

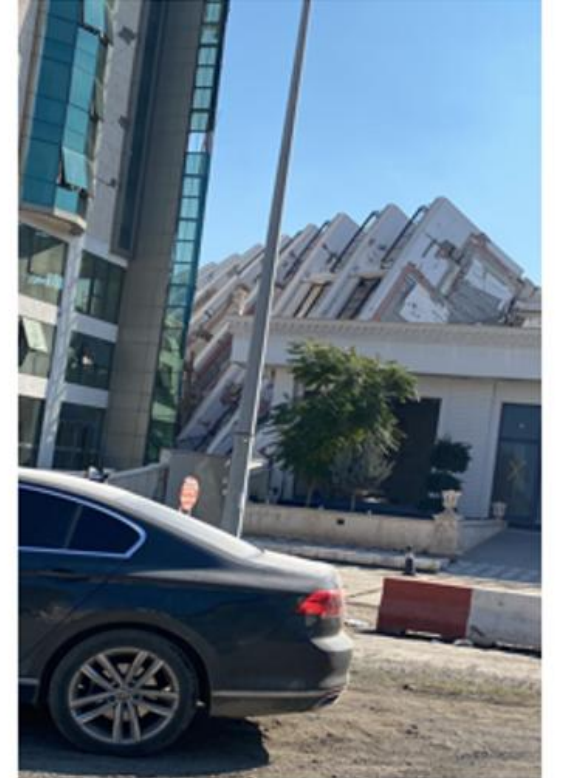


ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİ SIRASINDA SIVILAŞMIŞ ZEMİNLERDE YER ALAN FARKLI TEMEL TİPLERİNİN PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Prof. Dr. Pelin ÖZENER

Yıldız Teknik Üniversitesi
Geoteknik ABD Öğretim Üyesi
tohumcu@yildiz.edu.tr

İMO-İSTANBUL
MESLEK İÇİ EĞİTİM SEMİNERLERİ





Prof. Dr. Pelin Özener



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Soil Dynamics and Earthquake Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/soildyn



Liquefaction and performance of foundation systems in Iskenderun during 2023 Kahramanmaraş-Türkiye earthquake sequence

Pelin Ozener^a, M. Murat Monkul^{b,*}, Ece Eseller Bayat^c, Abdulmuttalip Ari^a,
Kemal Onder Cetin^d

^a Department of Civil Engineering, Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey

^b Department of Civil Engineering, Yeditepe University, Istanbul, Turkey

^c Department of Civil Engineering, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

^d Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey



Prof. Dr. Murat Monkul



Doç. Dr. Ece Eseller Bayat



Araş.Gör. Abdülmüttalip Ari



Prof. Dr. Kemal Önder Çetin

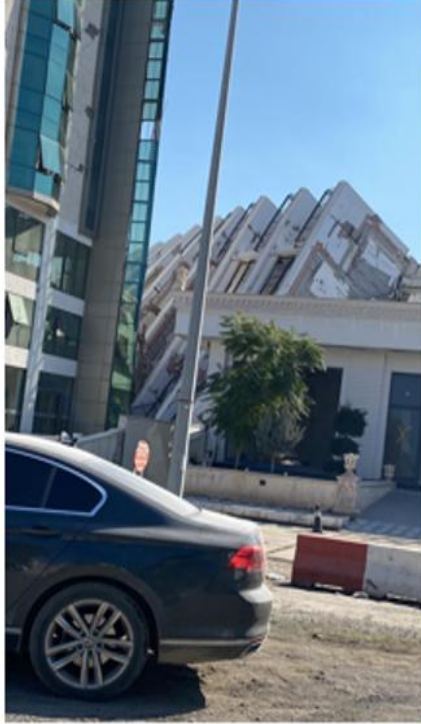


Yük. Lisans Öğr. Ömer Işkın

Sunum İçeriđi

- İskenderun İlçesi İstasyon Kaydı ve Ölçülen Deprem Kaydının Özellikleri
- İskenderun İlçesinin Yerel zemin Koşulları ve Özellikleri
- 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri sonrasında İskenderun'da Saha Gözlemleri
- İskenderun'da Sismik Zemin Sıvılaşmasına Bağlı Bina Hasarları
- Sahada Yapılan gözlemlere göre Temel Sistemlerinin Performansı-Örnekler
- Temel Sistemlerinin Performansının sayısal ve analitik çözümler ile değeriendirilmesi
- Temel Sistemlerinin Performansı için Yapılan Değeriendirmeler ve Sonuçlar

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık (Mw=7.7) ve Elbistan (Mw=7.6) Depremleri

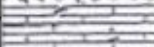
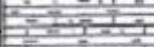


- 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık (Mw=7.7) ve Elbistan (Mw=7.6) depremlerinin en çok etkilediği bölgeler arasında Hatay'ın İskenderun ilçesi de yer almaktadır.
- Bu depremler İskenderun'da ciddi hasarlara neden olmuştur. Özellikle 5-10 katlı binaların ağır hasarlı olduğu ve bazılarının ise tamamen göçtüğü gözlenmiştir.

İskenderun'da tamamen göçmüş ve dönmüş bina örnekleri

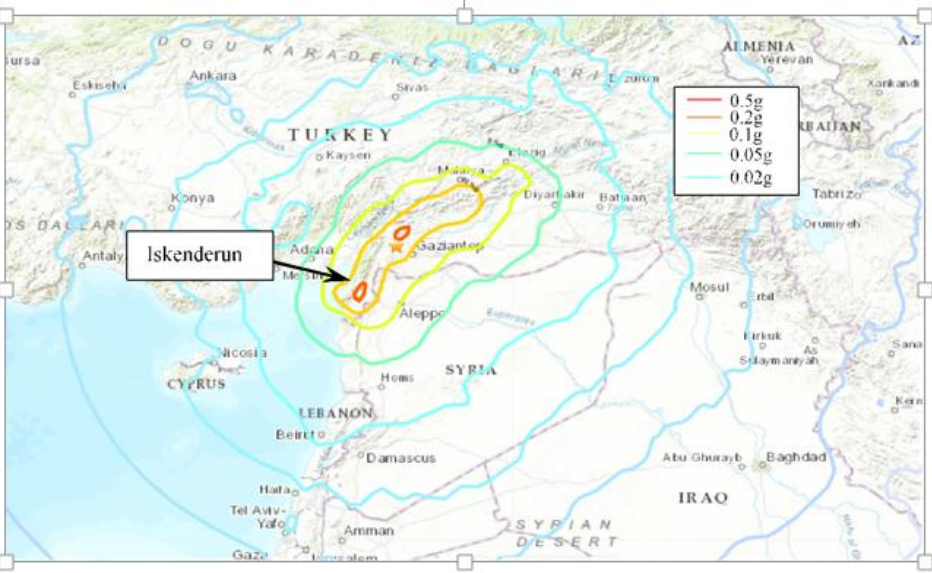
İskenderun Yerel Zemin Koşulları

- İskenderun bölgesinin özellikle kıyı kesiminin yerel zemin koşullarını oluşturan hakim jeoloji genel olarak eski ve yeni alüvyon tabakasından oluşmaktadır.
- Güncel alüvyonlar, kıyıya çok yakın kesimlerde Çok gevşek/ gevşek/ orta sıkı/ sıkı kum ve orta sıkı/sıkı kum-çakıl ve çok katı kil tabaklarından; açıklarda çok yumuşak /yumuşak /orta katı killerden oluşmaktadır.
- Hakim olan bu alüvyon tabakasının kalınlığı kuzeye doğru azalmakta, batıya açık denize doğru artmaktadır.

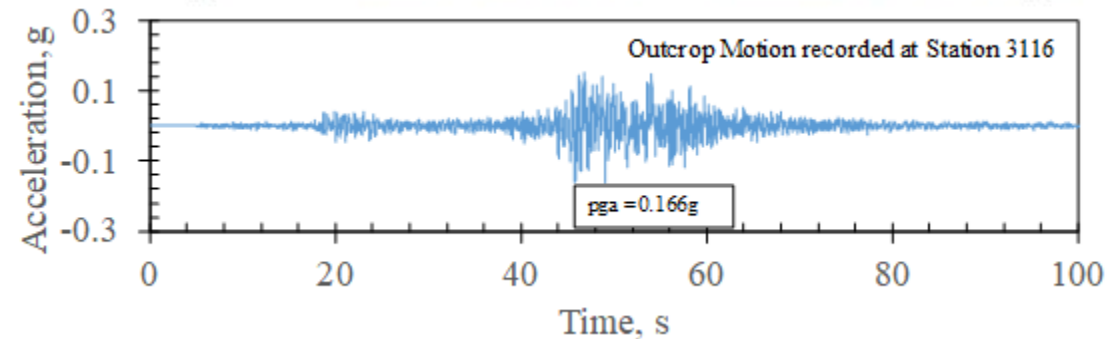
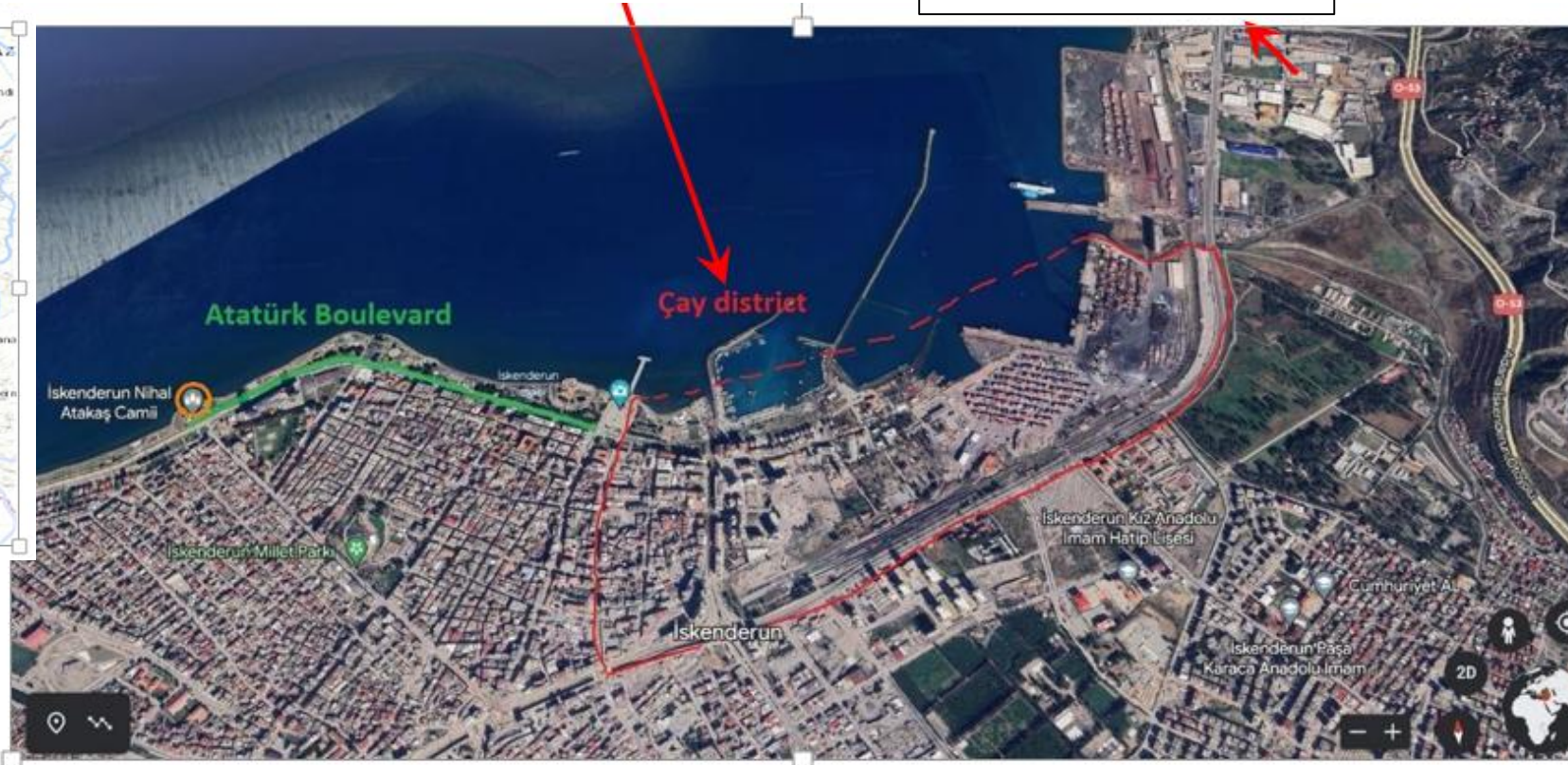
ERA					LITHOLOGY	DESCRIPTION		
PERIOD	EPOCH	FORMATION	THICKNESS (m)					
				CENOZOIC			QUATERNARY	
								TERTIARY
PALEOGENE	EAR-MID EOCENE	PALEOCENE	ALMACIK LIMEST.	ALAN LIMEST.	OFO LITE	MIXED SEDIM.	CONT. CARBONATE SERIES	
								PLIO CENE
					1-100		Alluvium, debris	
					300-400		Conglomerate; limestone gravelly, carbonate cemented, very dense	
					100-300		Clayey sandstone-mam interlayers	
					50-800		Limestone; light grey, medium-thick layered	
					?		Calcareous-mam interlayers	
					?		Conglomerate; carbonated cemented, ofiolite gravelly in different sizes	
					?		Ofiolite rock groups	
					>1000		Serpentinite; limestone and ofiolite blocks in serpentinite matrix	
							Limestone, occasionally dolomite,	
							Dolomite and Dolomitic Limestone	
							Fillet and shale	
							Quartzite conglomerate	
							Usually quartzite, partially fillet and schist, occasionally dolomite.	

İskenderun 'da Ölçülen Deprem Kaydının Özellikleri

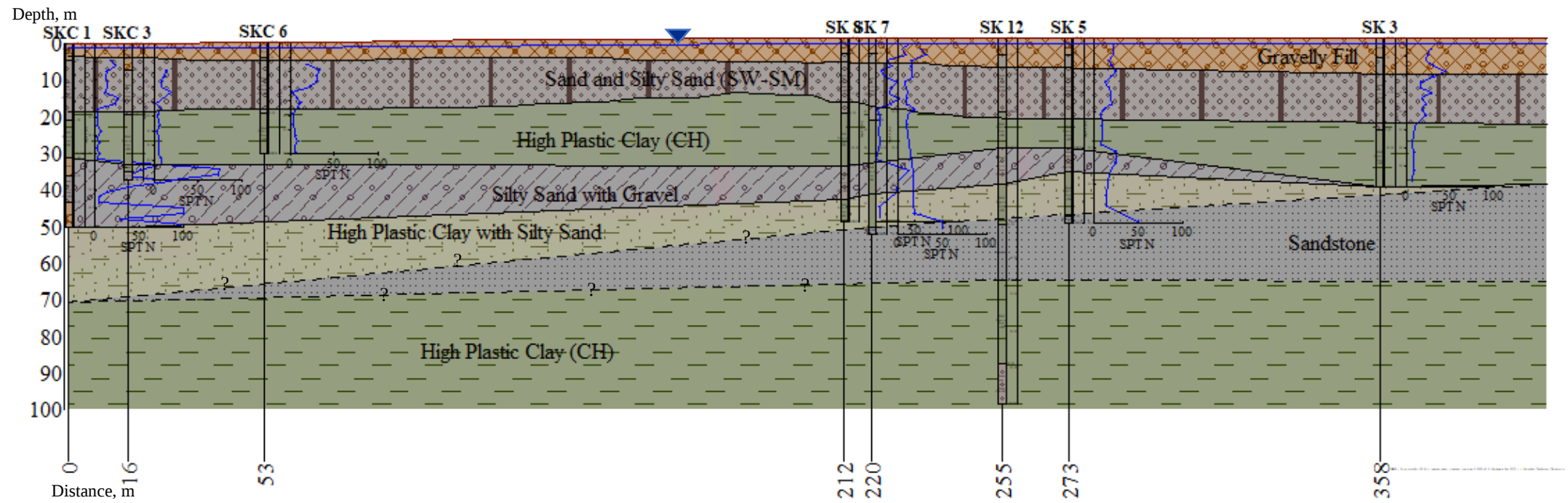
İstasyon#3116



Pazarcık $M_w = 7.8$ Depremi Yüzey ivmesi
Kontür haritası (USGS, 2023)

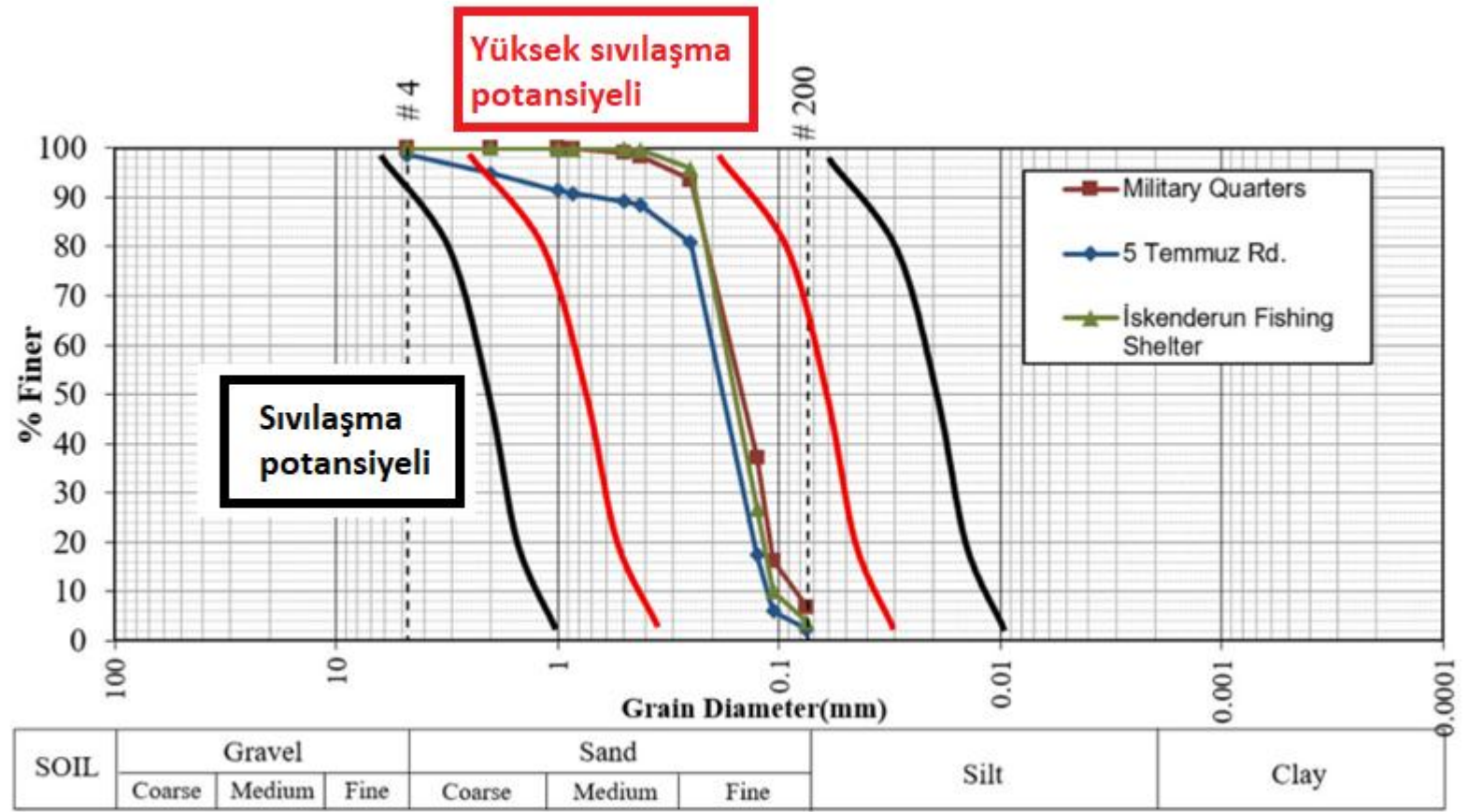


İskenderun Yerel Zemin Koşulları

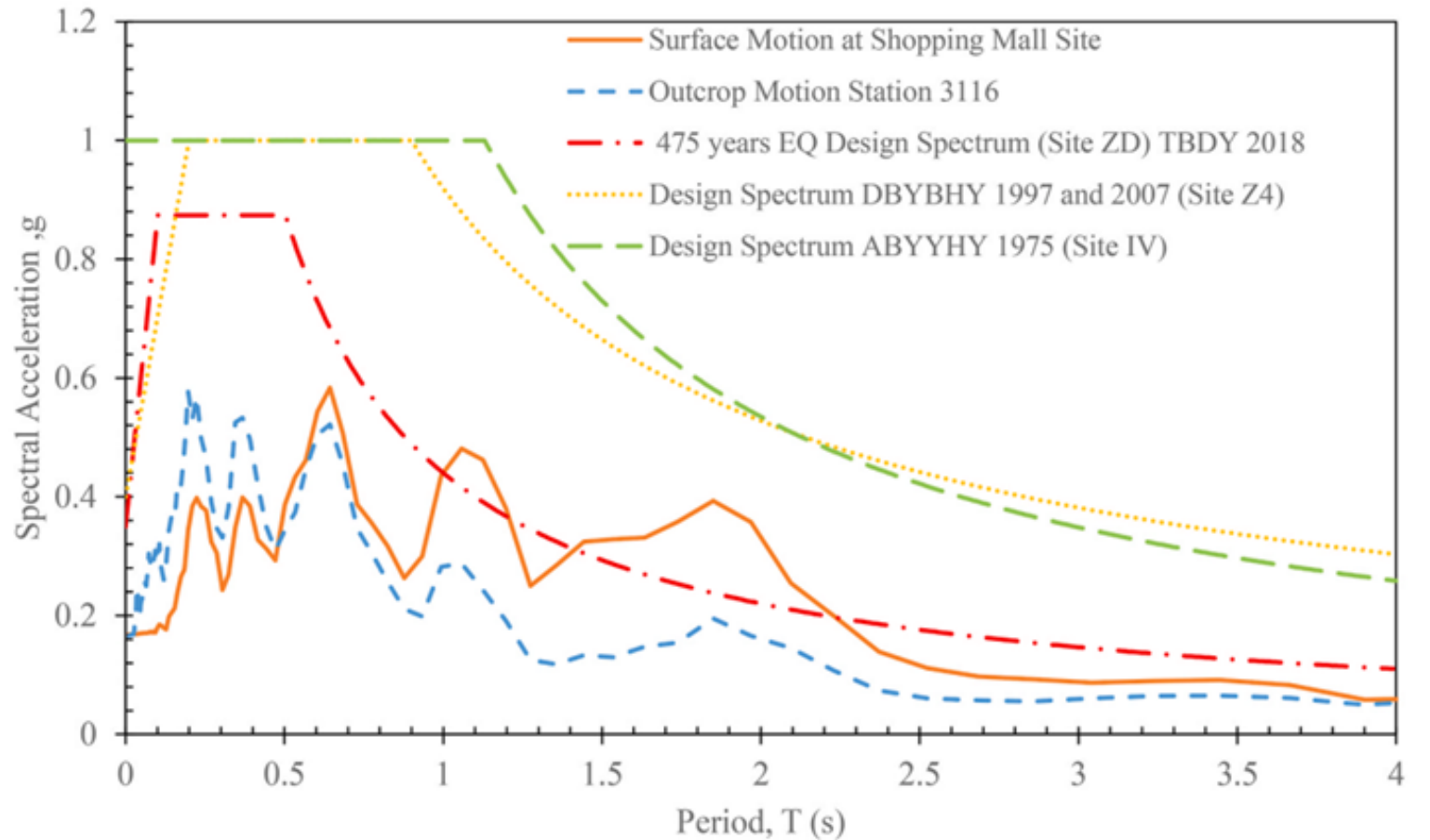
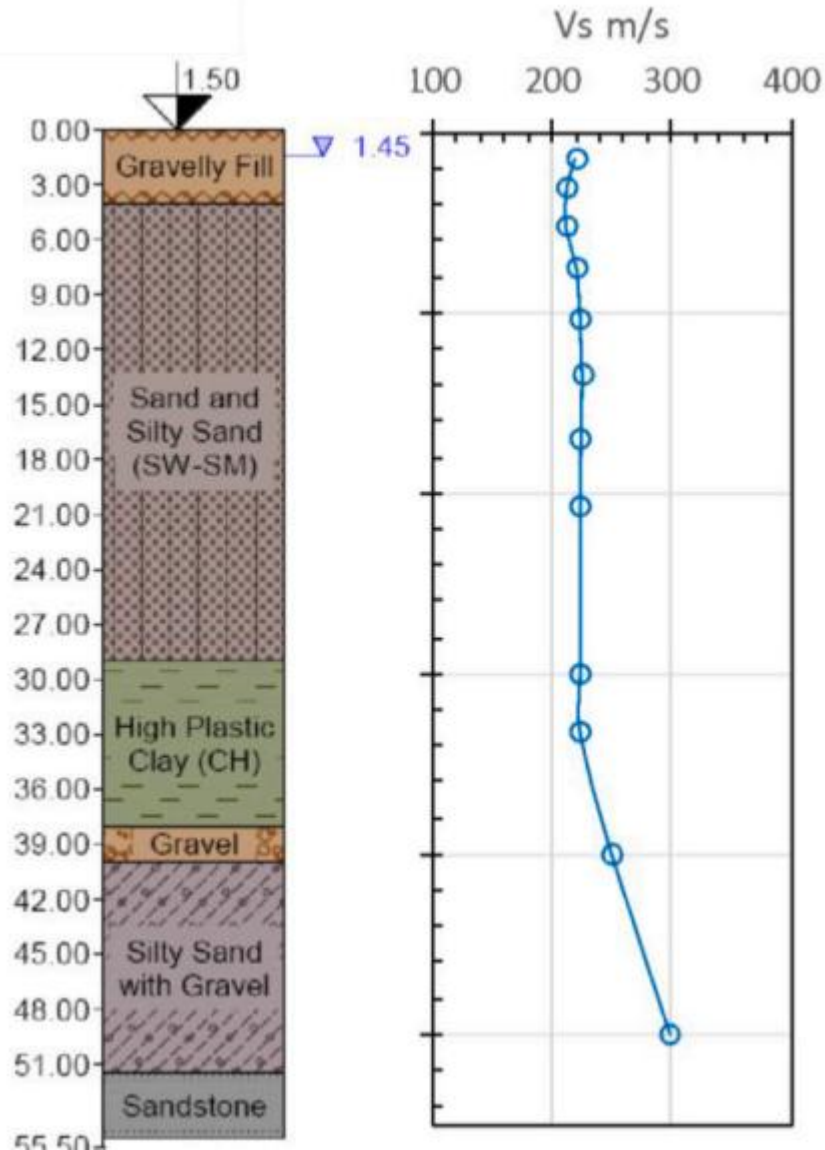


İskenderun Yerel Zemin Koşulları

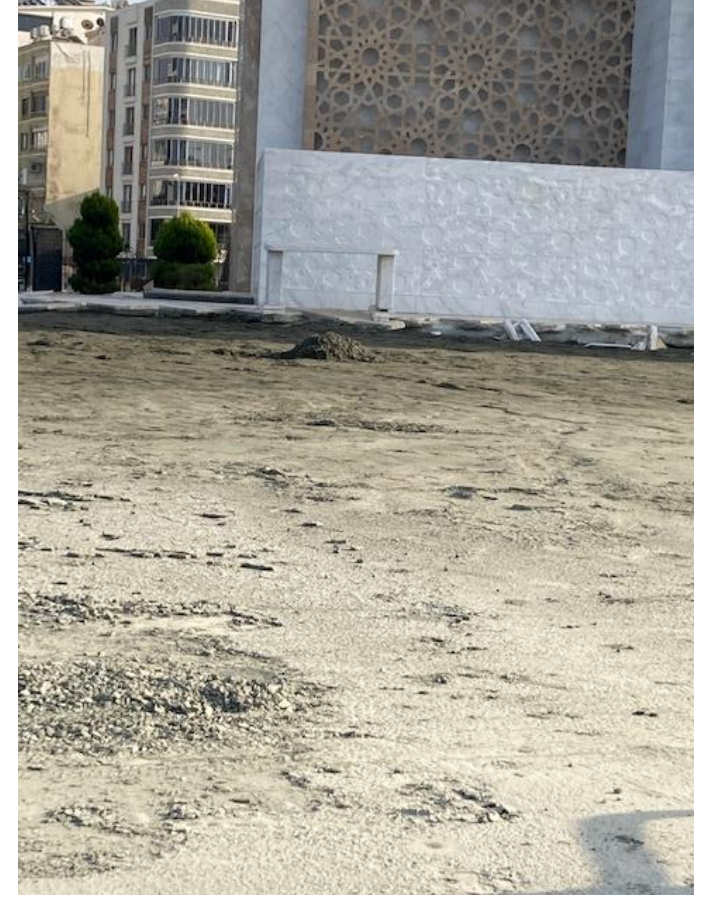




İskenderun İstasyon Kaydı

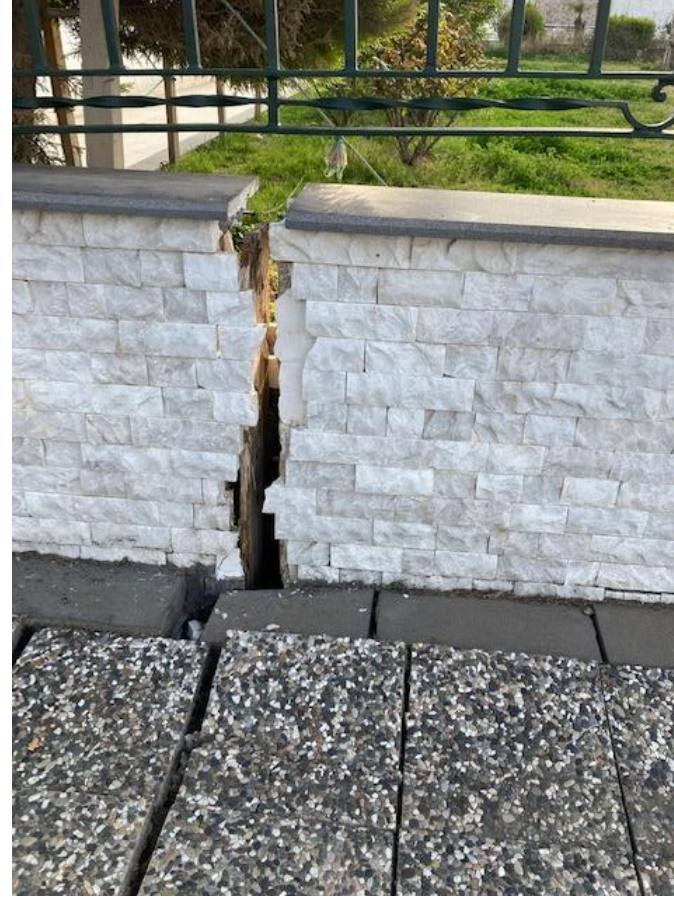


6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Sonrasında İskenderun'da Saha Gözlemleri



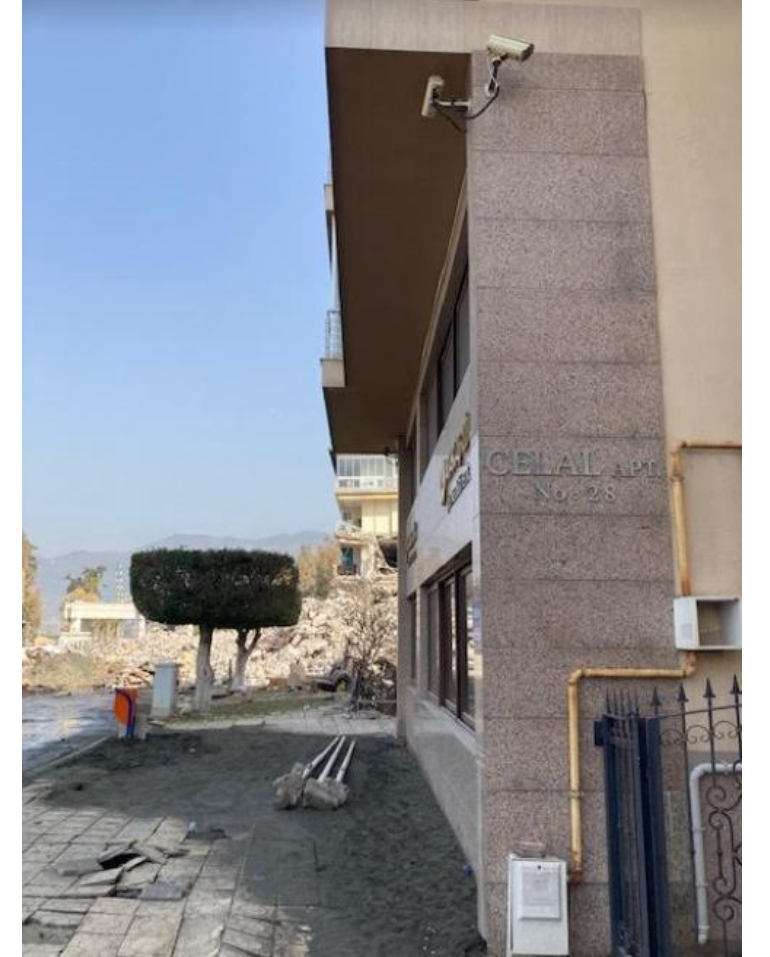
Sismik Zemin Sıvılaşması

Zemin Sıvılaşması Kaynaklı Yanal Akmlar ve Hasarlar



Zemin Sıvılaşması Kaynaklı Yanal Akmlar ve Hasarlar : 25-35 cm mertbesinde yanal açılmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir. (Resim: Pelin Özener):

Zemin Sıvılaşması Kaynaklı Taşıma Gücü Kaybı ve Oturmalar



Çay Mahallesi'nde sıvılaşma kaynaklı taşıma gücü problemleri ve oturmalar (Resim: Pelin Özener)

Temel sistemlerinin Deprem Sırasındaki Performansının Değerlendirilmesi



Özener, P., Monkul, M., Bayat, E., Ari, A., Çetin, K.Ö.(2023) "Liquefaction and Performance of foundation systems in İskenderun during 2023 Kahramanmaraş-Türkiye Earthquake Sequence" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.178.

İskenderun merkezde, Kıyı kesimlerinde Piri Reis, Savaş, Süleymaniye ve Çay mahallelerindeki birçok binanın etrafından kum çıkışının olduğu gözlemlenmiştir. Bu binalarda sıvılaşma kaynaklı taşıma gücü kayıpları ve aşırı oturmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir.

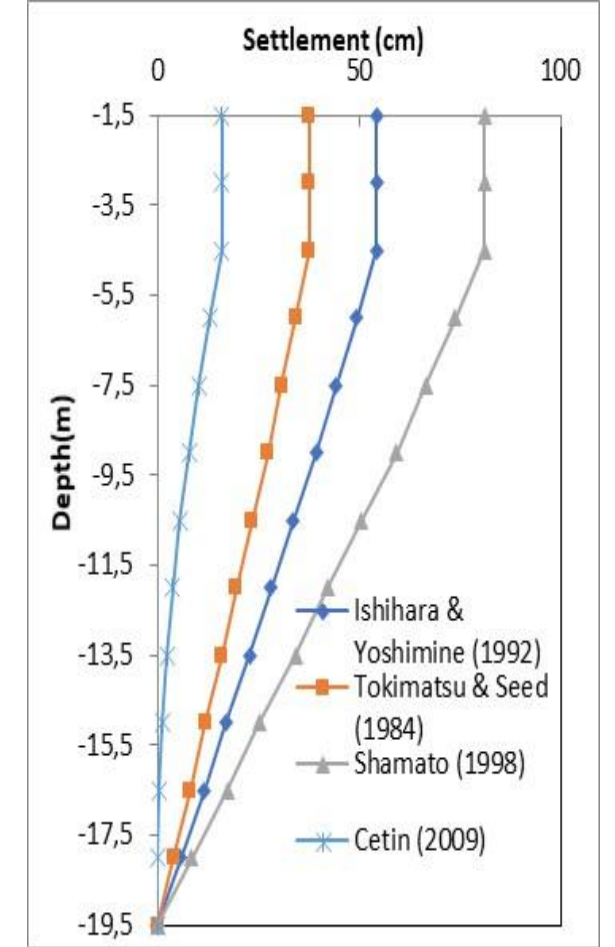


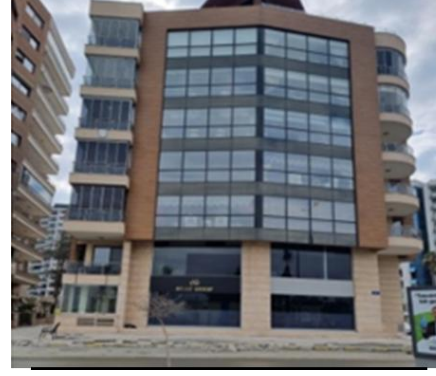
Özener, P., Monkul, M., Bayat, E., Ari, A., Çetin, K.Ö.(2023) "Liquefaction and Performace of foundation systems in İskenderun during 2023 Kahramanmaras-Türkiye Earthquake Sequence" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.178.

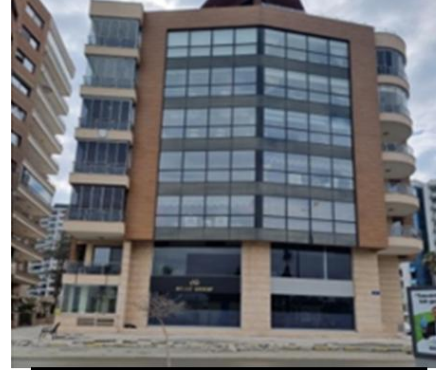


İskenderun-Çay Mahallesi Sıvılaşma Potansiyeli ve Bina temel sistemlerinin Performansı

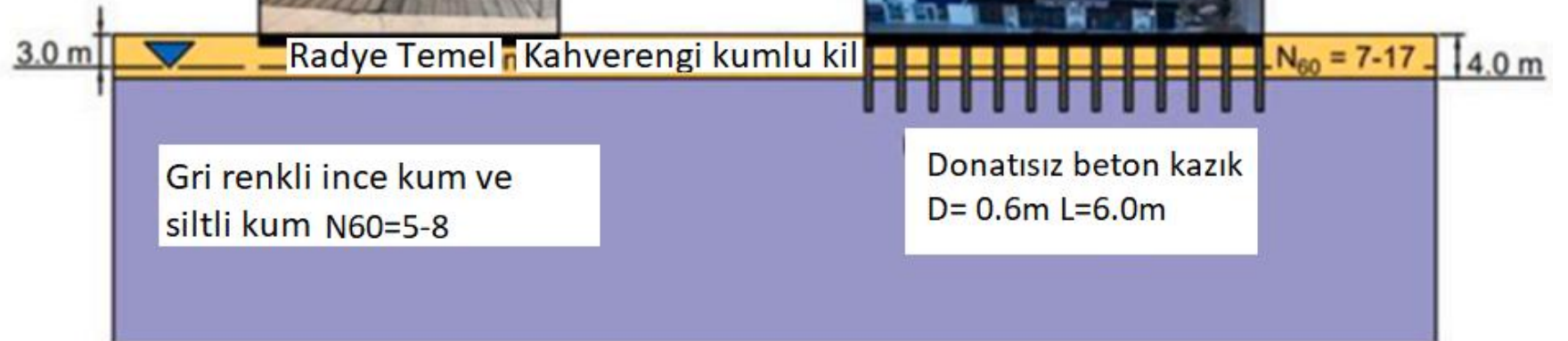
- Çay mahallesinde ölçülen sismik sıvılaşmaya bağlı yatay deplasmanların 35-50 cm ve oturmalar 7.0-42 cm mertebelerinde olduğu gözlenmiştir.
- Saha çalışmalarından ve sahada yapılmış olan arazi deney verisine göre literatürde önerilen farklı yöntemlere göre hesaplanan serbest saha oturmaları 16-80 cm, yanıl akmaya bağlı deplasmanların 36cm-76cm mertebesinde olduğu belirlenmiştir.

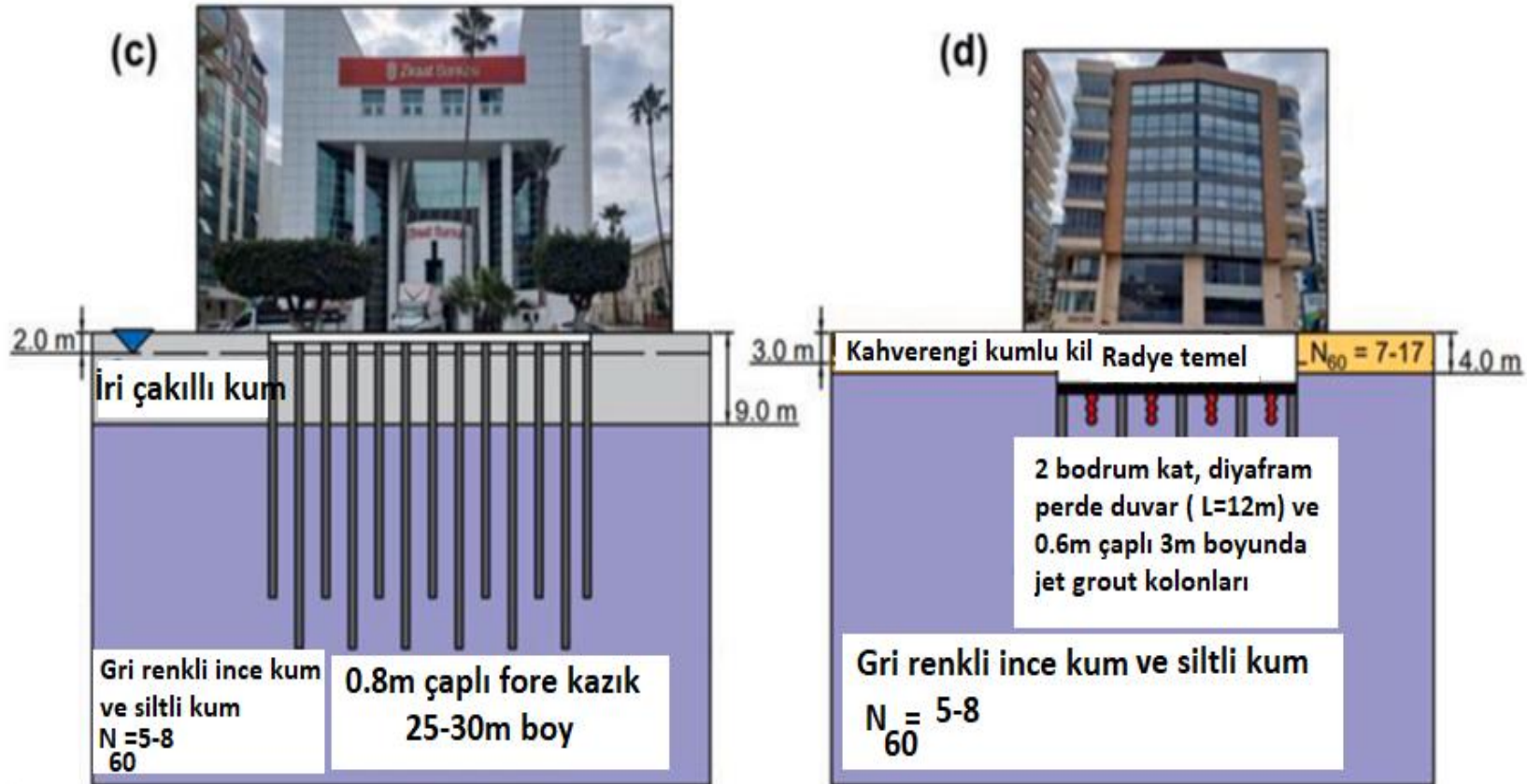
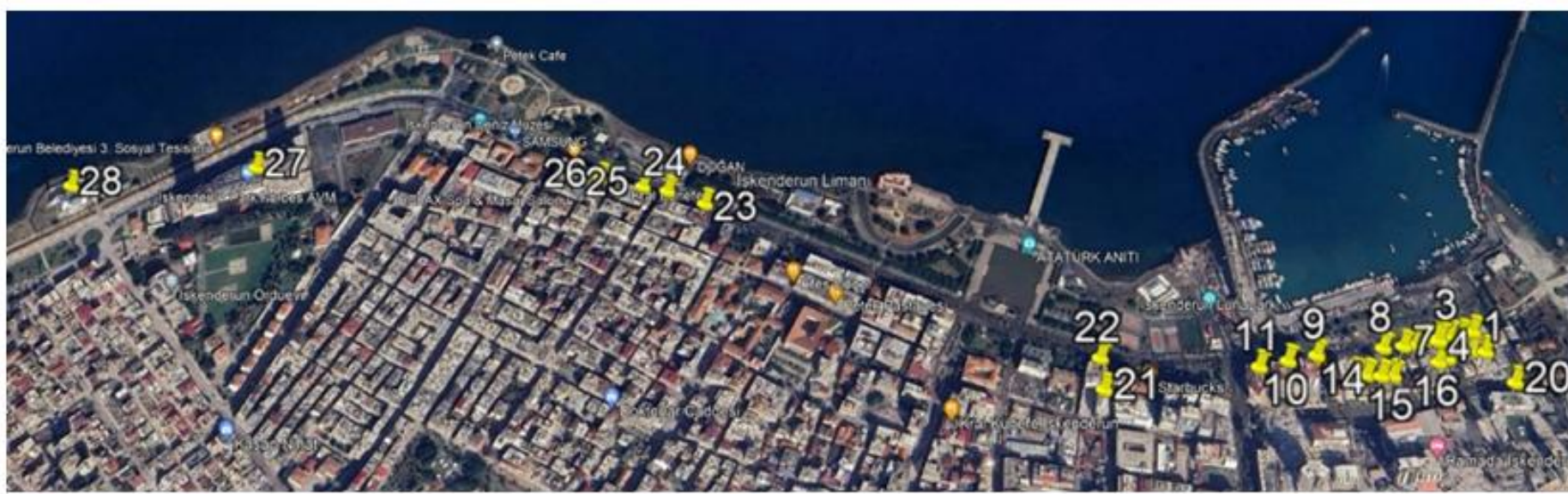


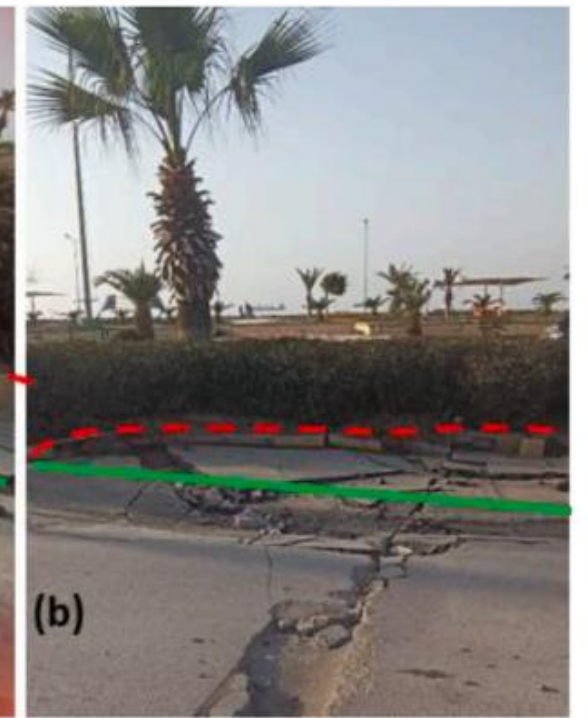


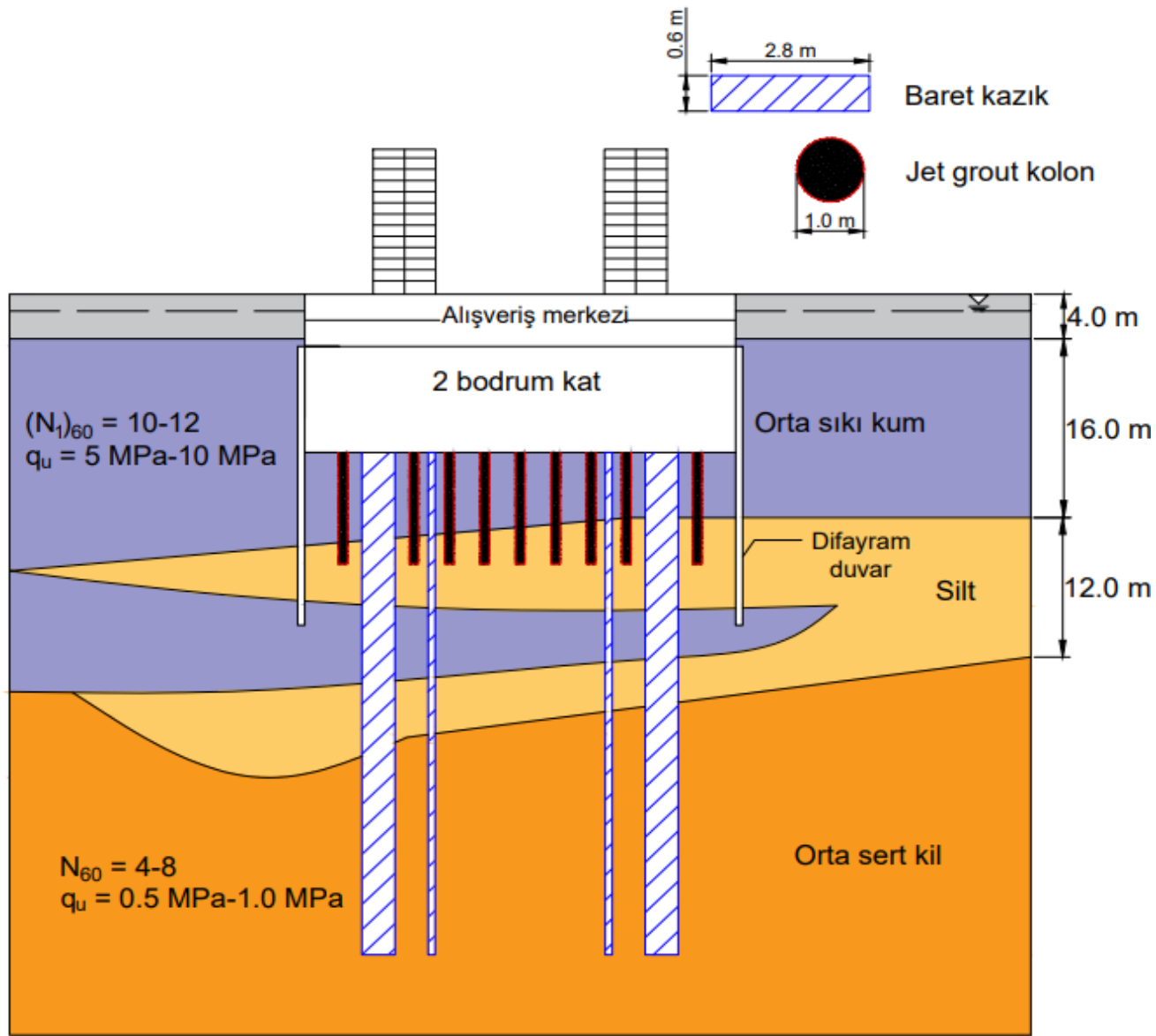
				
Bina	1	10	11	18
Temel Tipi	Yüzeysel Radye Temel Bodrum kat yok	Donatsısız Kazıklı Temel	2 Bodrum Kat , İyileştirilmiş zemin	Yüzeysel Temel, Bodrum kat yok
Ölçülen Oturma(cm)	25-30 cm	50 cm	YOK	40cm
Taşıma Gücü Kaybı	VAR	VAR	YOK	VAR
Sıvılaşma	VAR	VAR	VAR	VAR

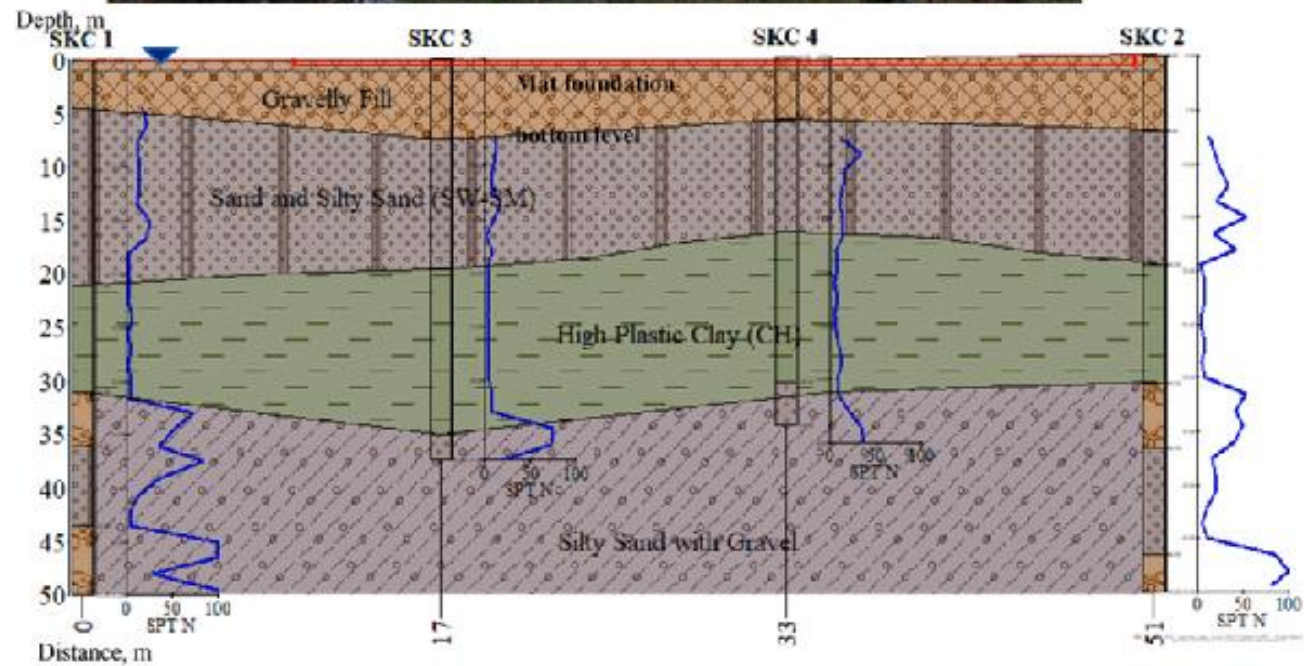
Temel Sistemlerinin Performansı

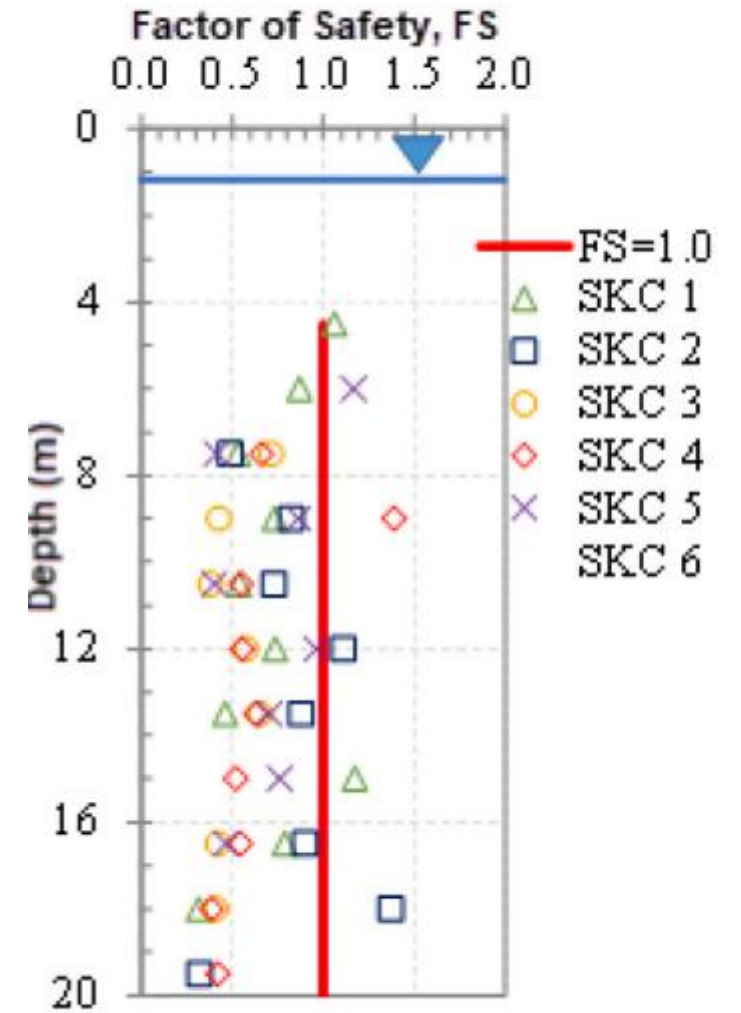
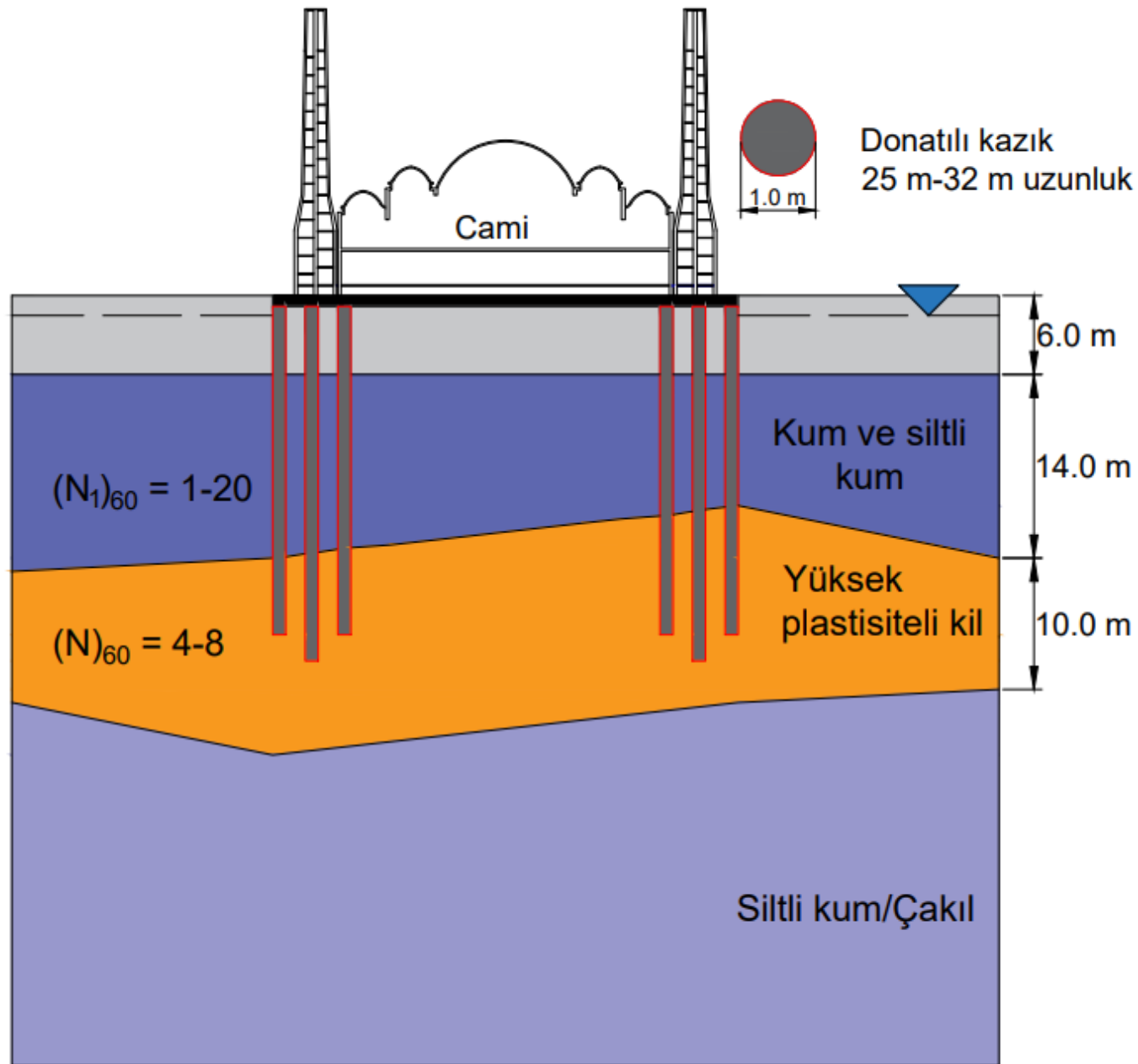


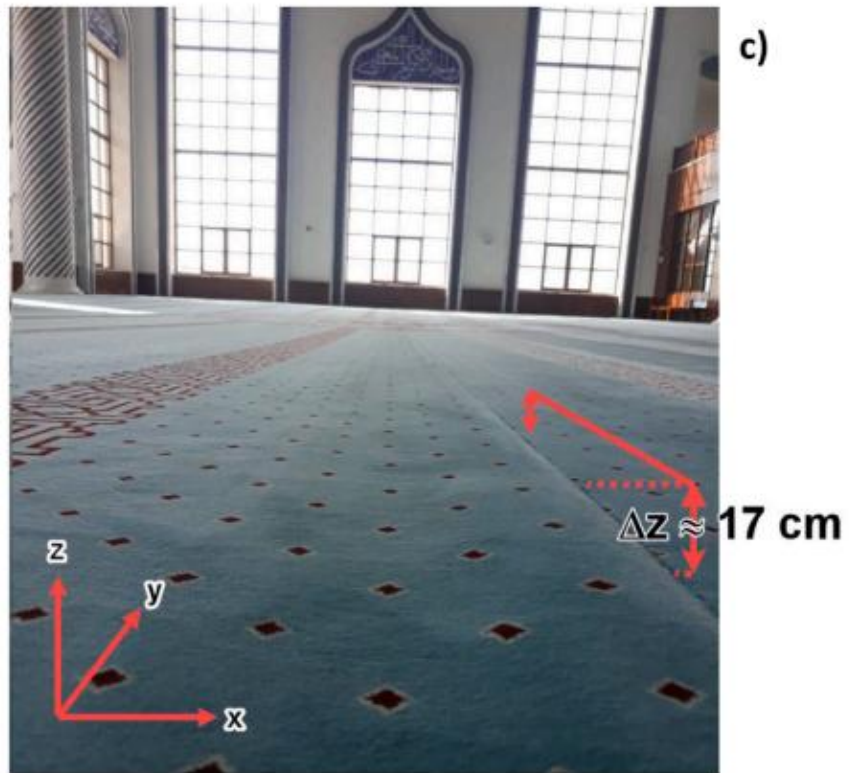
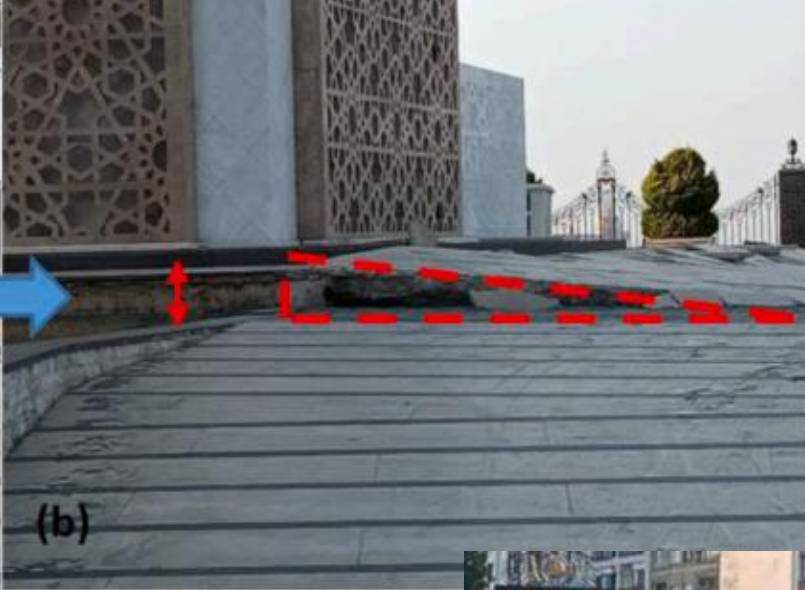








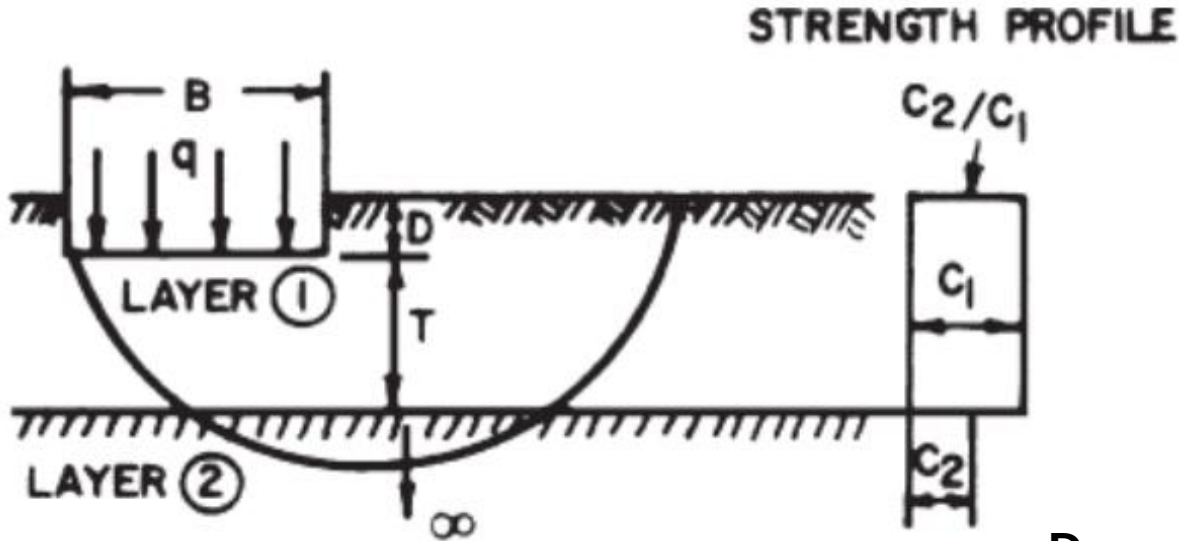




Temellerin Sismik Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması

Bina Altında Sıvılaşma sırasında Olası taşıma gücü kayıplarının hesabı için:

Marcedo ve Bray , taşıma gücü kohezyonlu 2 zemin tabakası hesabı gibi (Bray ve Macedo (2018) , Meyerhof ve Hanna 1978)



$$q_u = 5.14C_2 + 2\frac{C_a D_1}{B} + \gamma_1 D_f \leq 5.14C_1 + \gamma_1 D_f$$

$$C_a = C_1 \left(-0.58 \left(\frac{C_2}{C_1} \right)^2 + 0.96 \left(\frac{C_2}{C_1} \right) + 0.612 \right)$$

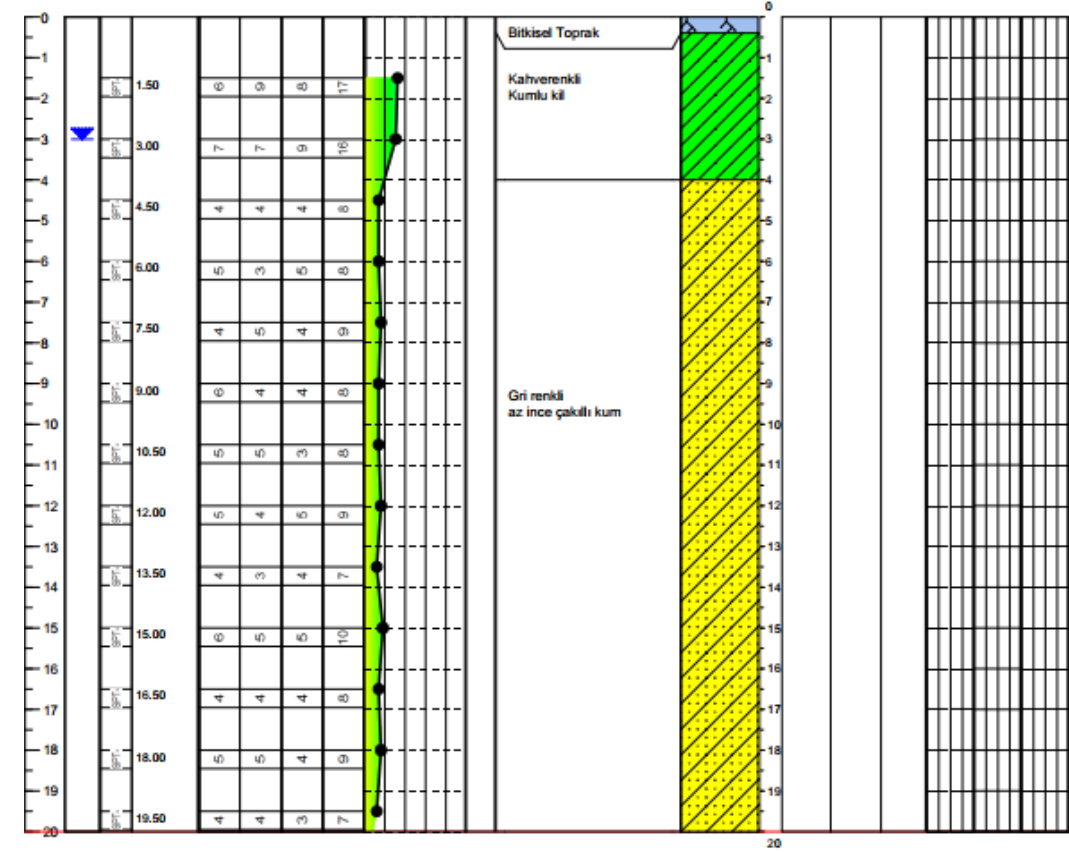
D_1 , γ_1 and C_1 : Sırası ile üst zemin tabaksının kalınlığı, birim hacim ağırlığı, ve kayma mukavemeti

B ve D_f : Temel genişliği ve temel derinliği

C_2 : Sıvılaşmış zeminin rezidüel kayma mukavemeti



PROJE ADI / Project Name : HATAY İLİ İSKENDERUN İLÇESİ MİKROBÖLGELEME ETÜT İŞİ										AMAÇ :								
LOKASYON / Site Location				İSKENDERUN / HATAY			KOORDİNAT / Coordinate Y (N-S)			516030								
SONDAJ DERİNLİĞİ / Boring Depth (m)				20.00 m			KOORDİNAT / Coordinate X (E-W)			4051074								
SONDAJ MAK&YÖNT / D. Rig. & Met.							SONDAJ KOTU / Boring Elevation (m)											
Muhafaza Borusu Derinliği / Casing Depth (m) :							BAŞLANGIÇ / Start Date			29.08.2016								
YERALTI SUYU DERİNLİĞİ / Groundwater Depth (m)				Derinlik		Tarih		Derinlik		Tarih								
				3.00 m				BİTİŞ TARİHİ / Finish Date		29.08.2016								
								TÜJ ÇAP / Rod Diameter										
Derinlik / Depth (m)	YAS Seviyesi (m) / Groundwater Level	Numune Tipi ve No / Sample Type & No.	Numune Derinliği / Sample Depth (m)	YERİNDE DENEYLER / Insitu Tests						JEOTEKNİK TANIMLAMA / Geotechnical Description	Profil / Profile	KAYA ÖZELLİKLERİ / Rock Features						
				SPT DENEYİ / Standard Penetration Test								PRG-BST-PRM.	Dayanım / Strength	Ayrışma / Weathering	Kırık / 30 cm Fracture / 30 cm	TCR (%) / Core Recovery	SCR (%)	ROD (%)
				Darbe Sayısı / Number of Blows		N		SPT- N Grafiği / Graph										
				0-15 için	15-30 için	30-45 için	30 cm için											



A



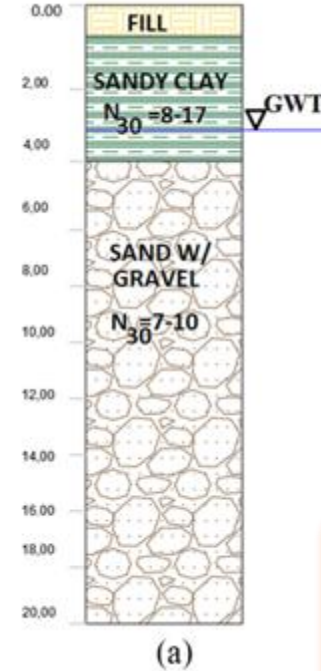
B



C

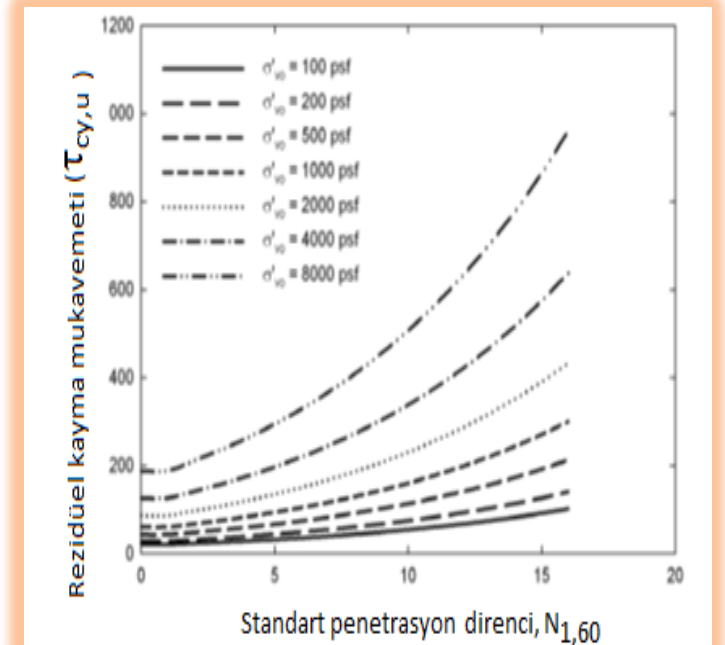
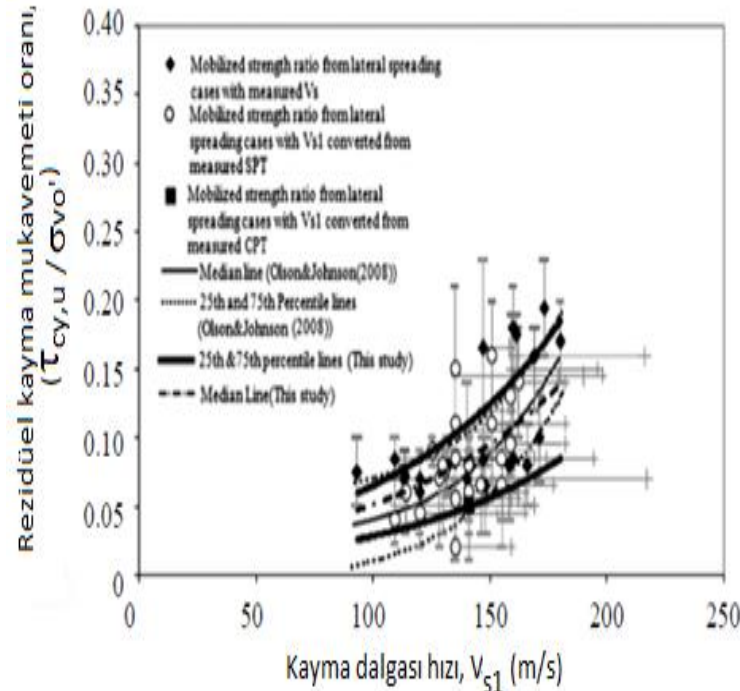
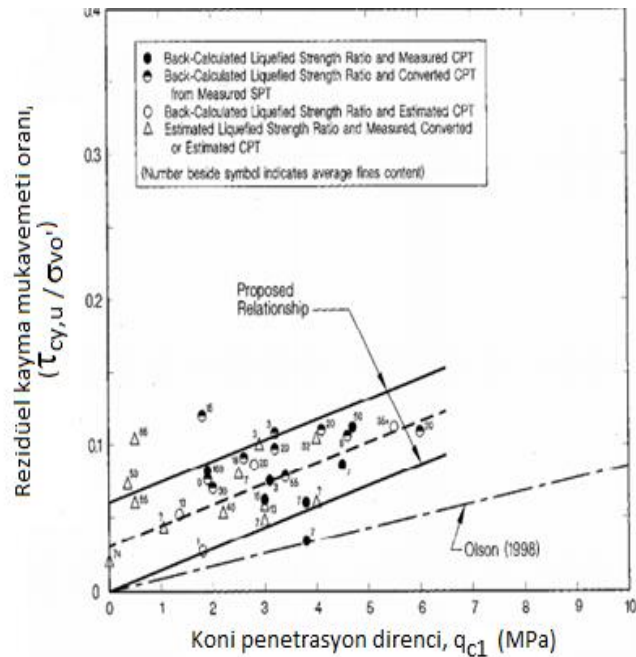
Temellerin Sismik Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması

Zemin Tabakası	Derinlik (m)	SPT-N	γ (kN/m ³)	C_1 (kPa)	C_2 (kPa)
Dolgu	0-0.5m	-	17	-	-
Kumlu Kil	0.5-4.0	16	18	80	-
Çakıllı Kum	4.0-20.0	7-10	18	-	10



Sıvılaşma sonrası kayma mukavemetinin SPT, CPT ve Vs direncine bağlı olarak tahmini

Kramer (2015), Olson ve Stark(2002), Özener(2012)



Temellerin Sismik Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması

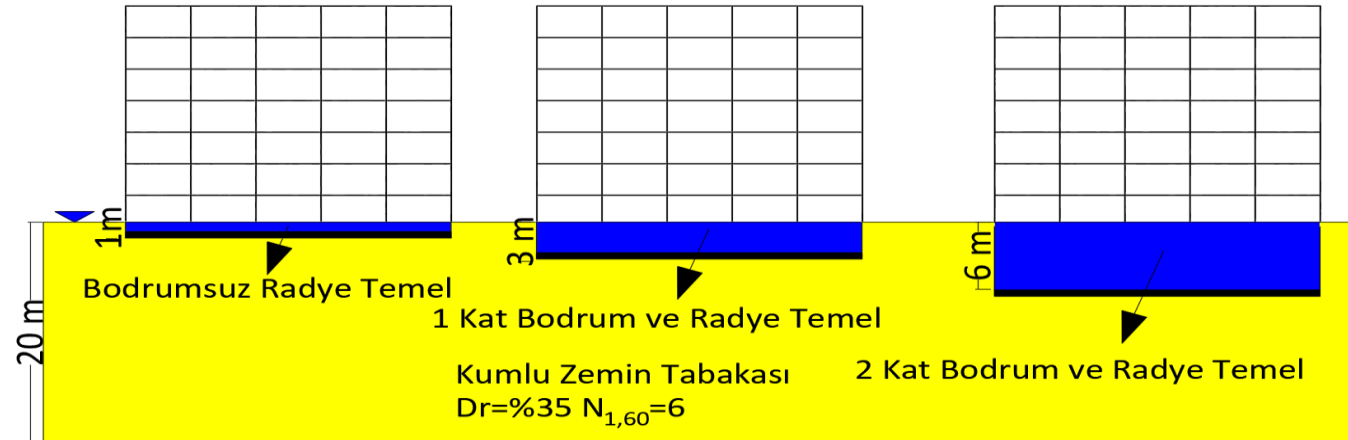
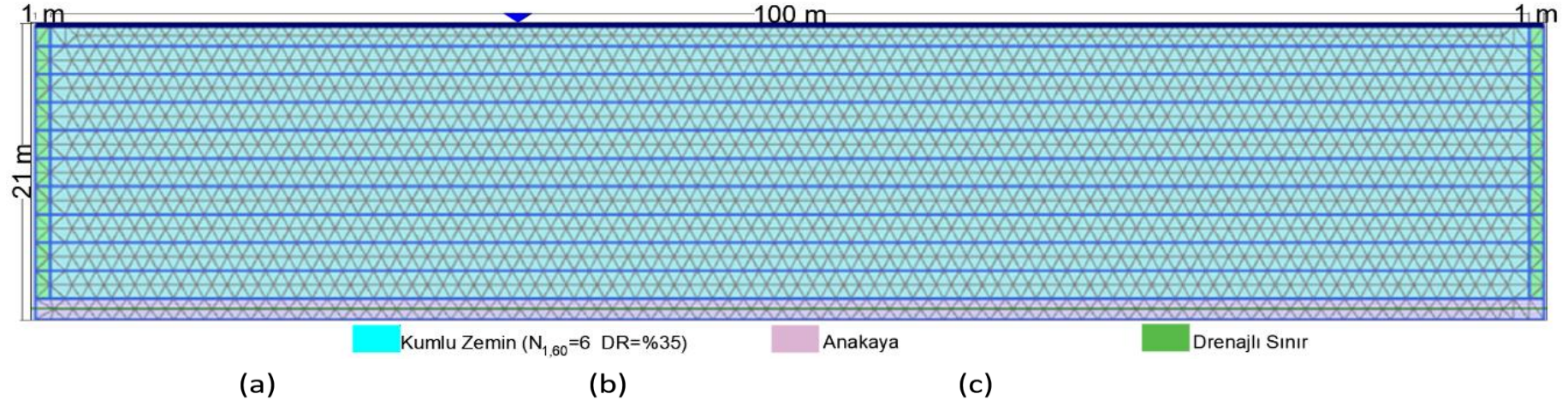
			
Building	A	B	C
Foundation type	2 basement floors and deep foundation system with soil improvement	Shallow raft foundation w/o basement	Shallow raft foundation w/o basement
Liquefaction indication	Sand ejecta around the building	Sand ejecta around the building	Sand ejecta around the building
Observed Settlement	No settlement	25-30cm	40 cm
Computed settlement	15-80cm (considering bore hole shown in Fig. 2.1)		
Bearing Capacity Loss	No	Yes	Yes
Factor of safety for Post-liquefaction bearing capacity	>1.0	<1.0	<1.0

Temellerin Sismik Taşıma Kapasitesinin Hesaplanması

			
Bina	A	B	C
Temel Tipi	2 Bodrum Kat, <u>İyileştirilmiş Zemin</u>	Yüzeysel <u>Radye</u> Temel Bodrum kat yok	Yüzeysel Temel, Bodrum kat yok
Sıvılaşma	VAR Bina etrafında kum <u>ejektası</u>	VAR Bina etrafında kum <u>ejektası</u>	VAR Bina etrafında kum <u>ejektası</u>
Ölçülen Oturma(cm)	OTURMA YOK	50 cm	40 cm
Hesaplanan Oturma (cm)	15-80 cm (İlgili Sondaj verisine göre)		
Taşıma Gücü Kaybı	YOK	VAR	VAR
Sıvılaşma sonrası Taşıma gücü kaybı için GS	>1.0	<1.0	<1.0

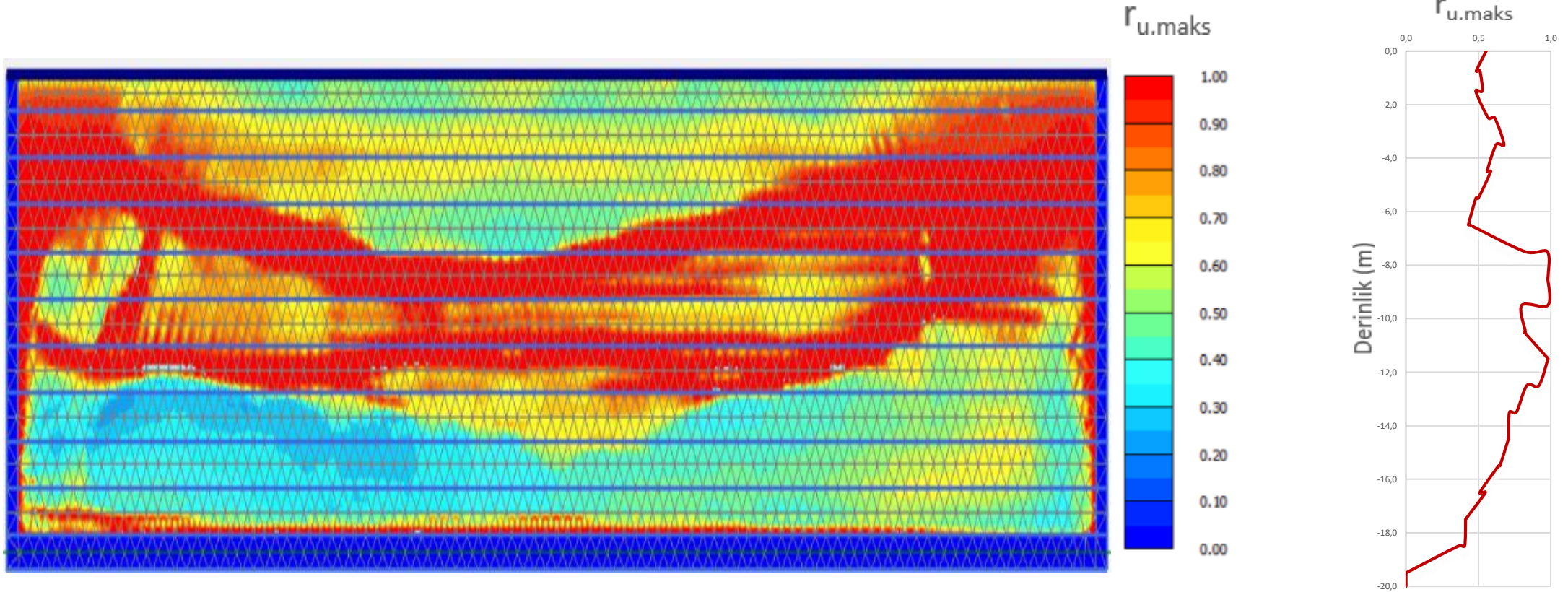
NÜMERİK ANALİZLER

Geometrik Modeller



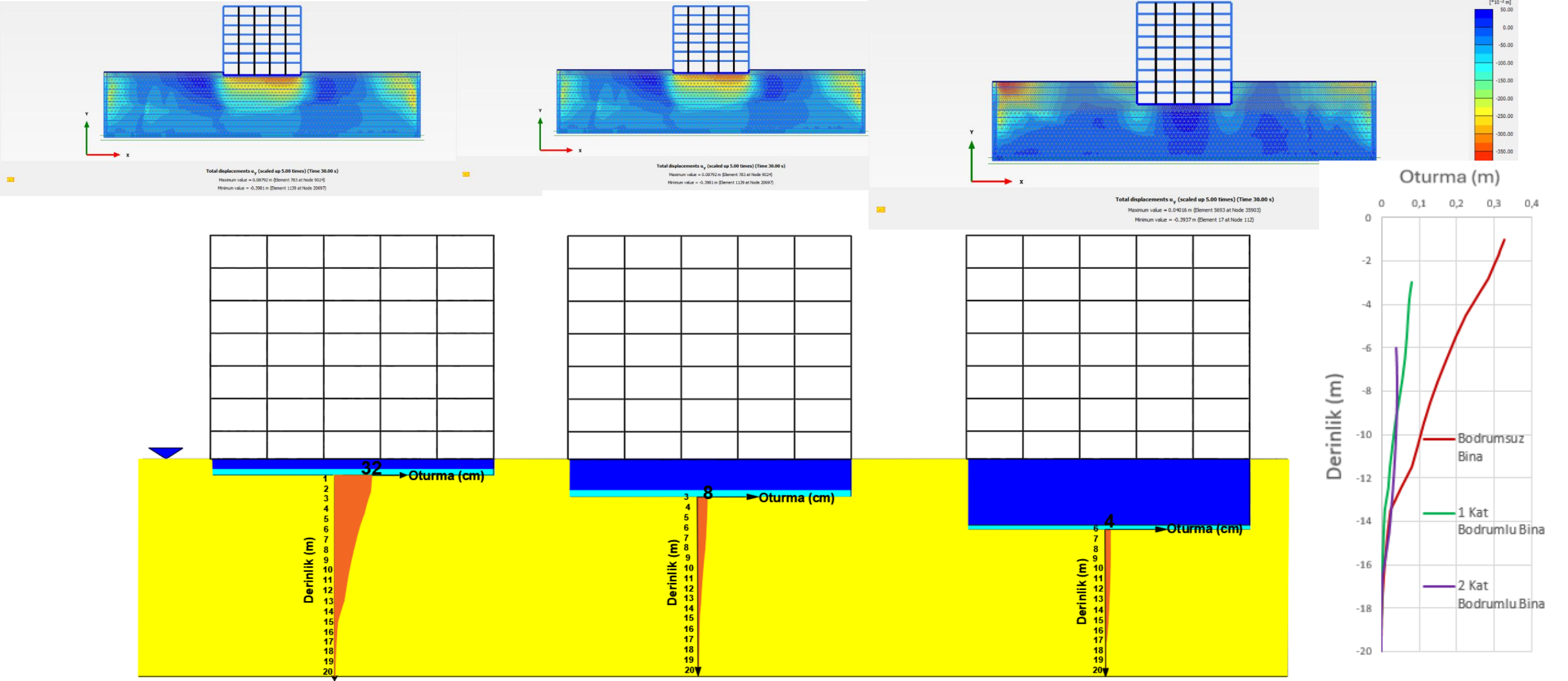
NÜMERİK ANALİZLER

Nümerik Analiz Sonuçları ve Bina Performansı Açısından Değerlendirilmesi



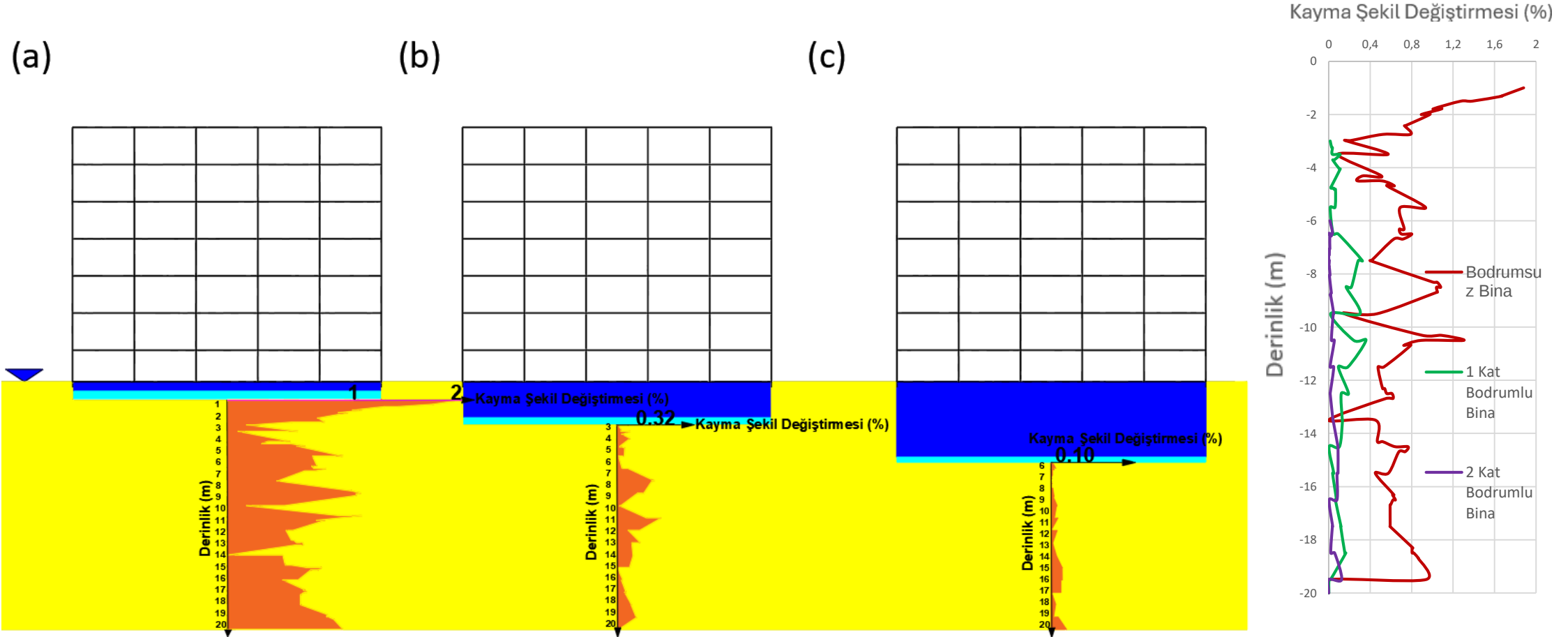
NÜMERİK ANALİZLER

Nümerik Analiz Sonuçları ve Bina Performansı Açısından Değerlendirilmesi



NÜMERİK ANALİZLER

Nümerik Analiz Sonuçları ve Bina Performansı Açısından Değerlendirilmesi



SAYISAL ANALİZLER

Nümerik Analiz Sonuçları ve Bina Performansı Açısından Değerlendirilmesi

Maksimum Kayma Şekil Değiştirmesi (%)			
	Temelin Sol köşesi	Temel Merkezi	Temelin Sağ Köşesi
Bodumsuz Bina	0.244	0.0849	0.126
1 Kat Bodrumlu Bina	0.173	0.0198	0.064
2 Kat Bodrumlu Bina	0.187	0.00986	0.064

Oturma (cm)			
	Temelin Sol köşesi	Temel Merkezi	Temelin Sağ Köşesi
Bodumsuz Bina	20.1	31.1	35.4
1 Kat Bodrumlu Bina	12.2	14.8	17.2
2 Kat Bodrumlu Bina	14.4	1.6	11.6

SAYISAL ANALİZLER

Nümerik Analiz Sonuçları ve Bina Performansı Açısından Değerlendirilmesi

	Bodrumsuz Bina	1 Kat Bodrumlu Bina	2 Kat Bodrumlu Bina
S_T	35.4 cm	17.2 cm	14.4 cm
ΔS_T	15.3 cm	5 cm	2.8 cm
β	0.0061	0.002	0.0011

	Parametre	Büüklük	Yorum
Hizmet Edilebilirlik için Sınır Değerler (Avrupa Standardizasyon Komitesi, 1994a)	S_T	50 mm	Radye Temel için
	ΔS_T	5 mm	Rijit Kaplamalı Çerçeveler için
	β	1/500	-
Kabul Edilebilir Maksimum Temel Hareketi (Avrupa Standardizasyon Komitesi, 1994b)	S_T	50 mm	İzole Yüzeysel Temeller için
	ΔS_T	20mm	İzole Yüzeysel Temeller için
	β	$\approx 1/500$	-

Hasar tipi	Kriter	Limit değeri
Yapısal Hasar	Açısal çarpılma	6.7×10^{-3} - 4.0×10^{-3}
Duvarlarda çatlama	Açısal çarpılma	2×10^{-3} 1×10^{-3} - 2.5×10^{-3} : duvar bölmeleri
Gözle görünüm	Tilt	3.3×10^{-3}
Kullanıma etki	Toplam oturma	50-75mm: kumlar 50-135mm: killer
Görece bükülmeyle çatlama	Sehim oranı	4.0×10^{-4} : duvar uzunluk/yükseklik=1 8.0×10^{-4} : duvar uzunluk/yükseklik=5
Görece kamburlaşmayla çatlama	Sehim oranı	2.0×10^{-4} : duvar uzunluk/yükseklik=1 5.0×10^{-4} : duvar uzunluk/yükseklik=5

Canadian Foundation Manual (2006)'a göre hasar kriterleri

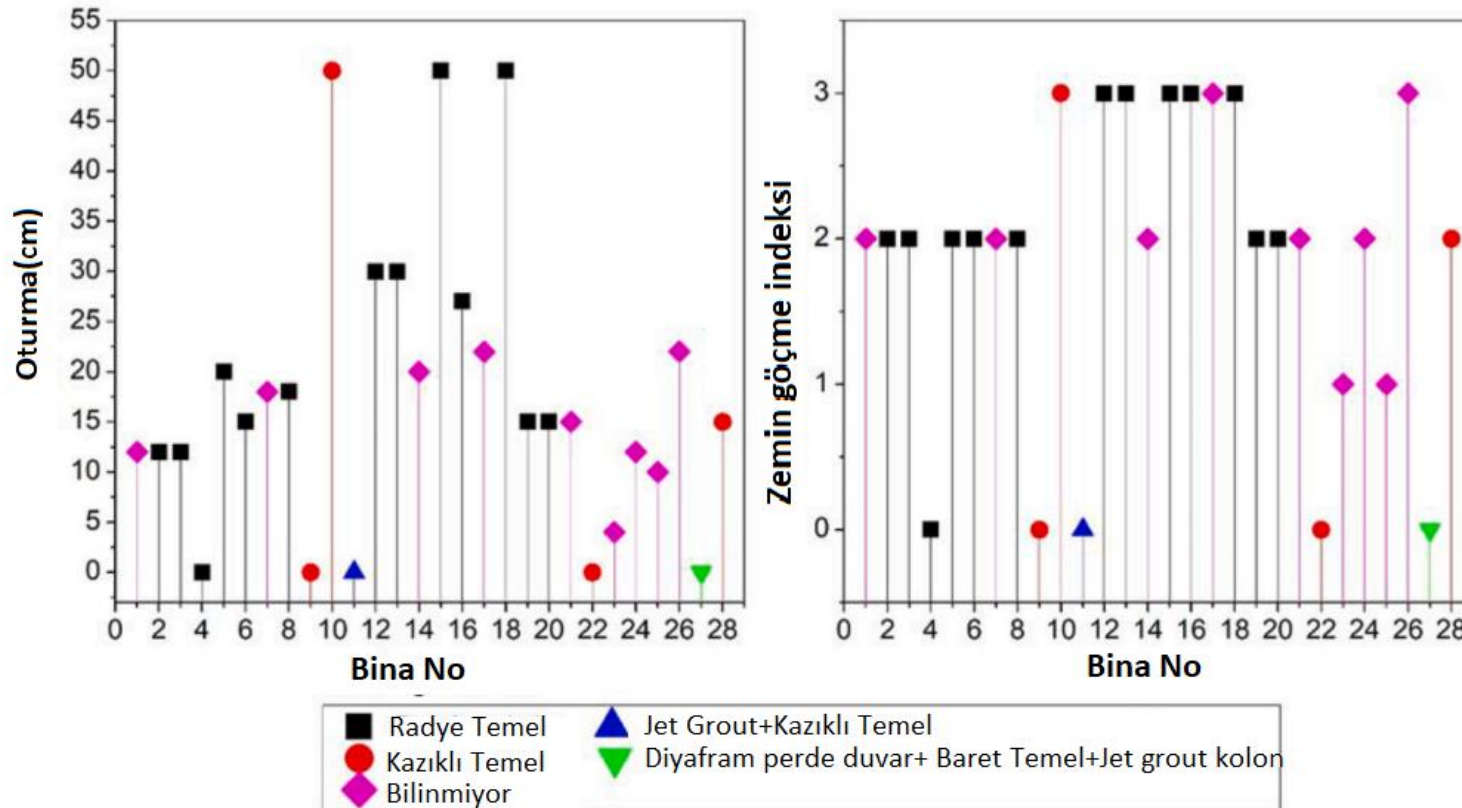
Hasar Sınıflandırma	Açısal çarpılma β $\times 10^{-3}$	Yanal şekil değiştirme $\epsilon_x(\%)$
İhmal edilebilir hasar	≈ 1.1	> 0.05
Çok az hasar	$\approx 1.1 < \beta \approx 1.6$	$0.05 < \epsilon_x < 0.075$
Az hasar	$\approx 1.6 < \beta \approx 3.3$	$0.075 < \epsilon_x < 0.15$
Orta hasar	$\approx 3.3 < \beta \approx 6.7$	$0.15 < \epsilon_x < 0.30$
Ağır hasar	$> \approx 6.7$	> 0.30

Açısal çarpılma ve yanal şekil değiştirme kriterlerine göre bina hasarlarının değerlendirilmesi (Boone vd., 1998)

Sahada Yapılan gözlemlere göre Temel Sistemlerinin Performansı için Değerlendirmeler

İndeks	Tanım	Değerlendirme
GF0	Gzölemlenebilir bir göçme yok	Oturma, dönme yanal deplaman ve kum kaynaması yok
GF1	Minör göçme	Oturma= $\Delta < 10$ cm; 3 veya daha fazla katlı yapıda dönme $< 1^\circ$; yanal akmaya bağlı deplasman yok
GF2	Orta derecede göçme	$10 \text{ cm} < \Delta < 25 \text{ cm}$; $1^\circ < \text{dönme} < 3^\circ$; küçük mertebede yanal deplasmanlar ($< 10 \text{ cm}$)
GF3	Önemli miktarda zemin göçmesi	$\Delta > 25 \text{ cm}$; dönme $> 3^\circ$; yanal deplasmanlar $> 25 \text{ cm}$

(Bray and Stewart, 2000)



Sahada Yapılan gözlemlere göre Temel Sistemlerinin Performansı için Genel Değerlendirmeler

- İskenderun'da bir çok yapı, temel sistemlerinin taşıma gücü kaybına uğraması ve izin verilebilir oturma miktarının aşılması problemleri nedeni ile hasar görmüş veya göçmüştür .
- Bina bodrum kat sayısının ve sıvılaşmaya karşı zemin iyileştirme uygulamasının binanın deprem sırasındaki performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.
- Zemin iyileştirmesi yapılan ve en az 1 bodrum kata sahip binaların taşıma gücü kaybı ve aşırı oturmalar gibi sıvılaşmanın olumsuz etkilerinden en az oranda etkilendikleri görülmüş, bodrum katı olmayan ve zemin iyileştirmesi uygulanmamış yapılarda ise sıvılaşmaya bağlı taşıma gücü kaybı ve izin verilebilir sınırların üzerinde oturmaların meydana geldiği gözlenmiştir.