmesi'ne bağlı olarak kayma modülleri'nin ve eşdeğer histeretik sönüm katsayıları'nın doğrusal olmayan değişimlerinin tanımlanması gereklidir.

Aşağıdaki analiz yöntemlerinden biri ile yapılacaktır:

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

Sahaya özel zemin davranış analizleri

Doğrusal Olmayan Serbest Zemin Modeli ve Deprem Analizi

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.

Spektral büyüklükler ZA veya ZB yerel sınıfı için verilen yerel zemin etki katsayıları gözönüne alınarak küçültülecektir.

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

Sahaya özel zemin davranış analizleri

Doğrusal Olmayan Serbest Zemin Modeli ve Deprem Analizi

Taban kayasının yukarıda verilen alt sınıra oranla çok daha derinlerde olması durumunda tabakalı zemin modeli, yerel zemin sınıfı ZC veya ZD olan zemin tabakası ile sonlandırılabilir.

ZC veya ZD yerel sınıfı için verilen yerel zemin etki katsayıları gözönüne alınarak büyütülecektir.

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

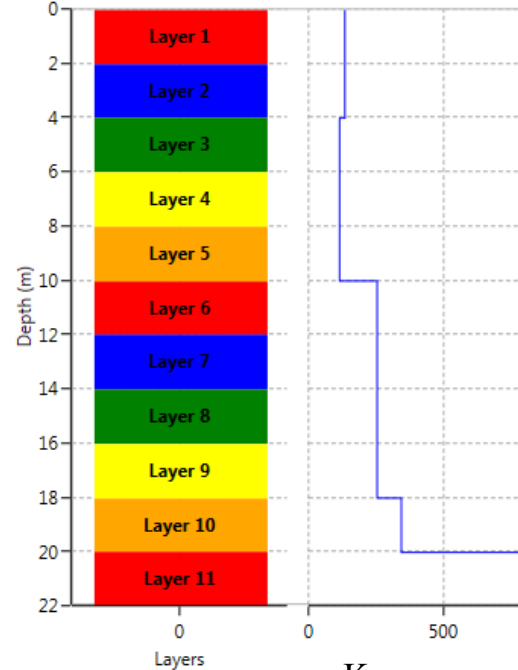
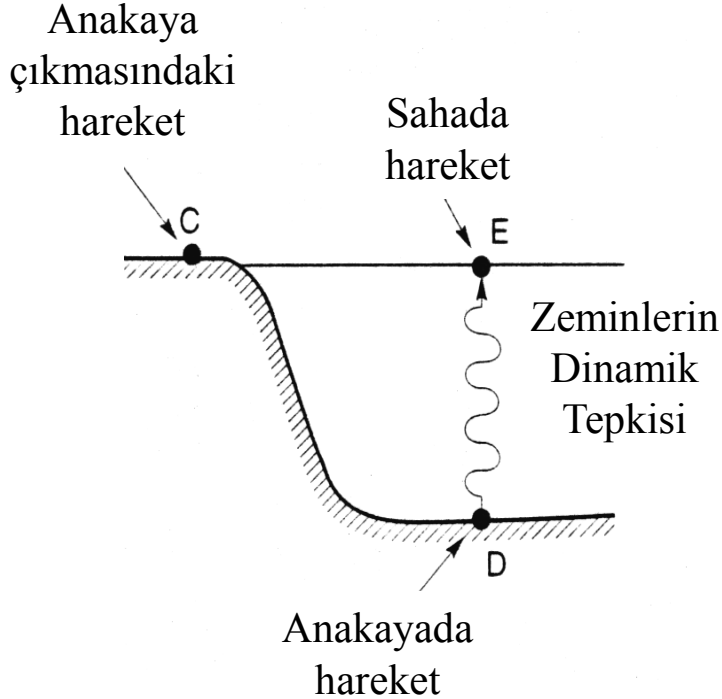
Sahaya özel zemin davranış analizleri

Doğrusal Olmayan Serbest Zemin Modeli ve Deprem Analizi

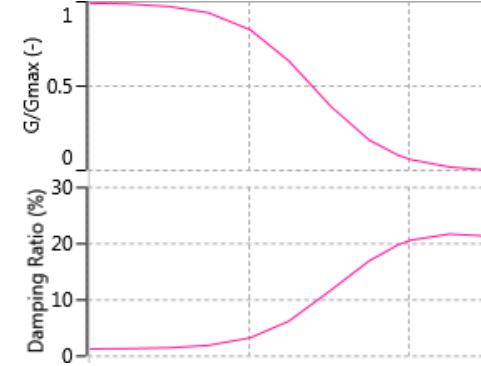
- Elastik ivme spektrumu ile uyumlu olarak en az onbir deprem kaydı tanımlandırılacaktır *(Madde 2.5.3: Zemin davranış analizlerinde seçilen deprem kayıtlarının tasarım spektrumuna spektral uyum sağlanacak şekilde dönüştürülmesi ile de elde edilebilir. Dönüştürülen deprem yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamaları, tüm periyotlar için tasarım spektrumu ordinatlarından daha küçük olmayacaktır).*
- 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
- Yerel zemin sınıfı **ZF dışındaki zeminlerde**, zemin yüzeyinde belirlenen sahaya özel deprem spektrumunun ordinatları, ilgili yerel zemin sınıfı gözönüne alınarak belirlenen spektral ivmelerden **daha küçük alınamaz.**
- **Sıvılaşma potansiyeli** olan zeminlerde eşdeğer doğrusal analiz modeli ile frekans tanım alanında hesap yapılmayacaktır. Bu durumlarda **zaman tanım alanında doğrusal olmayan** analiz yapılacaktır.

Sahaya özel zemin davranış analizleri

- Doğrusal Olmayan Serbest Zemin Modeli ve Deprem Analizi



ÖRNEK:
DEEPSOIL



Seçilen bir katmanın
birim uzama ile
mukavemetinin
azalması ve
sönümlemesinin
artması

Sıvılaşma riskinin değerlendirilmesi

- Düşük geçirgenliğe sahip gevşek-orta sıkı siltli kumlar veya az geçirimli kaplama veya ara tabakalar ile boşluk suyunun hareket edemediği kumlu çakıllı zeminlerde,
 - Kayma şekil değiştirmelerine maruz kalan zeminin sıkışma eğiliminde olması (nispeten gevşek ve 'kuru' malzemenin yük çevrimleri altında sıkışma eğilimi göstermesi)
 - Yükleme çevrimlerinin hızının boşluk suyunun hareketinden hızlı olması durumunda boşluk suyunun basıncında artış olması (drenaj hızı, yük çevrimlerinin hızına göre nispeten yavaş)

olması sonucunda,

- Artan boşluk suyu basıncından dolayı efektif gerilmenin azalması
- Gevşek malzemelerde kayma mukavemetinde kayıp
- Orta sıkı malzemelerde geçici yumuşama ve artan kayma şekil değiştirmeleri görülebilmektedir.

Sıvılaşma riskinin değerlendirilmesi

- Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1, 1a, 2 ve 2a olan binalar için ZD, ZE veya ZF grubuna giren, 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.** (DTS=3, 3a, 4, 4a için bir zorunluluk belirtilmemiştir)
- Zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesinin altında yer alan ve yüzeyden 20 m derinliğe kadar olan kohezyonsuz ya da düşük kohezyonlu (PI<%12) zeminlerin boşluk suyu basıncındaki artışa paralel kayma mukavemeti ve rijitliğindeki önemli oranda azalış olarak tanımlanmıştır.
- 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.

Sıvılaşma riskinin değerlendirilmesi

- Zemin tabakalarında düzeltilmiş SPT vuruş sayısının, $N_{1,60} < 30$ olduğu durumlarda zemin sıvılaşması tetiklenme değerlendirmesi yapılacaktır.
- Deprem Tasarım Sınıfı'nın 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 zeminler**
 - (b) **İnce dane yüzdesinin % 35'den fazla ve düzeltilmiş SPT vuruş sayısının, $N_{1,60} > 20$ olduğu kumlu zeminler**
- Sıvılaşma tetiklenmesi riski yanında, sıvılaşma sonrası zemin mukavemeti ve rijitlik kaybı ile temel zemininde **oluşabilecek yerdeğişirmelerin dikkate alınması gereklidir.**

(DTS=3, 3a, 4a için değerlendirme yapılma durumu hususunda yönetmelikte bir bilgi verilmemiştir. Tüm tasarımlarda sıvılaşma değerlendirmesi yapılması önerilir)

Sıvılaşma riskinin değerlendirilmesi

Basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirmesi

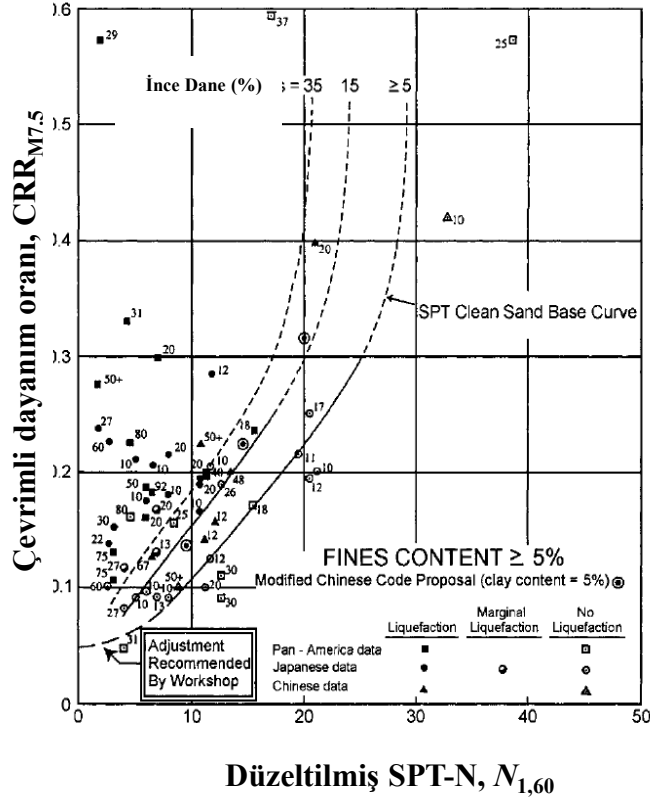
Sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu $\frac{\tau_R}{\tau_{\text{deprem}}} \geq 1.10$

τ_R ve τ_{deprem} sıvılaşma direncini ve zeminde depremden oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesini ifade etmektedir.

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

Sıvılaşma riskinin değerlendirilmesi

Basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirmesi



SPT deneyi ile sıvılaşma potansiyelini belirlenmesi amacıyla, Youd vd. (1996) tarafından özetlenmiş, Seed ve Idriss yöntemi Ek 16B'de sunulmuştur.

Benzer şekilde CPT penetrasyon direnci ve kayma dalgası hızı ilişkileri mevcuttur.

Sıvılaşma riskinin değerlendirilmesi

Basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirmesi (Ek 16B)

Ham SPT Verilerinin Düzeltilmesi

$$N_{1,60} = N C_N C_R C_S C_B C_E$$

C_N : kohezyonsuz zeminlerde uygulanan jeolojik gerilme (derinlik) düzeltme katsayısı

C_R : tij boyu düzeltme katsayısı

C_S : numune alıcı tipi düzeltme katsayısı

C_B : sondaj delgi çapı düzeltme katsayısı

C_E : enerji oranı düzeltme katsayısı

$$C_N = 9.78 \sqrt{\frac{1}{\sigma'_{vo}}} \leq 1.70$$

σ'_{vo} : deney derinliğindeki efektif düşey gerilme (kPa)

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

Sıvılaşma riskinin değerlendirilmesi

Basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirmesi (Ek 16B)

SPT verilerinin ince dane içeriğine göre düzeltilmesi $N_{1,60f} = \alpha + \beta N_{1,60}$

IDI : İnce dane içeriği

$$\alpha = 0 \quad ; \quad \beta = 1.0 \quad (IDI \leq \%5)$$

$$\alpha = \exp\left[1.76 - (190 / IDI^2)\right] \quad ; \quad \beta = 0.99 + IDI^{1.5} / 1000 \quad (\%5 < IDI \leq \%35)$$

$$\alpha = 5.0 \quad ; \quad \beta = 1.2 \quad (IDI \geq \%35)$$

Sıvılaşma riskinin değerlendirilmesi

Basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirmesi (Ek 16B)

$$\tau_R = CRR_{M7.5} C_M \sigma'_{vo}$$

τ_R : sıvılaşma direnci (kPa)

$CRR_{M7.5}$: moment büyüklüğü 7.5 olan depreme karşı gelen çevrimsel dayanım oranı

C_M : tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme

σ'_{vo} : deney derinliğindeki efektif düşey gerilme (kPa)

$$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34 - N_{1,60f}} + \frac{N_{1,60f}}{135} + \frac{50}{[10N_{1,60f} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (\text{Temiz kum eğrisi})$$

$$C_M = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}}$$

M_w = Tasarım depreminin moment büyüklüğü (belirsiz)

Sıvılaşma riskinin değerlendirilmesi

Basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirmesi (Ek 16B)

Depremde oluşan kayma gerilmesinin τ_{deprem} (kPa) hesaplanması

$$\tau_{\text{deprem}} = 0.65 \sigma_{\text{vo}} (0.4 S_{\text{DS}}) r_d$$

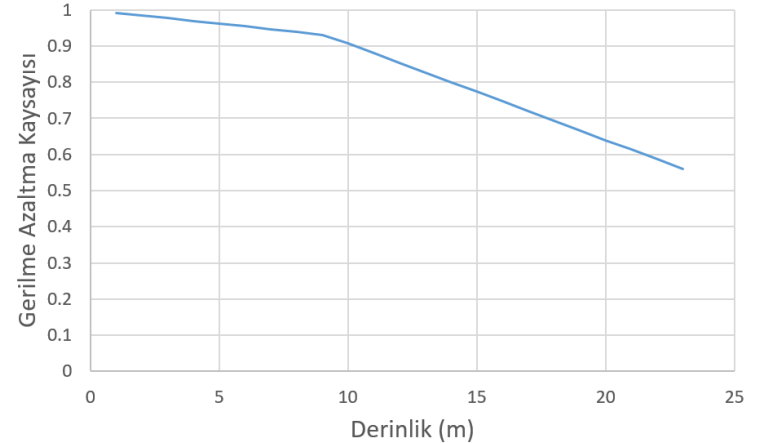
σ_{vo} : değerlendirme yapılan derinlikteki toplam düşey gerilme (kPa)

r_d : derinliğe bağlı azaltma katsayısı

S_{DS} : kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı

$$r_d = 1.0 - 0.00765z \quad z \leq 9.15\text{m}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \quad 9.15\text{m} < z \leq 23\text{m}$$



Temellerin tasarımı

Geoteknik tasarımı için taşıma gücü ilkesi esas alınmıştır.

$$E_t \leq R_t$$

E_t : statik ve depremi içeren yükleme durumlarına ilişkin tasarım etkileri

R_t : göçme mekanizmasına karşı gelen tasarım dayanımı'nı ifade etmektedir.

$$R_t = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

R_t : tasarım dayanımı

R_k : karakteristik dayanım

γ_R : dayanım katsayısı

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

Temellerin tasarımı

- 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.
- Tasarıma esas aksenal kuvvet ve eğilme momenti, temel tabanında düşey doğrultudaki temel taşıma gücü ile karşılanacaktır.
- 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. ($\%30 \times R_{pt} = \%30 R_{pk} / 1.4 = 0.214 \times R_{pk}$)

Temellerin tasarımı

Yüzeysel temellerin taşıma gücü

Statik ve deprem etkisini içeren yükleme durumlarının her birinde aşağıdaki eşitsizlik sağlanacaktır

$$q_o \leq q_t$$

q_o : düşey yük, kesme ve moment etkilerinin oluşturduğu temel taban basıncıdır.

q_t : tasarım dayanımı R_t 'nin temel taşıma gücüne ilişkin karşılığıdır

$$q_t = \frac{q_k}{\gamma_{Rv}}$$

Temellerin tasarımı

Yüzeysel temellerin taşıma gücü

Temel taşıma gücünün karakteristik dayanımı

$$q_k = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma B'N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

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

s_c, s_q, s_γ : temel şekli katsayıları

d_c, d_q, d_γ : temel derinlik katsayıları

i_c, i_q, i_γ : yükleme eğikliği katsayıları

g_c, g_q, g_γ : temel zemini eğimi katsayıları

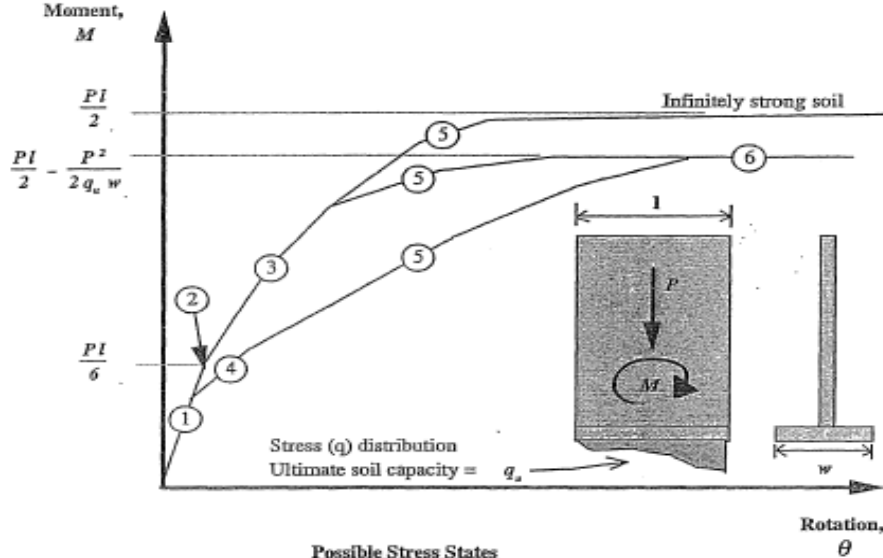
b_c, b_q, b_γ : temel taban eğimi katsayıları

Literatüre dayanan ve genel kabul görmüş bağıntılar kullanılabilir.

Temelin Taşıma Gücünün Aşılması



Temel altında q_u gelişimi



Lokal olarak q_u değerine ulaşmak temelin tamamen göçmesi anlamına gelmez.

Bir uygulama örneği:

Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings

Applied Technology Council (1996), California Seismic Safety Commission Report No. ATC-40

Şekil 10.4: Teorik elasto-plastik temel davranışı

Temellerin tasarımı

Yüzeysel temellerin taşıma gücü

- Deprem etkisinde yumuşak killer ve suya doygun gevşek-orta sıkı kohezyonsuz zeminlerde, çevrimsel yüklemeler altında boşluk suyu basıncı artışları ile, olası dayanım ve rijitlik kaybı dikkate alınarak **temel altı yer değiştirmeleri genel kabul gören geoteknik mühendisliği yaklaşımları ile hesaplanacaktır.**
- 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 şekil değiştirmeler hesaplanacaktır (taşıma gücü yeterli olsa da gerekli).

Temellerin tasarımı

Yüzeysel temellerin yatayda kayması

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt}$$
$$0.214 \times R_{pk}$$

V_{th} : temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvveti

R_{th} : tasarım sürtünme direnci

R_{pt} : tasarım pasif direnci

P_{tv} : tasarım düşey basınç kuvvetini

δ : temel tabanı/zemin arasındaki sürtünme açısını

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

Drenajlı durumda

Kohezyonlu zeminlerde
(drenajsız durumda)

Tasarım pasif direnci

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma_{Rh}}$$

$$R_{th} = \frac{A_c c_u}{\gamma_{Rh}}$$

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}}$$

Temellerin tasarımı

Temel bağ kirişleri

Tekil temelleri veya kazık başlıklarını her iki doğrultuda, sürekli temelleri ise kolon veya perde hizalarında birbirlerine bağlayan bağ kirişleri düzenlenecektir (yerel zemin sınıfı ZA olan temel zeminlerinde bağ kirişleri yapılmayabilir).

Bağ kirişinin kesit tasarımında gözönüne alınacak eksenel kuvvet N_b

$$N_b = 0.10 S_{DS} N_k$$

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

Temellerin tasarımı

Temel bağ kirişleri

- 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.
- Bağ kirişleri yerine betonarme döşemeler de kullanılabilir. Bu durumda, döşeme kalınlığı 150 mm'den az olmayacaktır.

Kazıklı temeller

- Kazıklı temellerin taşıma gücü hesabında aşağıdaki yaklaşımlarından biri uygulanabilir:
 1. Statik yükleme deney sonuçları
 2. Zemin araştırmalarından elde edilen zemin özellikleri.
 3. Statik yükleme deneyleri ile geçerliliği sağlanmış dinamik yükleme deneylerinden elde edilen sonuçlar
- Grup davranışı : grup içinde bulunan her bir kazığın toplam taşıma gücü ile kazıklar ve arasında kalan zeminden oluşan bloğun taşıma gücü değerlerinin küçük olanı olarak seçilecektir.
- Deprem Tasarım Sınıfı **DTS = 1, 1a, 2, 2a** olan binaların kazıklı temellerinde, **en az iki adet statik yükleme deneyi** yapılarak tasarım kabullerinin yerinde doğrulandığı kanıtlanacaktır.

Kazıklı temeller

Kazıkların Düşey Taşıma Gücü

$$P_{tv} \leq Q_{tv}$$

P_{tv} : kazığa etkiyen düşey tasarım kuvveti

Q_{tv} : kazığın düşey tasarım dayanımını

Q_{ks} : kazığın karakteristik çevre sürtünmesi direnci

Q_{ku} : karakteristik uç direncini

Q_{ktv} : karakteristik toplam kazık taşıma gücünü göstermektedir.

$$Q_{tv} = \frac{Q_{ks}}{\gamma_{Rs}} + \frac{Q_{ku}}{\gamma_{Ru}}$$

$$Q_{tv} = \frac{Q_{ktv}}{\gamma_{Rt}}$$

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

Kazıklı temeller

Kazıkların yanal taşıma gücü

$$P_{ty} \leq Q_{ty}$$

P_{ty} : kazığa etkiyen yanal tasarım kuvveti

Q_{ty} : kazığın yanal tasarım dayanımı

Doğrusal olmayan yük-yerdeğiştirme davranışı göstermesi beklenen yanal yüklü kazıkların tasarımında **izin verilebilir yerdeğiştirmelerin ve kazık kesitinin taşıma gücünün aşılmadığı** hesapla gösterilecektir
(Kısım 16.9.4.1: P-y eğrileri)

Kazıklı temeller

Kazıkların tasarımına ilişkin özel koşullar

- Eğik kazıklar **kullanılamaz**.
- Betonarme ve öngerilmeli betonarme kazıkların minimum boyutları **30 cm / 30 cm** veya **Ø 35 cm** olacaktır.
- 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.

Kazıklı temeller

Kazıkların tasarımına ilişkin özel koşullar

- Çelik boru kazıkların et kalınlıkları
 - DTS=1, 1a, 2, 2a olan binalarda: $\frac{D}{t} \leq 60$
 - DTS=3, 3a, 4, 4a olan binalarda: $\frac{D}{t} \leq 80$
- Çelik kazıkların betonarme teme (kazık başlığına) monolitik bağlantıları, kazıkların tepesinde en az iki kazık çapı derinliğinde düzenlenecek betonarme tıplar ile yapılacaktır. Tıpalardaki boyuna donatı, kazık tepesinde hesaplanan eğilme momenti ve aksel kuvveti betonarme kesit olarak aktaracak şekilde düzenlenecektir. Kazık aksel kuvvetinin tıpadan çelik kazık kesitinde güvenle aktarıldığı hesapla gösterilecektir.

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi

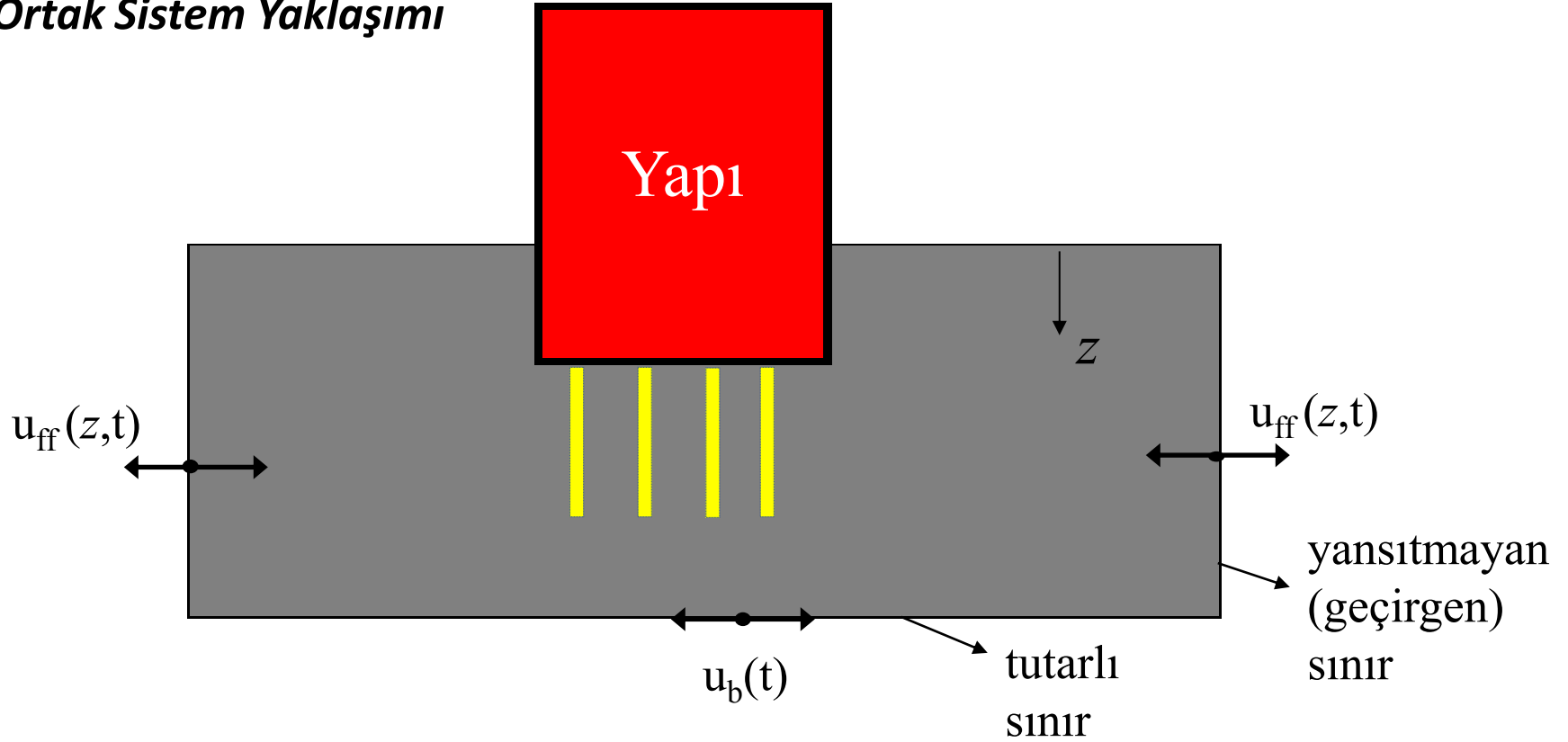
Kazıklı temellerin deprem hesabı için aşağıdaki hesap yaklaşımları kullanılabilir:

(a) Ortak sistem yaklaşımı: Üstyapı (bina), bina temeli, kazıklar ve zeminin taşıyıcı sistemin kısımları olarak birarada modellenip, doğrusal olmayan davranışları aynı anda 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, Ek 16.C'de verilen yöntemler bu prensibi ihlal etmektedir)

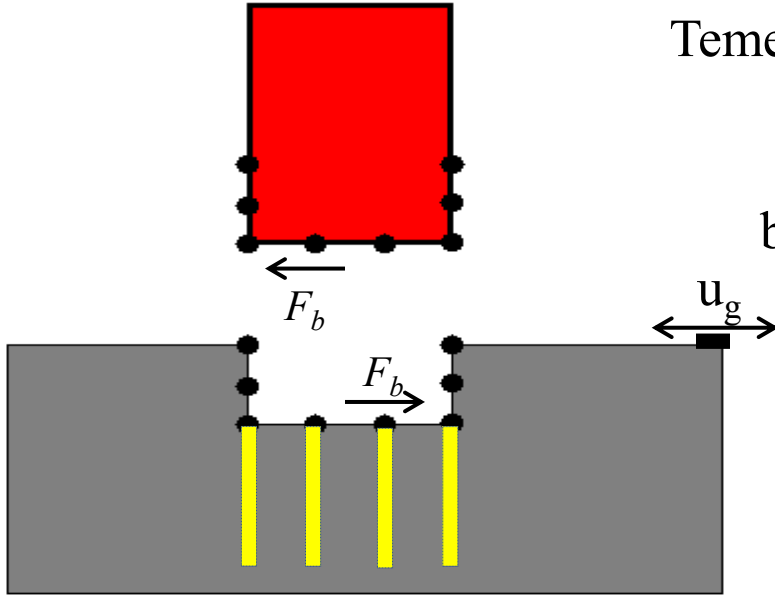
Kazıklı temeller

ZYE-Ortak Sistem Yaklaşımı

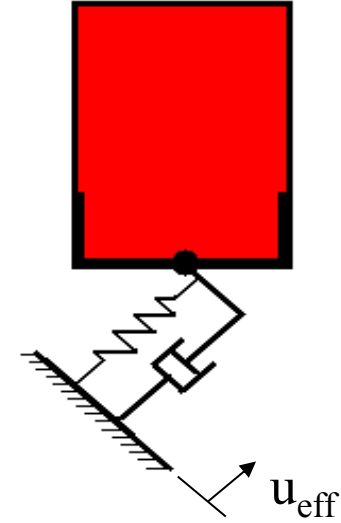


Kazıklı temeller

ZYE-Alt Sistem Yaklaşımı



Temel ve zeminlerin
dinamik
tepkisi
basitleştirilir

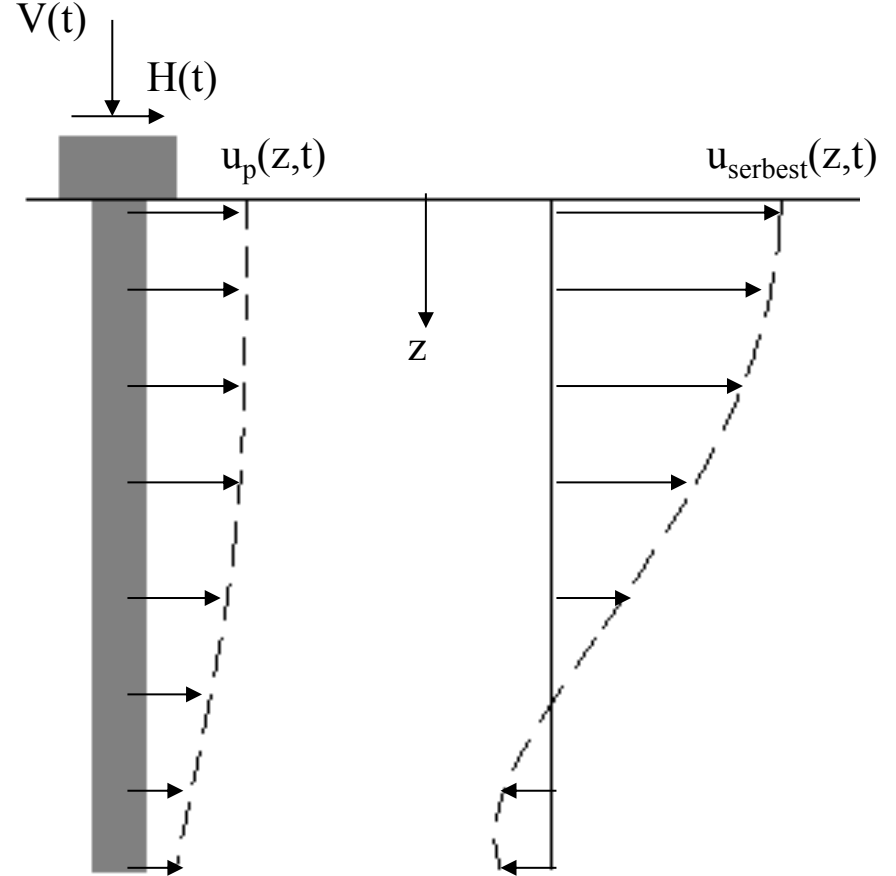


u_{eff} : etkin temel hareketi

Kazıklı temeller

Kinematik etkileşim

Üst yapının eylemsizlik özelliğinin gözönüne alınmadığı temel – kazık – zemin sistemi'ndeki bu oluşuma kinematik etkileşim adı verilir. Kazıklar ayrıca eylemsizlik etkileşimi kapsamında titreşen üst yapıdan 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.



Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi

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	

Bu tabloya göre DTS 4, 4a ve $BYS \geq 2$ ($H_N \leq 105$ m) için gerekli değildir

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Ortak Sistem Yaklaşımı / Yöntem I

Ortak Sistem Yaklaşımı ile Etkileşim Hesabı

Yöntem I'de etkileşim hesabı, üstyapı, temel, kazıklar ve zemin 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.

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Altsistem Yaklaşımı / Yöntem I

Kinematik Etkileşim Hesabı

- Zemin ortamı **üç boyutlu** olarak modelleneyecektir.
- Taban kayasının bina temelinden itibaren derinliği, en büyük bina genişliğinin üç katından ve en uzun kazık boyundan daha az olmayacaktır.
- Zemin ortamından dışa doğru yayılan dalgaların içeriye yansımalarını önlemek için uygun olarak seçilmiş **geçirgen sınırlar** kullanılacaktır (her yönde bina temel genişliğinin üç katından daha az olmayacaktır.)
- Zemin ortamının üç boyutlu doğrusal olmayan davranışı, deneysel verilerle uyumlu modeller kullanılarak gözönüne alınacaktır. **Sıvılaşma potansiyeli** olan zeminlerde, zaman tanım alanında **etkin gerilme analizi** yapılabilmesine olanak sağlayan **doğrusal olmayan zemin bünye modelleri** kullanılacaktır.

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Altsistem Yaklaşımı / Yöntem I

Kinematik Etkileşim Hesabı

- Kazıklar **çubuk elemanlar** olarak modellenenecektir. Kazıklarla zemin ortamı arasında uygun seçilmiş **arayüz elemanları** kullanılacaktır. Deprem hesabından önce, düşey yüklerden kazıklarda oluşan aksenal kuvvetler doğrusal olmayan statik hesap ile belirlenecektir.
Çubuk kazık + arayüz elemanların kazıkların statik ve dinamik zemin-yapı etkileşimini (oturma ve yatay deplasmanlar) doğru olarak modellediği gösterilmelidir.
- Bina temeli, bodrum kat çevre perdeleri ile birlikte (zemin kat seviyesine kadar), kütlesiz, sonsuz rijit bir eleman olarak modellenenecektir.
- En az onbir **(iki bileşenli)** çift olmak üzere mühendislik taban kayasından sisteme etki ettirilecektir.

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Altsistem Yaklaşımı / Yöntem I

Kinematik Etkileşim Hesabı

- Kazıklardaki iç kuvvet ve şekil değiştirme talepleri, yapılan analizlerin (**en az 2×11 = 22 analiz**) her birinden elde edilen sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanacaktır.
- $2 \times 11 = 22$ analiz için temelin tabanında, iki yatay eksen doğrultusunda ve bu eksenler etrafında dönme olarak tanımlanan serbestlik dereceleri için etkin temel hareketleri'ne ilişkin yer değiştirmelerin zamana göre değişimleri (temel seviyesi deprem kayıtları) ile bunlardan üretilen ivme spektrumları (temel seviyesi deprem spektrumları) elde edilecektir.

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Altsistem Yaklaşımı / Yöntem I

Eylemsizlik Etkileşimi Hesabı

- Temel – kazık – zemin sisteminde 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, **etkileşim yaylarına ait doğrusal olmayan kuvvet – yerdeğiştirme ilişkilerinin iskelet eğrileri elde edilecektir**. (serbestlik dereceleri arasındaki birliktelik -coupling- ihmal edilmektedir: örneğin, tabandaki yatay kuvvetin reaksiyon momentine sebep olmadığı kabul edilmiştir)
- Bina temeli ve bodrum katları ile birlikte modellenecektir. Etkileşim yayları bina temelinin tabanına yerleştirilecek ve bu yaylara **uygun birer histeretik davranış modeli** uyarlanacaktır (ancak bu uygunluğun doğrulaması için yöntem belirtilmemiştir).
- Bu şekilde oluşturan üstyapı-temel sistemine elde edilmiş etkin temel hareketlerine ait ivme kayıtları uygulanarak sistemin **zaman tanım alanında doğrusal olmayan** eylemsizlik etkileşimi hesabı yapılacaktır.

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Altsistem Yaklaşımı / Yöntem I

Sonuçlar

- Üsyapıda ve üstyapı temelinde (bodrumlar dahil) iç kuvvet, yer değiştirme ve şekil değiştirme taleplerinin zamana bağlı değişimleri
- Temel tabanında tanımlanan yaylarda oluşan etkileşim yer değiştirmelerinin ve etkileşim kuvvetlerinin zamana bağlı değişimleri ve kazıklarda oluşan iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler (artımsal *statik hesap* sonuçlarından yararlanılarak)
- Eylemsizlik etkileşimi hesabı sonucunda kazıklarda elde edilen iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler, kinematik etkileşim hesabından elde edilenlerle birleştirilecektir (**mutlak değerlerin toplamı**).
- 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

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Altsistem Yaklaşımı / Yöntem I

Sonuçlar

- 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.**

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Altsistem Yaklaşımı / Yöntem II

Kinematik Etkileşim Hesabı

- Zemin ortamı için herhangi bir modelleme yapılmayacaktır (dolaylı olarak gözönüne alınacaktır).
- Kazıklar **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. **p-y yayları**, her bir düğüm noktasında ve her iki doğrultuda **birer çift sadece-basınç yayı** olarak tanımlanabilir.

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Altsistem Yaklaşımı / Yöntem II

Kinematik Etkileşim Hesabı

Kazıklarda grup etkisi

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

β_{G1} : her bir kazık sırası için farklı olarak uygulanacak bir katsayı

s : gözönüne alınan doğrultuda kazık sıraları ara uzaklığının kazık çapına oranını ($s \leq 6$),

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.

$s > 6$ için $\beta_G = 1$ alınacaktır. (Düşey aks çevresinde dönme ihmal edilmektedir)

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Altsistem Yaklaşımı / Yöntem II

Kinematik Etkileşim Hesabı

- **Bina temeli kütlesiz, sonsuz rijit bir eleman** olarak modellenecektir. Bodrum perdeleri ile zemin arasında literatürden seçilmiş p-y benzeri **doğrusal olmayan sadece-basınç yayları** kullanılacaktır.
- Serbest zemin davranış analizlerinde taban kayasında her iki yatay doğrultuda ayrı ayrı etkitilen deprem kaydı çiftinden zemin profili boyunca **kazık düğüm noktaları hizalarında** elde edilen toplam yerdeğiştirmelerin zamana göre değişimleri kullanılacaktır.
- Her bir t anında toplam yerdeğiştirmeler, **her iki yatay doğrultuda eş zamanlı olarak**, bir uçlarından kazık/perde düğüm noktalarına bağlı olan p-y yaylarının öteki uçlarına **basınç yönünde** uygulanacaktır (dinamik yerdeğiştirme yüklemesi).

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Altsistem Yaklaşımı / Yöntem II

Kinematik Etkileşim Hesabı

- Kazıklardaki iç kuvvet ve şekil değiştirme talepleri, yapılan analizlerin (en az $2 \times 11 = 22$ analiz) her birinden elde edilen **sonuçların en büyük mutlak değerlerinin ortalaması olarak hesaplanacaktır.**
- $2 \times 11 = 22$ analiz için **rijit temelin tabanında, iki yatay eksen doğrultusunda ve bu eksenler etrafında dönme** olarak tanımlanan serbestlik dereceleri için etkin temel hareketlerine ilişkin toplam yer değiştirmelerin zamana göre değişimleri (temel seviyesi deprem kayıtları) ile bunlardan üretilen ivme spektrumları (temel seviyesi deprem spektrumları) elde edilecektir. (düşey eksen yönünde yer değiştirme ve çevresinde dönme ihmal edilmiştir)

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Altsistem Yaklaşımı / Yöntem II

Eylemsizlik Etkileşimi Hesabı

- Yöntem II'de eylemsizlik etkileşimi hesabının adımları, **Yöntem I için açıklanan hesap adımlarının aynıdır**. Yöntem II'de temel-kazık-zemin yayları (**p-y, t-z ve Q-Z yayları**) alınmaktadır.
- Yöntem II'de *eylemsizlik etkileşimi* hesabı sonucunda aynen Yöntem I için belirtilen çıktılar elde edilecektir. Eylemsizlik etkileşimi hesabı sonucunda kazıklarda elde edilen iç kuvvetler ve şekildeğiş-tirmeler, kinematik etkileşim hesabından elde edilenlerle birleştirilecektir (mutlak değerlerin toplamı).
- 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**.

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Ortak Sistem Yaklaşımı / Yöntem II

Yöntem II'de etkileşim hesabı kinematik etkileşim ve eylemsizlik etkileşimi modellerinin birleştirilmesi ile elde edilen ortak sistem'in zaman tanım alanında hesabı olarak da gerçekleştirilebilir. Bu durumda serbest zemin davranış analizlerinden elde edilen **toplam yer değiştirmeler**, her iki yatay doğrultuda aynı anda, bir uçlarından kazık düğüm noktalarına bağlı olan p-y yaylarının öteki uçlarına basınç yönünde uygulanarak ortak sistemin **zaman tanım alanında** hesap yapılır.

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Altsistem Yaklaşımı / Yöntem III

Kinematik Etkileşim Hesabı

- Kazıklar **doğrusal davranış** esas alınarak çubuk elemanlar olarak modellenecektir.
- Her bir kazık düğüm noktasında **doğrusal olmayan p-y, t-z yayları ile, kazık ucunda ise Q-Z yayı** ile modellenecektir. 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** Yöntem II'de anlatıldığı gibi kabul edilecektir.
- Bina temeli bodrum katlarını da içermek üzere, **kütlesiz, sonsuz rijit** bir eleman olarak modellenecektir.

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Altsistem Yaklaşımı / Yöntem III

Kinematik Etkileşim Hesabı

- Tek boyutlu serbest zemin davranış analizlerinde gözönüne alınan onbir adet deprem kaydı için zemin profili boyunca kazık düğüm noktaları hizalarında elde edilen **toplam yer değiştirmelerin zamana göre maksimumlarının zarfı** alınacaktır.
- Toplam yer değiştirme zarfı, bir uçlarından kazık/perde düğüm noktalarına bağlı olan doğrusal olmayan p-y yaylarının öteki uçlarına basınç yönünde sıfırdan başlayarak **statik olarak artımsal şekilde** uygulanacaktır.
- Kazıklardaki iç kuvvet talepleri, her bir deprem doğrultusunda 11 deprem kaydı için **her iki yönde elde edilen sonuçların en büyük 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.

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Altsistem Yaklaşımı / Yöntem III

Eylemsizlik Etkileşimi Hesabı

- Doğrusal davranış esas alınarak üstyapı-temel-kazık-zemin yaylarından (doğrusal p-y, t-z ve Q-Z yayları) oluşan **ortak sistem modeli** ile yapılabilir.
- Modelde temelin ve bodrum katlarının kütleleri gözönüne alınacak, **kazıkların kütleleri ise alınmayacaktır.**
- Serbest zemin davranış analizlerinden temel tabanında elde edilen **spektrumların ortalaması tasarım spektrumu** olarak kullanılabilir. Ancak bu spektrumun ordinatları **temel tabanında tanımlanan yerel zemin sınıfı için verilen tasarım spektrumunun ordinatlarından daha küçük olamaz.**

Kazıklı temeller

Kazıklı Temellerin Deprem Hesabı / Altsistem Yaklaşımı / Yöntem III

Eylemsizlik Etkileşimi Hesabı

- Rijit perdelerle çevrelenen bodrumların bulunduğu binalarda, doğrusal deprem hesabı için uygulanan iki adımlı hesap yaklaşımında kazıklar, bodrum elemanları ile birlikte gözönüne alınacak ve **bodrumlar için uygulanan R ve D katsayıları**, eylemsizlik etkileşiminden kazıklarda meydana gelen iç kuvvetlere de uygulanacaktır.
- Bodrumsuz binalarda ise, **bina için uygulanan R ve D katsayıları**, eylemsizlik etkileşiminden **kazıklarda** meydana gelen iç kuvvetlere **aynen uygulanacaktır**.
- Eylemsizlik etkileşimi hesabı sonucunda kazıklarda her bir deprem doğrultusu için elde edilen iç kuvvetler, kinematik etkileşim hesabından kazıklar için her bir deprem doğrultusunda elde edilen iç kuvvetlerle birleştirilecektir (**mutlak değerlerinin toplamı**).
- Birbirine dik doğrultulardaki depremlerden oluşan kazık iç kuvvetleri daha sonra **4.4.2'ye göre birleştirilecektir**.

Bodrum Perdeleri

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 etkiyen zemin basınçları tabloda verildiği şekilde hesaplanabilir.

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.

H_b : bodrum perdesinin toplam yüksekliği

γ : zeminin tabii birim hacim ağırlığı

γ_d : suya doymuş birim hacim ağırlığı

q : ek yükü (sürşarj)

z : su yüzeyinden aşağıya doğru ölçülen yükseklik

Bodrum Perdeleri

Deprem etkisi altında ek zemin basınçları (düzgün yayılı)

$$\Delta p = 0.4 S_{DS} \gamma H_b$$

γ : zeminin (yer altı suyu üzerinde) doğal birim ağırlığı olarak tanımlanmıştır.

Kohezyonsuz zeminlerde, bodrumun kısmen kuruda olması durumunda, su seviyesi ile bodrum tabanı arasında, **statik su basıncına ek olarak** gözönüne alınacak statik-eşdeğer dinamik su basıncının su derinliği boyunca değişimi $\Delta p_{su}(z)$

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

S_{DS} : zemin yüzeyinde tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı

d_{su} : su altındaki duvar yüksekliği

Dayanma yapılarının tasarımı

Dayanma Yapılarının Stabilitesi

$$E_{dev} \leq \frac{R_{dev}}{\gamma_{Rdev}}$$

E_{dev} : devrilmeye zorlayan etkilerin toplamı

R_{dev} : devrilmeye karşı koyan etkilerin ve dirençlerin toplamı

γ_{Rdev} : devrilmeye karşı tasarım güvenlik katsayısı ($\gamma_{Rdev} \geq 1.3$)

- Dayanma yapıları, deprem sonrasında işlevlerine zarar vermeyecek mertebelerde yerdeğiştirmelere izin verilecek şekilde tasarlanabilir
- Dayanma yapısı temelinde zemin taşıma gücünün aşılması ve yatayda kaymaya karşı tahkikler, daha önce bahsedilen Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü ve Yüzeysel Temellerin Yatayda Kayması hesaplarına benzer şekilde yapılacaktır.
- Toptan göçmeye ilişkin tahkikler ise bir sonraki başlıkta açıklanan şevlerin duraylılığı prensiplerine göre yapılacaktır.

Dayanma yapılarının tasarımı

Dayanma Yapılarının Stabilitesi

Yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayıları

$$k_h = \frac{0.4S_{DS}}{r} \quad k_v = 0.5k_h$$

Tablo 16.7. Dayanma Yapıları için r katsayıları

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

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

Dayanma yapılarının tasarımı

Toplam (statik ve dinamik) toprak basıncının bileşkesi

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

H : duvar yüksekliği

γ^* : zeminin tipik birim hacim ağırlığı

q : ek yükü (sürşarj)

K : toplam (statik+dinamik) aktif (K_a) veya pasif (K_p) toprak basıncı katsayısı

k_v : düşey statik-eşdeğer deprem katsayısı

P_{su} ve ΔP_{su} : bileşke statik ve dinamik su basınçları

Dayanma yapılarının tasarımı

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

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

ϕ' : zeminin tasarım kayma direnci açısı

δ_d : zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı

β : duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı

ψ : duvarın yataya göre (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) ölçülen açısı

Dayanma yapılarının tasarımı

- Statik durumda $\theta = 0$ alınacaktır. **Dinamik toprak basınç katsayısı, toplam basınç katsayısından statik basınç katsayısının çıkarılması** ile elde edilecektir.
- 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.
- Statik ve dinamik toprak basınçlarının, duvar arkasının normaline göre, aktif basınç durumunda **en fazla** $(2 / 3)\phi'$ açısı ile, pasif durumda ise sıfır eğimle etkidiği kabul edilecektir.

Dayanma yapılarının tasarımı

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

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

Su seviyesinin temel taban seviyesi üstünde olması ve zeminin dinamik olarak geçirimsiz olması durumunda

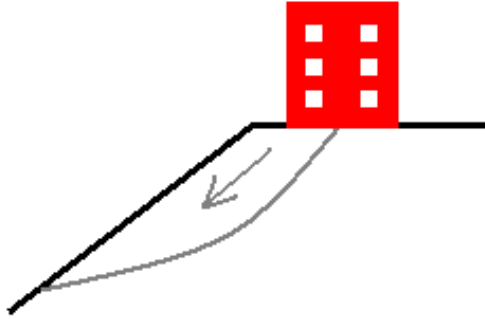
$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\gamma_d}{\gamma_d - \gamma_{su}} \frac{k_h}{1 \mp k_v} \right] \quad \gamma^* = \gamma_d - \gamma_{su}$$

Su seviyesinin temel taban seviyesi üstünde olması ve zeminin dinamik olarak geçirimli olması durumunda

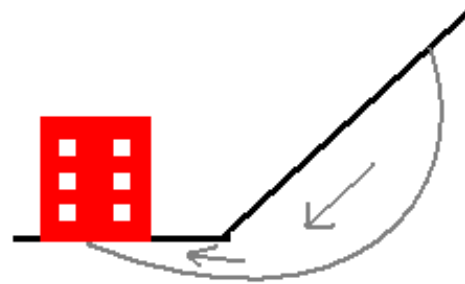
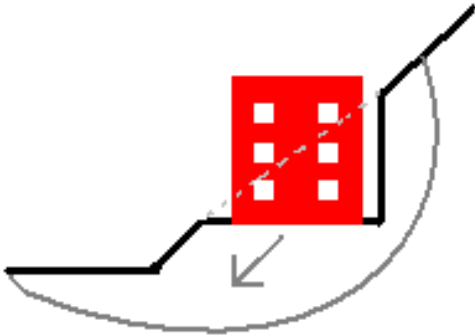
$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\gamma}{\gamma_d - \gamma_{su}} \frac{k_h}{1 \mp k_v} \right] \quad \gamma^* = \gamma_d - \gamma_{su}$$

\pm : en olumsuz yön dikkate alınacaktır, aktif ve pasif yönde aynı işaret kullanılmalıdır.

Şevlerin duraylılığı



Kocaeli, 1999



Şevlerin duraylılığı

$$E_t \leq \frac{R_t}{\gamma_{RK}}$$

E_t göçmeye zorlayan etkiler toplamı

R_t göçmeye karşı koyan etkiler ve dirençler toplamı,

$\gamma_{RK} \geq 1.0$ kaymaya karşı tasarım güvenlik sayısı

- Şevin deprem yükleri etkisinde duraylı ve işlevsel (servis verebilir) kalacağına tahkik edilmesi gereklidir (DTS=4 olan binalar için deprem etkisinde şev duraylılık analizi yapılmayabilir).
- Yapısal elemanlarla destekli şevlerde (örneğin: esnek duvarlar veya kazıklarla destekli şevler, ankrajlı veya çivili şevler vb.) **zemin-yapı etkileşimi analizlerinin** yapılması gerekir.
- Şev içinde yer alan kazık veya ankraj benzeri yapısal elemanların tasarımında da, zemin dirençleri aynı şekilde **dayanım katsayıları** uygulanarak dikkate alınmalıdır.
- Deprem durumunda şevlerin duraylılığı, killi zeminlerde toplam gerilme analizi, kumlu (kohezyonsuz) zeminlerde efektif gerilme analizi ile hesaplanacaktır (kum-kil katmanlı zeminler ve süreksizlikler içeren ve/veya ayrılmış kaya yarmalarında kural verilmemiştir)

Şevlerin duraylılığı

- Eşdeğer statik limit denge analizleri, sonlu elemanlar yöntemi veya zaman alanında gerçekleştirilecek dinamik davranış analizleri ile değerlendirme yapılabilir. Topoğrafyanın ve zemin tabakalanmasının ani düzensizlikler gösterdiği durumlarda ve **sıvılaştırılabilir veya hassas zeminler için, eşdeğer statik analiz yöntemi kullanılmamalıdır.** (gerçekçi malzeme modelleri ile dinamik analiz veya yaklaşık ilişkiler kullanılabilir)
- 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. (Newmark kayan rijit blok yöntemine dayanan yaklaşık ilişkiler literatürde mevcuttur. Blok kaymasına sebep olan sınır ivme değeri şevin eşdeğer statik analizi ile belirlenebilir)

Şevlerin duraylılığı

Yatay ve düşey eylemsizlik kuvvetleri (Eşdeğer statik yöntem)

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

W : kayan kütlelerin ağırlığı

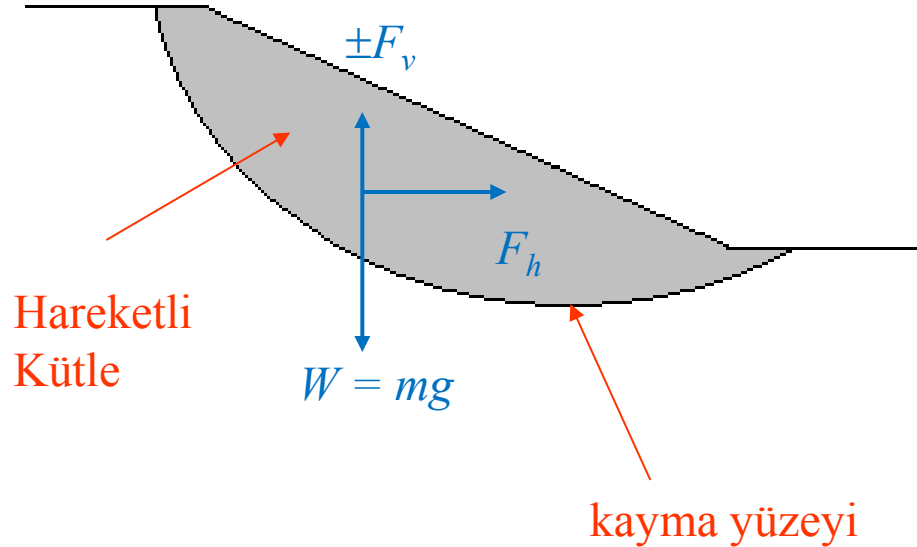
S_{DS} : kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı

S_T : topoğrafik büyütme katsayısını göstermektedir.

- Şev açısı $\beta \leq 15^\circ$ $S_T = 1$
- Tepe genişliği taban genişliğinden daha küçük olan sırtlarda $\beta \geq 30^\circ$ olan şevlerde $S_T \geq 1.4$
- Daha küçük şev açılarında $S_T \geq 1.2$
- Göçme yüzeyinin **tabana yakın** olarak geçtiği yerlerde $S_T = 1$

Şevlerin duraylılığı

Eşdeğer statik yöntemde sismik kuvvetlerin tanımı



Şevlerin duraylılığı

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

$$\tau_{\text{mob}} = \frac{c'}{\gamma_{Rc}} + \frac{\tan\phi'}{\gamma_{R\phi}} = \frac{c'}{\gamma_{Rk}} + \frac{\tan\phi'}{\gamma_{Rk}}$$

$c = c' / \gamma_{Rk}$
 $\tan\phi = \tan\phi' / \gamma_{Rk}$
hesapta kullanılmalı,
veya toplam direnç
faktörlendirilmelidir.

Şevlerin duraylılığı

Özel riskler içeren durumlar hariç

$$\gamma_{Rk} \geq 1.10$$

Statik

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

Deprem

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

b : dilim genişliği

W_s : dilim ağırlığı

α : dilim tabanının yatayla yaptığı açı

U : dilim tabanında etkiyen su basıncı

k_h, k_v : yatay ve düşey eşdeğer deprem katsayısını,

H_c : dilim tabanının orta noktasından dilim merkezine olan düşey uzaklığı

R_d : dairesel göçme yüzeyinin yarıçapı

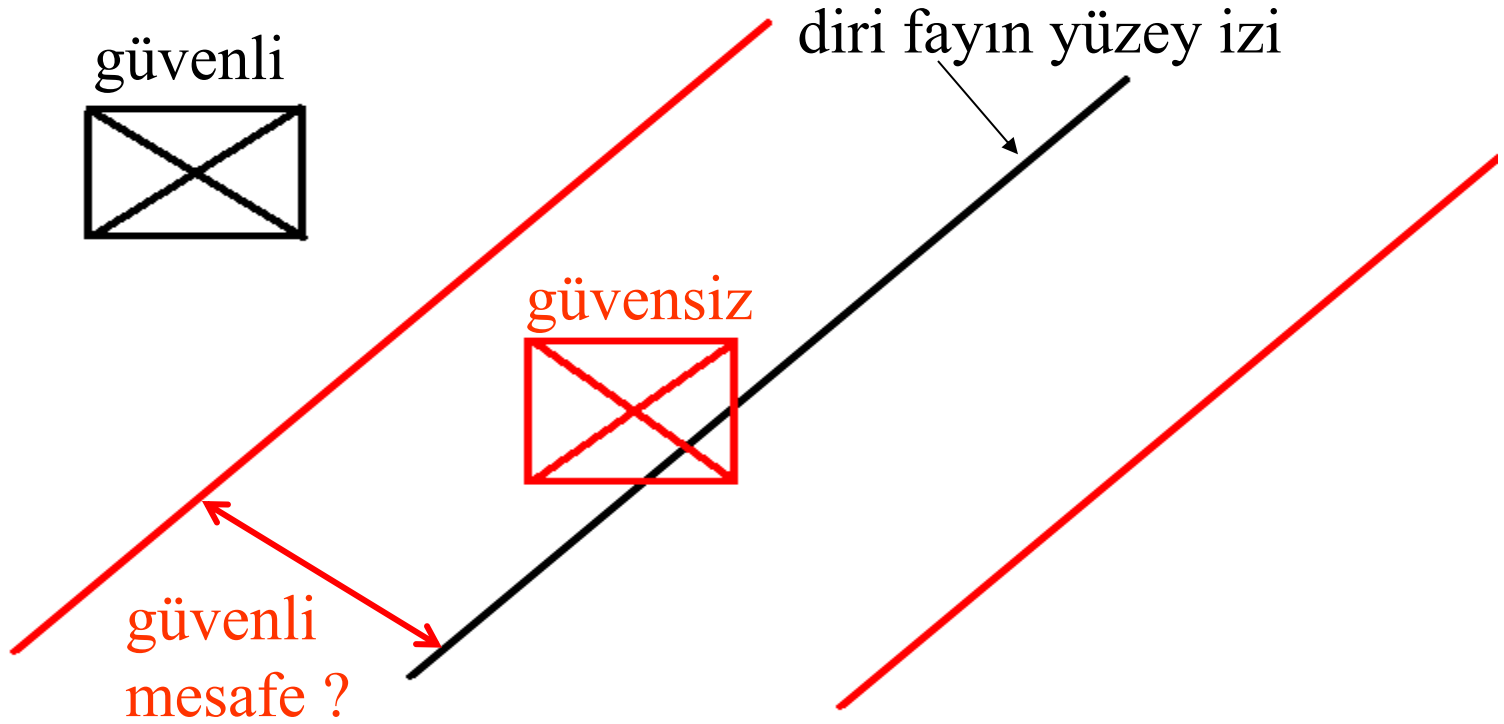
$$m_\alpha = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi'}{\gamma_{Rk}} \right)$$

Zemin özelliklerinin yerinde iyileştirilmesi

Zemin özelliklerinin yerinde iyileştirilmesi veya güçlendirmesi için genel prensipler verilmiştir.

- Gevşek ve orta sıkı kohezyonsuz (iri daneli) zeminlerde, sıkılık derecesinin artırılması
- Yumuşak-katı kohezyonlu (ince daneli) zeminlerde, zeminin su muhtevasını azaltıcı, konsolidasyon basıncını arttırıcı ve iç yapısını kuvvetlendirici yöntemlerin kullanılması
- Zemin içinde rijit elemanlar (taş kolonlar, jet enjeksiyonu kolonları, beton kolonlar vb.) oluşturulması
- Hedeflenen iyileşme derecesinin önceden belirlenmesi ve aletsel ölçümlerle iyileşmenin takip edilmesi

Diri Faylara Yakınlık (Mevcut Değil)



İkinci Kısım: Örnekler